



Licence Es-Sciences et Techniques (LST)

# GENIE CHIMIQUE

## PROJET DE FIN D'ETUDES

**Etude et amélioration de l'opération de lavage des gaz**

Présenté par :

◆ Berrada Gouzi Meryeme

Encadré par :

◆ Mr : ABASSI Abdelhak (Société)

◆ Pr : SOUHA Hammou (FST)

**Soutenu Le 15 Juin 2015 devant le jury composé de:**

- Pr : LAMCHARFI EL Hadi

- Pr : ZAITAN Hicham

- Pr : SOUHA Hammou

**Stage effectué à El Jadida(OCP)**

**Année Universitaire 2014 / 2015**

## *Dédicace*

*A mes chers parents pour leurs soutiens et sacrifices, à mes frères et amis pour leur encouragement, à mes professeurs pour leurs aides ainsi leurs précieux conseils, à tous les responsables au sein de La ligne de production pour leurs écoutes, leurs aides et le fait de nous découvrir le monde professionnel.*

*Merci à tous*



## Remerciement

Avant tout développement sur cette expérience professionnelle, il apparaît nécessaire de commencer ce rapport de stage par des remerciements, à ceux qui m'ont beaucoup appris au cours de ce stage, et même à ceux qui ont eu la gentillesse de faire de ce stage un moment très profitable.

Je tiens à remercier Monsieur ABBASSI Abdelhak le chef du service de production, qui a bien voulu nous accueillir au sein de la ligne de production et nous faire bénéficier de la compétence de son personnel, ainsi que tous les documents mises à ma disposition afin de réaliser ce travail.

Je tiens à présenter mes précieux remerciement à mon encadrant Mr Hammou SOUHA professeur à la faculté des sciences et techniques de Fès 'FST' Département chimie pour son aide, son orientation, son soutien et sa participation au cheminement de ce rapport

Je ne saurai remercier comme il se doit : Monsieur Hamid ennaïr qui m'a conseillé et m'a accompagné tout au long de cette expérience professionnelle avec beaucoup de patience et de pédagogie, sans oublier le reste du personnel qui m'a aidé à effectuer mon stage dans les meilleures conditions.

Mes remerciements vont également à MR CHAKROUNE Saïd Responsable de filière Génie chimique pour son suivi permanent du déroulement de nos stages

Ainsi je voudrais témoigner ma reconnaissance et toute ma gratitude à tous mes professeurs tout au long de cette année d'étude à l'FST de Fès, qui n'ont jamais épargné aucun effort pour me guider avec efficacité, en contribuant à ma formation tant au niveau du savoir faire qu'au niveau du savoir être et ce qui m'a bien faciliter la tâche.

Eventuellement mes remerciements aux membres de Jury qui ont accepté de juger ce travail ; Monsieur LAMCHARFI El Hadi et Monsieur ZAITAN Hicham.

En fin, je remercie tous ceux qui ont participé de près ou de loin pour rendre ce stage possible et bénéfique.

# *Abréviation*

<b>ASP:</b>	Ammonium Sulfo-Phosphate
<b>AF :</b>	Secheur
<b>AC:</b>	Ventilateur
<b>AS :</b>	Cyclone
<b>DAP:</b>	Diammonium Phosphate.
<b>D01 :</b>	Pré-laveur
<b>D02 :</b>	laveur sécheur
<b>D03 :</b>	laveur des poussières
<b>D04 :</b>	Laveur final
<b>MAP :</b>	Mono ammonium Phosphate.
<b>NPK :</b>	Engrais triple constitué de l'azote, de phosphate et de potassium.
<b>OCP:</b>	Office Chérifien des Phosphates
<b>PCJ :</b>	Pôle Chimie de Jorf Lasfar
<b>P01 :</b>	Pompe
<b>RM :</b>	Rapport molaire
<b>R02 :</b>	Réservoir primaire
<b>TSP:</b>	Triple Super Phosphate.

## SOMMAIRE

<b>Introduction .....</b>	<b>1</b>
<b>Chapitre 1 : présentation général</b>	
I.    Présentation de l'organisme d'accueil.....	2
1. Historique du groupe ocp.....	2
2. Pole chimie jorf lasfar.....	2
3. Présentation de L'atelier de production des engrais.....	3
<b>Chapitre 2 : Procédé de fabrication des engrais NL 107 B</b>	
I.    Généralités sur les engrais.....	5
1. Définition des engrais.....	5
2. Terminologies des engrais.....	5
II.   Description du procédé de fabrication des engrais.....	6
1. Matières premières.....	7
2. Equipements principaux de la ligne.....	7
3. Principe de fabrication.....	8
4. Procédé de fabrication (JACOBS).....	8
a. Réactions.....	8
b. Granulation.....	11
c. Séchage.....	12
d. Classification.....	12
e. Conditionnement.....	15
f. assainissement des équipements.....	16
<b>Chapitre 3 : Etude et amélioration de l'opération de lavage des gaz</b>	
I.    Description de lavage des effluents.....	18
1. lavage des effluents par absorption.....	18
2. les différents liquids de lavages.....	18
3. caractéristique du liquide de lavage.....	18
II.   Etude d'optimisation d'opération de lavage des gaz dans les nouvelles Lignes...19	
1. Descriptions des équipements des nouvelles Lignes.....	20
2. Facteurs influant sur l'efficacité de lavage des gaz dans les nouvelles Lignes.....	26
3. Evaluation des efficacités des sections de lavage dans les nouvelles Lignes....	29
4. Situation actuelle.....	31
4. Recommandation pour stabiliser le pH.....	32
<b>Conclusion.....</b>	<b>35</b>

# Introduction

La protection de l'environnement est perçue dans le monde en général et au Maroc en particulier, de plus en plus, comme une composante importante d'un développement global et durable, répondant à l'aspiration des populations à une meilleure qualité de vie.

Cette perception s'est matérialisée au Maroc, dans le domaine de la transformation des phosphates, par le biais du groupe OCP, par un ensemble d'actions visant à réduire les émissions des composés polluants en apportant des améliorations aux installations existantes et à l'introduction de nouveaux procédés moins polluants.

Dans les unités de productions d'engrais, le lavage des gaz s'avère une opération de dépollution d'une importance stratégique, vu qu'elle concerne la limitation de certains produits nuisibles à l'environnement dans l'atmosphère et permet aussi la récupération des pertes en matière.

Afin d'anticiper et de se conformer à la prescription d'un contexte environnemental évolutif, notamment pour les rejets gazeux comme l'ammoniac et le fluor, l'amélioration continue des performances environnementales par une augmentation des rendements de captation dans les sections de lavage des ateliers engrais s'avère nécessaire.

Le présent travail consiste, donc, à diagnostiquer les sections de lavage des ateliers engrais en vue de déceler les pistes d'améliorations possibles dans l'optique d'optimiser, d'avantage, l'opération de captage de l'ammoniac et du fluor. Nos travaux décrits dans ce rapport se subdivisent en trois axes principaux :

- Le premier volet est consacré à l'étude bibliographique sur les différentes technologies de lavage des gaz (de point de vue leur adaptabilité par rapport à aux ateliers et à leur performance)
- Dans le second volet, nous aborderons L'étude critique (équipements, paramètres de marche) de la section de lavage de la nouvelle ligne, ainsi que les paramètres de lavage influant sur la captation de l'ammoniac et du fluor (notamment les Caractéristiques physico-chimiques de la solution de lavage);
- Nous décrirons dans le troisième volet les principales recommandations qui ont été entreprises, pour stabiliser le pH dans le cas de dégagement de fluor

## *Chapitre I*

### *PRESENTATION GENERALE*

- **Présentation de l'organisme d'accueil**
- **Présentation l'atelier engrais**

## **I. Présentation de l'organisme d'accueil**

### **1. Présentation du groupe OCP**

L'Office chérifien des Phosphates fut créé au 7 août 1920, le groupe joue un rôle important sur le plan économique. Il détient le monopole de la recherche de l'exploitation de la valorisation, de la commercialisation et de l'extraction du phosphate et ses dérivés.

- 1930 : Ouverture d'un nouveau centre de production de phosphate (Yousoufia).
- 1950 : Mise en œuvre de la méthode d'extraction en découverte à Khouribga.
- 1960 : Développement de la mécanisation du souterrain à Yousoufia.
- 1965 : Démarrage de Maroc phosphore I-II à Safi.
- 1970 : Création de la structure organisationnelle intégrant l'OCP
- 1980 : Partenariat industriel en Belgique : démarrage du site de Jorf Lasfar avec Maroc phosphore III-IV.
- 1990 : Exportation des nouveaux projets de partenariat industriels de renforcements des capacités.
- 2000 : Démarrage d'une unité de flottation de phosphate à Khouribga.
- 2004 : Création de la Société « Pakistan Maroc Phosphore »
- 2006 : Projet nouvelle ligne DAP 850 000 t/an à JORF LASFAR.
- 2009 : Démarrage de Bunge Maroc Phosphore.
- 2010 : Partenariat avec Jacobs Engineering Inc. Lancement de 4 unités de production d'engrais à Jorf Lasfar.
- 2011 : Lancement d'une unité de dessalement d'eau de mer à Jorf Lasfar.
- 2013 : Démarrage du pipeline reliant Khouribga à Jorf Lasfar.

Le complexe industriel Maroc phosphore III-IV du groupe OCP est implanté à Jorf Lasfar.

### **2. Pôle chimie jorf lasfar**

L'OCP est divisé en deux pôles : (minier et chimique)

- Les pôles miniers : qui consistent à l'extraction du phosphate et à son traitement (**Khouribga, Ben guérir, Yousoufia, Boucraa – Laayoun**).
- Les pôles chimiques : qui consistent à la valorisation du phosphate en produisant l'acide phosphorique et les engrais phosphatés (**Safi, Jorf lasfar**).

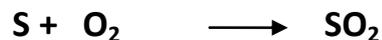
### 3. Présentation de L'atelier de production des engrais

#### ➤ L'atelier sulfurique

L'unité sulfurique est conçue pour produire l'acide sulfurique, qui entre dans la fabrication de l'acide phosphorique. Les étapes d'oxydation et d'absorption dans la fabrication de l'acide sulfurique à partir du soufre comme matière première sont hautement exothermiques.

Cet atelier est consacré pour la fabrication de l'acide sulfurique selon trois étapes :

La combustion : pour former l'anhydre sulfureux ( $\text{SO}_2$ )



La conversion: pour former l'anhydre sulfurique ( $\text{SO}_3$ )



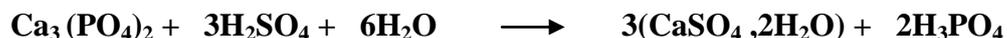
L'absorption: pour former l'acide sulfurique ( $\text{H}_2\text{SO}_4$ )



#### ➤ L'atelier phosphorique

L'usine de l'acide phosphorique est destinée pour produire 450,000 t/an en  $\text{P}_2\text{O}_5$  de concentration de 29% et de 54% en acide phosphorique, à travers les réactions chimiques.

La réaction principale de l'unité de production d'acide phosphorique est la réaction entre le phosphate et l'acide sulfurique, qui nous donne l'acide sulfurique et du gypse .



La réaction (1) est divisée en deux étapes :

- La première étape est la digestion du phosphate qui forme une solution de mono calcium de phosphate



- la deuxième étape est la réaction de ce mono calcium de phosphate avec l'acide sulfurique pour produire l'acide phosphorique et le gypse



➤ *L'atelier des engrais*

Les processus de la fabrication d'acide phosphorique à partir des autres ateliers aboutissent au superphosphate simple ou triple qui est utilisé directement comme engrais ou associé à d'autre source d'azote ou de potassium pour produire des engrais composés :

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

Ces engrais produits sont caractérisés par des caractéristiques commerciales exigées par les clients et à quoi doit aboutir le procédé de fabrication.

## *Chapitre II*

### *Procédé de fabrication des engrais NL107 B*

- **Généralités sur les engrais**
- **Description du procédé de fabrication**

## **I. Généralité sur les engrais phosphatés :**

### **1. Définition des engrais:**

Les engrais sont des produits qui contiennent les éléments nutritionnels pour les plantes que ça soit l'azote, le phosphore et le potassium, dont la fonction principale est d'apporter aux plantes leur besoin en éléments directement utiles à leur nutrition.

- **l'azote** : contribue au développement végétatif de toutes les parties aériennes de la plantes. Il est profitable à la plantation, au printemps au démarrage de la végétation et aux légumes feuilles mais il convient de le distribuer sans excès car ce serait au détriment du développement des fleurs, des fruits ou des bulbes.
- **le phosphore** : renforce la résistance des plantes et contribue au développement racinaire. Le phosphore se retrouve dans la poudre d'os ou dans les fientes.
- **le potassium** : contribue à favoriser la floraison et au développement des fruits. Le potassium se retrouve dans la cendre de bois.

### **2. Terminologies des engrais :**

- **Les engrais simples:**

Ce sont des engrais ayant une teneur déclarée en un seul élément fertilisant majeur N, P ou K. Cette appellation reste valable même si l'engrais contient l'élément fertilisant majeur sous plusieurs formes différentes ou s'il contient des éléments secondaires.

- **Les engrais composés :**

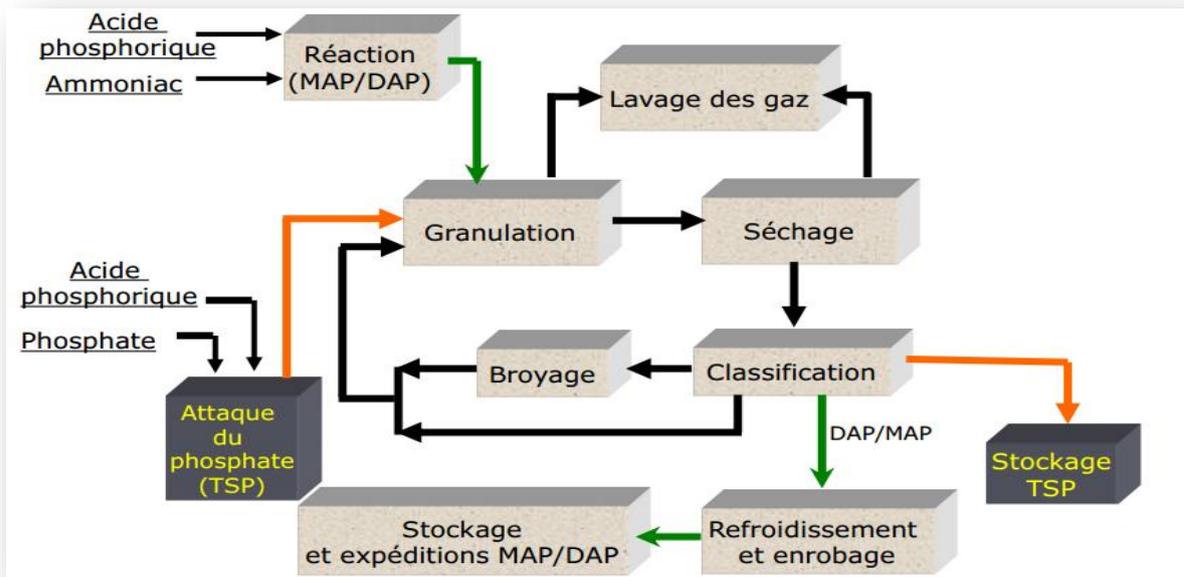
Ce sont des engrais ayant des teneurs déclarées avec d'au moins deux éléments fertilisants des engrais majeurs. Il s'agit des engrais NP, PK, NK et NPK. Les teneurs des éléments fertilisants des engrais sont exprimées en azote  $N_2$ , en anhydride phosphorique des  $P_2O_5$  et en oxyde de potassium ( $K_2O$ ).

**-Dans le cas des engrais composés l'indication des teneurs exprimées en pourcentage massique sont représentées dans le tableau suivant :**

	$N_2$	$P_2O_5$	$K_2O$
TSP	0	48	0
ASP	19	38	0
MAP	11	55	0
DAP	18	46	0
NPK	14	28	14

**Tableau 1 : les pourcentages massiques**

## **II. Description du procédé de fabrication des engrais :**



**Figure 1 : Entité des engrais**

## **1- Matières premières :**

La matière première utilisée pour la fabrication des engrais peut être classée en trois catégories : les matières premières ; les utilités ; les matières additives.

### ➤ **Les Matières premières:**

- Acide phosphorique à des concentrations de 29% et 54 %  $P_2O_5$ .
- Ammoniac liquide et gaz.
- Acide sulfurique.

### ➤ **Les utilités :**

- Vapeur basse pression (BP)
- Vapeur moyenne pression (MP)
- Fuel lourd
- Eau brute
- Air d'instrument

### ➤ **Les Matières additives :**

- Anti-mousse.
- Huile aminée d'enrobage

## **2. Equipement principaux de la ligne :**

La fabrication des engrais comporte six étapes principales :

- Les réactions d'ammoniation
- La granulation
- Le séchage
- La classification granulométrique
- Le conditionnement du produit
- Assainissement et lavages des gaz

### 3. Principe de fabrication :

Fabrication des engrais azotés consiste une neutralisation des acides phosphorique ce qui donne lieu à une réaction de neutralisation exothermique.

Toutefois l'instabilité du phosphate triammonique  $(\text{NH}_4)_3\text{PO}_4$  dans les conditions de fabrication amène à limiter la neutralisation par contrôle analytique du rapport molaire :

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

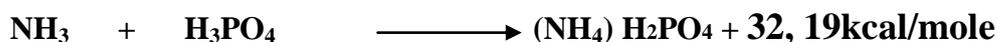
Le procédé consiste à effectuer la neutralisation en deux étapes :

- ❖ Une pré-neutralisation de l'acide phosphorique par  $\text{NH}_3$  jusqu'à un  $\text{RM} = 1,4$  pour le DAP et  $\text{RM} = 0,6$  pour le MAP ce qui correspond à une fluidité maximale de la bouillie et des pertes moindre en ammoniac par tension de vapeur. Cette première étape s'effectue dans un réacteur préneutraliseur PN agité de volume  $80\text{m}^3$ .
- ❖ Une ammonisation complémentaire jusqu'à obtention d'un  $\text{RM} = 1,8$  pour DAP et  $\text{RM} = 1$  pour le MAP, ce qui favorise la cristallisation. Ce deuxième stade est réalisé dans un tambour de granulation appelé granulateur.

### 4. procédé de la fabrication

#### a. Préneutraliseur :

Cette étape consiste à une réaction de neutralisation qui se fait à l'intérieur d'un préneutraliseur et où on mélange l'acide phosphorique 54%, l'acide sulfurique et l'ammoniac gaz pour aboutir à la fin à une bouillie convenable. Cette réaction se produit immédiatement après le mélange de  $\text{NH}_3$  avec de l'acide phosphorique selon la réaction :



$$\Delta\text{H} = 32, 19\text{kcal/mole}$$

Lorsqu'on ajoute plus d'ammoniac, le MAP réagit pour former du DAP selon la réaction :



$$\Delta H = 51,45 \text{ kcal/mole}$$

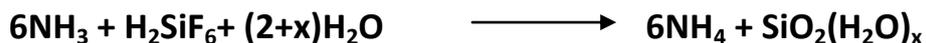
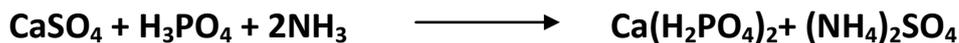
L'acide sulfurique ajouté dans le mélange réagit avec l'ammoniac et entraîne la formation du sulfate d'ammonium, son ajout dans certains cas étant pour régler les titres de l'ammoniac et de l'acide phosphorique.



$$\Delta H = 76 \text{ kcal/mole}$$

### Remarque :

L'acide phosphorique utilisé contient des impuretés qui vont donner des réactions secondaires :



### ➤ Les principaux paramètres influençant la réaction sont :

#### ✓ La température.

La température de la bouillie dans le préneutraliseur est une indication instantanée et exacte de la densité du mélange dans le réacteur, elle est approximativement de 120 °C où la bouillie est considérée comme étant à son point d'ébullition lors de la production. Sa variation est liée à la concentration des phosphates d'ammonium dans le mélange. Elle augmentera avec l'augmentation de la concentration des phosphates d'ammonium dans la bouillie (faible teneur en eau) et elle diminuera avec la chute de la concentration des phosphates d'ammonium dans le mélange (en présence d'une grande quantité d'eau).

#### ✓ Le rapport molaire.

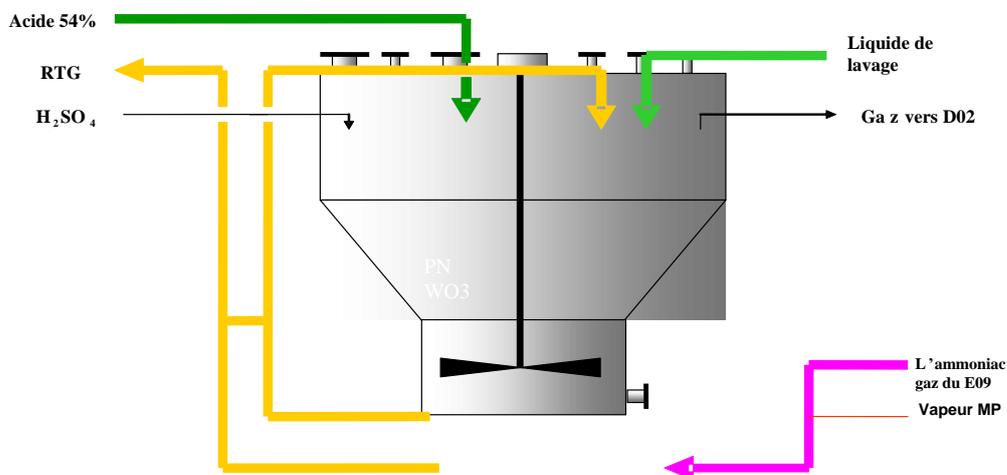
Le contrôle du rapport molaire est très important afin de maintenir la fluidité de la bouillie pour faciliter son déplacement et éviter les pertes en ammoniac.

### ✓ La densité.

La densité de la bouillie est une indication de la concentration du mélange et du pourcentage de  $P_2O_5$  dans le préneutraliseur. Elle est contrôlée par l'équilibre entre l'acide phosphorique 54% et le liquide de lavage.

### ✓ Le niveau de la bouillie.

L'influence de niveau de la bouillie dans le PN réside en une variation proportionnelle au temps de séjour de la bouillie et à des pertes des matières dans les effluents gazeux sortant du réacteur.



**Figure 2 : Préneutraliseur**

**N.B :** les chaleurs de réactions dégagées élèvent la température de la bouillie à environ 120 °C qui permet d'évaporer une certaine quantité d'eau

✓ Parfois on ajoute :

- L'acide sulfurique  $H_2SO_4$  dans le PN, afin d'ajuster la qualité du produit car il baisse le %  $P_2O_5$  dans le produit fini
- L'acide phosphorique 29% pour régler la densité de la bouillie

## b. Granulation

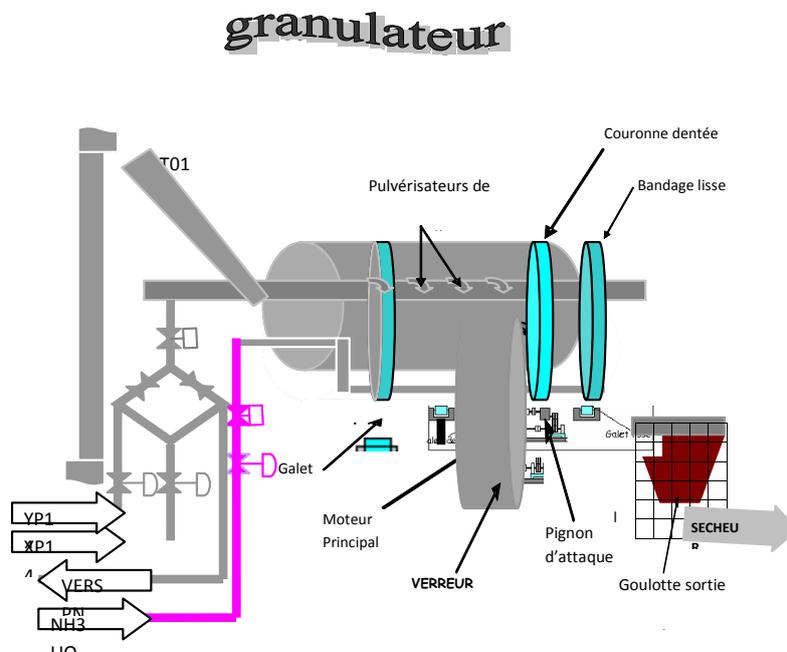
L'opération de granulation consiste à transformer la bouillie venant du Préneutraliseur à produit granulé des dimensions bien déterminées.

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

Au niveau du granulateur, a lieu une deuxième neutralisation de l'acide phosphorique contenu dans la bouillie moyennant une rampe de pulvérisation d'ammoniac liquide à pour le but d'élever son rapport molaire de 1,4 à 1,8 pour le DAP et de 0,6 à 1 pour le MAP afin de favoriser la cristallisation de la bouillie.

La paroi interne du granulateur est revêtue de panneaux en caoutchouc flexibles pour minimiser le colmatage et la formation des gros blocs.

Le produit granulé mouillé sortant du granulateur traverse une grille située à la sortie de la virole est acheminée ensuite vers le sécheur via une goulotte spécialement conçue pour éviter son colmatage.



**Figure 3 : Granulateur**

### c. Séchage

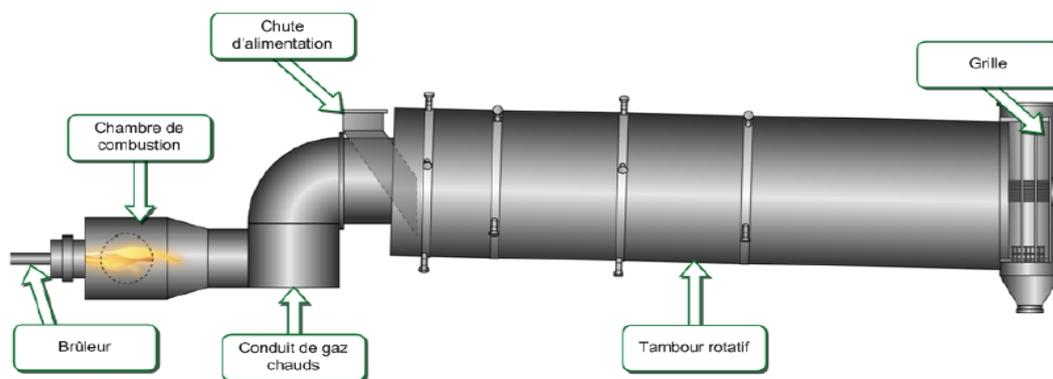
L'opération de séchage consiste à éliminer l'humidité contenu dans les granulés de l'engrais qui est d'environ 5.5% et ce afin d'éviter les phénomènes de colmatage des appareils de broyage, criblage et conditionnement ainsi que la prise en masse au cours du stockage de l'engrais

Les gaz chauds assurant le séchage de l'engrais proviennent d'un four sécheur constitué principalement d'une chambre de combustion à fuel.

A la sortie du tube sécheur l'humidité tombe à 1.5%. Le tube sécheur possède la même conception que le granulateur. Il est équipé de palettes de relevage aidant à l'échange thermique entre le produit et les gaz chauds ceci en assurant un excellent contact entre le produit solide à sécher et les gaz chauds de séchage.

Les palettes favorisent aussi l'érosion et l'entraînement du produit vers l'avant.

La température à la sortie du sécheur doit être suffisante pour éviter la condensation. Soit dans le sécheur. Soit encore dans les cyclones dépoussiéreurs situés en aval



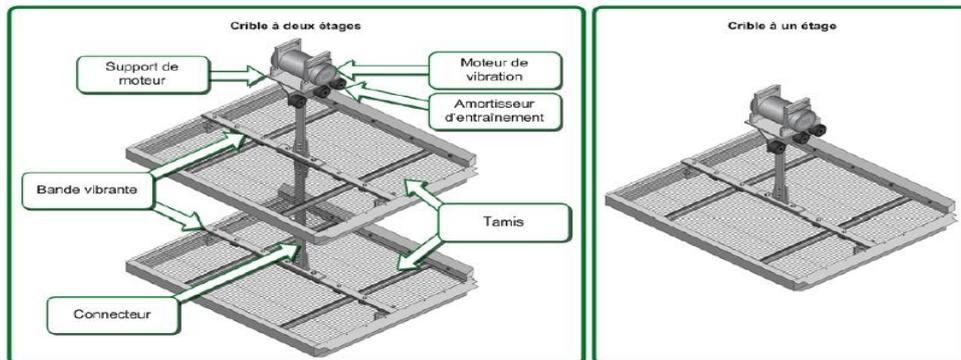
**Figure 4 : sécheur**

### d. 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.

De ce fait l'unité de production est équipée de 4 cribles à doubles étages munis de moteurs vibrants, deux cribles finisseurs muni chacun de 4 moteurs vibrants ainsi que 4

broyeurs pour broyer les sur granulés. Pour améliorer l'efficacité du criblage, chaque crible est équipé d'un distributeur vibrant en assurant une répartition du produit sur toute la largeur du crible.



**Figure 5 : les cribles**

- **Les cribles primaires**

Le rôle des cribles primaires (S01/02/03/04), aussi appelés "cribles de séparation", est de séparer les granules provenant du sécheur rotatif (F02) en trois catégories selon leur taille : les particules grossières ( $> 4$  mm), les fines ( $< 2$  mm) et les granules de taille acceptable (entre 2 et 4 mm). Les cribles primaires sont des cribles à deux étages.

- **Les cribles secondaires**

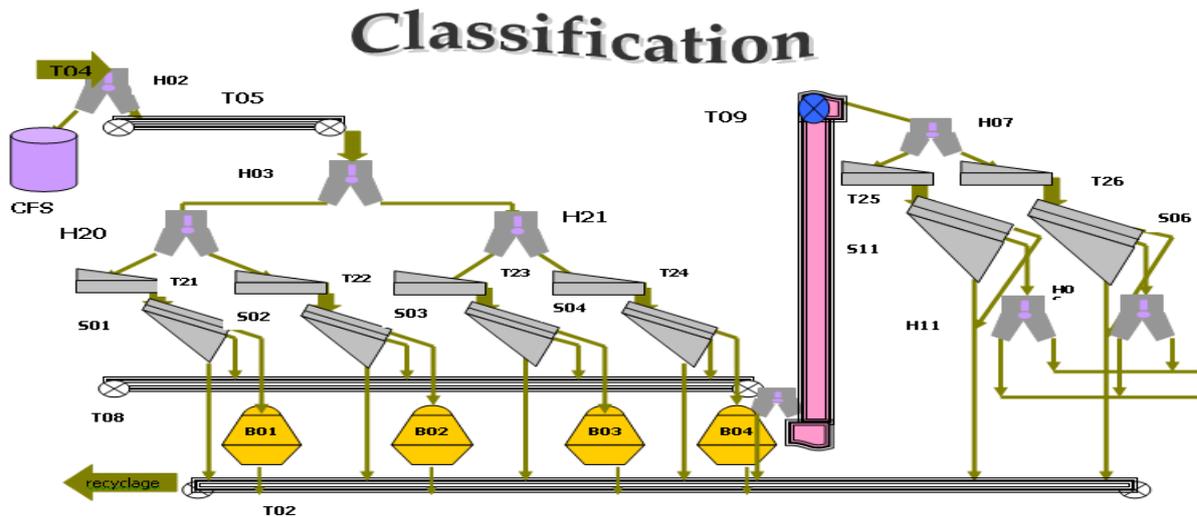
Le rôle des cribles secondaires (S05/06/07/08), aussi appelés "cribles de produits", est de séparer les granules de taille acceptable des particules trop fines ( $< 2$  mm) provenant des cribles primaires. Les fines sont recyclées vers le granulateur. Les cribles secondaires sont des cribles à un étage.

- **Les cribles finisseurs**

Le rôle des cribles finisseurs (S09/10) du secteur refroidissement et enrobage est d'effectuer une dernière séparation pour ne conserver que les granules de taille commercialement acceptable. Les particules trop fines et trop grosses sont recyclées vers le granulateur. Les cribles finisseurs sont des cribles à deux étages.

Le produit de recyclage est ainsi formé de :

- ☞ Produit broyé.
- ☞ Fines cribles.
- ☞ Launder-flow des cyclones.
- ☞ Produit marchand

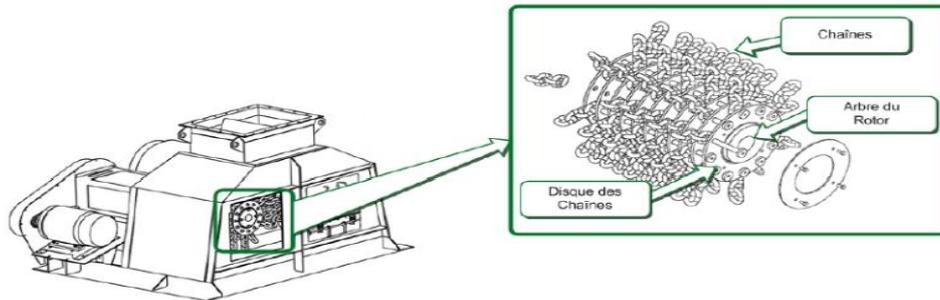


***Figure 6 : classification***

### • *Les broyeurs :*

Les quatre broyeurs à chaînes (B01/02/03/04) sont identiques avec une capacité de conception de 75 tonnes/h et une température d'opération de 90°C.

Un broyeur à chaînes est constitué d'un caisson en acier contenant deux arbres horizontaux tournant à vitesse fixe et sur lesquels des chaînes montées sur des disques assurent le broyage des granules d'engrais. Ceux-ci sont alimentés par l'ouverture du haut et les fines obtenues tombent ensuite sur le convoyeur de fines (T02). Les rotors tournent vers l'intérieur afin de propulser les particules vers le rotor opposé ce qui génère un plus grand nombre d'impacts sur les granules passant à travers le broyeur. Une vitesse de rotation plus élevée requiert moins de chaînes et permet d'obtenir des granules de plus petit diamètre.



**Figure 7 : Broyeurs**

**e. Le conditionnement du produit:**

➤ **Refroidisseur :**

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

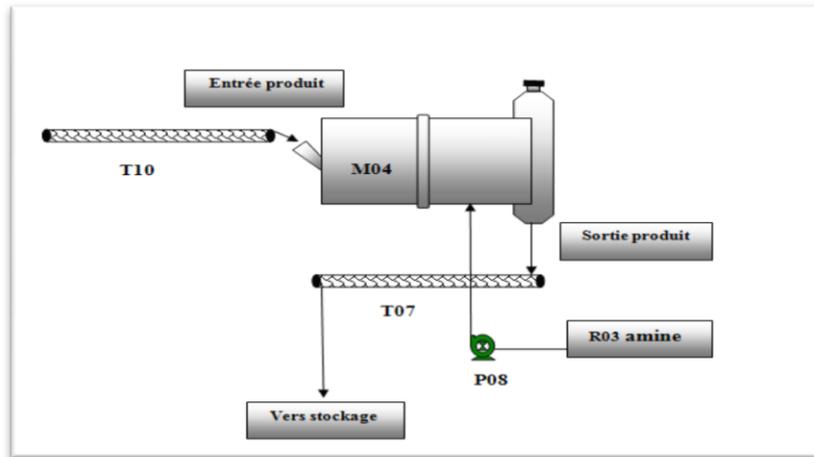
➤ **Tamis finisseurs :**

La production de la ligne passe par deux tamis finisseurs, les fines et les gros se dirigent vers la bande de recyclage et le produit marchand vers l'enrobeur.

➤ **L'enrobage:**

Le produit sortant du refroidisseur à une température de 50°C alimente un élévateur à godets 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 des poussières et l'absorption de l'humidité lors du stockage.

Le produit sortant de l'enrobeur est évacué vers une bande de produit fini laquelle alimente trois installations du stockage à l'aide d'une série de convoyeurs à bande.



**Figure 8 : Enrobage**

### **f. L'assainissement et la collecte des gaz:**

Tout l'équipement de procédé de l'usine fonctionne sous une petite pression négative de façon à décharger l'ammoniaque non réagi, d'autres gazes et des poussières du procédé.

L'air ayant de l'ammoniaque, de la vapeur d'eau et des poussières du pré-neutralisateur et du granulateur est déchargé vers un Pré-laveur (D01) où la plupart de l'ammoniaque est enlevée par la réaction avec l'acide phosphorique dans la solution de lavage circulante. Depuis le pré-laveur, les gazes coulent vers le Laveur de Poussières et Fumée (D03) où plus d'ammoniaque et de poussières sont enlevées.

L'air et des gazes de combustion contenant de l'ammoniaque et des poussières du sècheur coulent vers le Cyclone Sècheur (S11) lequel enlève la plupart de poussières et le renvoi vers le recyclage par le convoyeur des fines. Les gazes du cyclone coulent vers le Laveur Sècheur (D02) pour l'enlèvement additionnel d'ammoniaque et de poussières par la solution de lavage circulante.

L'air contenant des poussières des équipements de manutention des solides (convoyeurs, élévateurs, cribles, etc.) est déchargé individuellement dans le système de captation de l'usine, lequel à son tour décharges dans le Cyclone de Poussières (S13) où la plupart de poussières est enlevée et retournée vers le recyclage par le convoyeur des fines. L'air du cyclone coule au laveur de poussières et de fumée où l'enlèvement additionnel de poussières est effectué par la solution de lavage circulante.

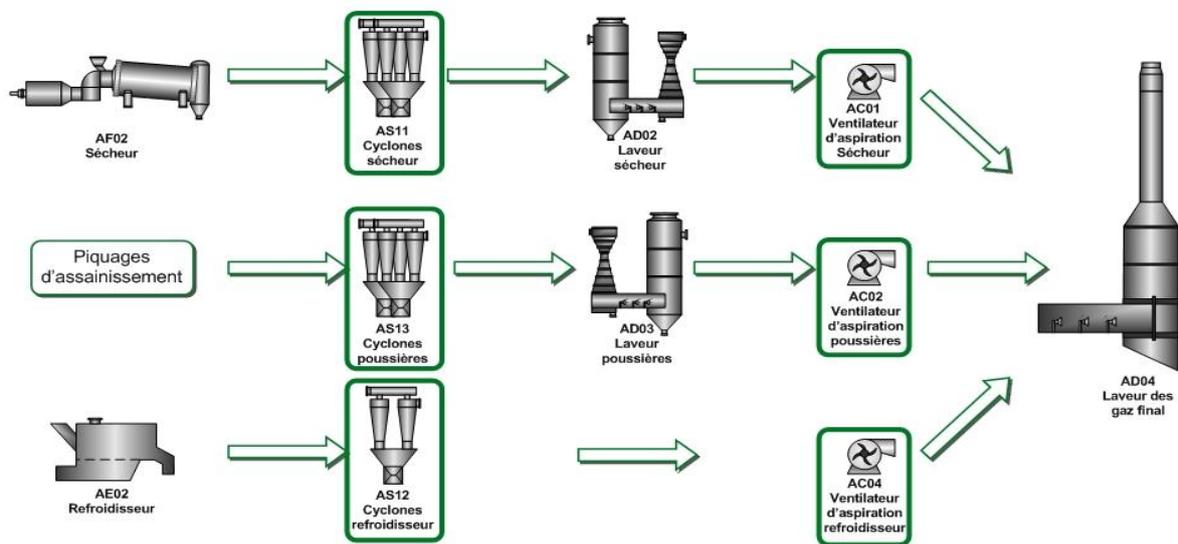
L'air d'échappement contenant des poussières du refroidisseur de produit décharge vers le Cyclone de Refroidissement (S12) où la plupart de poussières est enlevée et retournée vers le recyclage par le convoyeur des fines. L'air du cyclone coule vers le Ventilateur de Tirage de Refroidissement (C04) lequel l'envoi directement au Laveur de Gazes Final (D04). L'air

du laveur sécheur et du laveur de poussières et fumée et envoyé au laveur de gazes final par le Ventilateur de Tirage Sécheur (C01) et le ventilateur de Tirage de Poussières et Fumée (C02), respectivement.

**Remarque :**

L'assainissement est nécessaire pour :

- Diminuer les pertes de matières : DAP, acide phosphorique, ammoniac, etc....
- Eviter la pollution de l'environnement.
- Préserver la santé du personnel.



**Figure 9 : L'assainissement Général**

## *Chapitre III*

### *Etude et amélioration de l'opération de lavage des gaz*

- **Description de lavage des effluents**
- **Lavage des gaz-Nouvelles lignes**

## **I. Description de lavages des effluents**

### **1. lavages des effluents par absorption**

L'absorption est un processus de transfert de masse d'un composé de la phase gazeuse ( $\text{NH}_3$ ) vers la phase liquide ( $\text{H}_3\text{PO}_4$ ). Lorsque le composé transféré n'est pas modifié, le processus est une simple absorption physique.

### **2. Les différents liquides de lavage :**

Le principal critère de choix est la solubilité des polluants dans le liquide. L'eau est largement utilisée en tant que solution de lavage lorsque les composés à éliminer sont solubles ou dissociables dans l'eau, comme par exemple pour éliminer l'ammoniac, les amines, les alcools...

#### **➤ Solutions avec réactif chimique :**

Les réactions chimiques permettant l'élimination des composés peuvent être de deux types suivant la nature des polluants

#### **➤ Réactions acide/base :**

L'accélération du transfert vers la phase liquide des polluants, est basée sur leur propriété acide ou basique. En effet, Les composés azotés, tels que l'ammoniac ont un caractère basique un lavage à l'acide est alors préconisé.

#### **➤ Réactions d'oxydation :**

L'utilisation d'une solution oxydante va également permettre la régénération en continu de la solution de lavage par oxydation des polluants.

#### **➤ Autres liquides de lavage :**

Pour le traitement de composés organiques, les systèmes de lavage utilisent des solvants lourds, tels que des huiles de silicone ou du polyéthylène glycol.

### **3. Caractéristiques du liquide de lavage :**

Le liquide d'absorption doit répondre aux caractéristiques suivantes :

- une forte capacité d'absorption vis à vis des composés à éliminer
- une faible viscosité afin de faciliter sa mise en œuvre et de limiter la facture énergétique

- une pression de vapeur suffisamment basse afin d'éviter qu'il ne devienne lui-même un polluant
- pas de risque pour la santé et la sécurité
- inerte vis à vis des matériaux utilisés
- peu cher ou régénérable à faible coût.

## II. Etude d'optimisation d'opération de lavage des gaz dans les nouvelles Lignes

### 1. Présentation de circuit lavage :

Afin de répondre aux exigences légales en matière de protection de l'air, les fumées résultant de l'installation subissent plusieurs traitements avant d'être évacuées par les cheminées:

- Dépoussiérage
- Lavage

#### *a. Dépoussiérage :*

Un dépoussiéreur est une méthode qui permet la séparation des particules solides du Courant gazeux dans lequel elles sont en suspension.

Dans l'unité on utilise les dépoussiéreurs dynamiques « cyclone » dans lesquels on utilise une force d'origine mécanique (gravité, inertie, centrifuge) pour séparer la poussière de l'air.

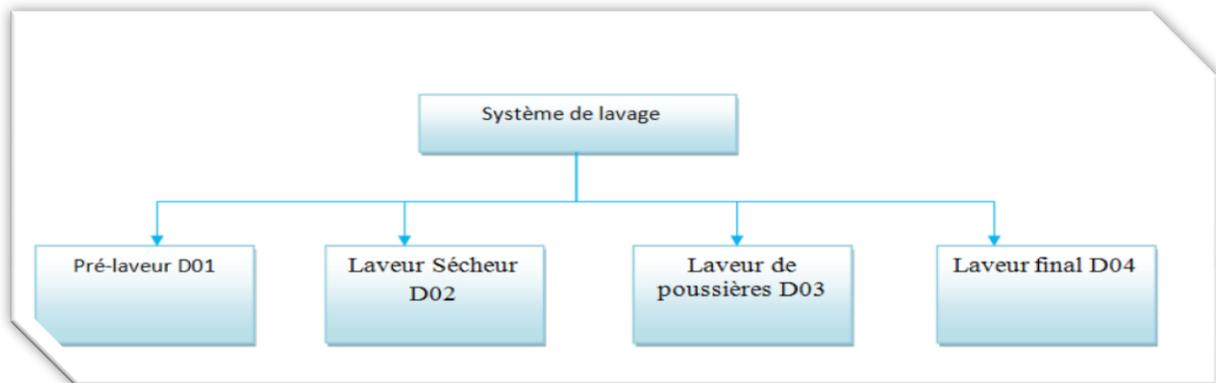


**Figure 10 : Les Cyclones**

### *b. Le lavage des gaz :*

Le lavage des gaz a deux objectifs, d'une part récupérer l'ammoniac non réagit et de contrôler le relargage de HF et d'autre part pour l'assainissement des équipements afin d'améliorer les conditions de travail et respecter les normes environnementaux

Le système de lavage selon le procédé de JACOBS dans la nouvelle ligne comporte quatre laveurs :



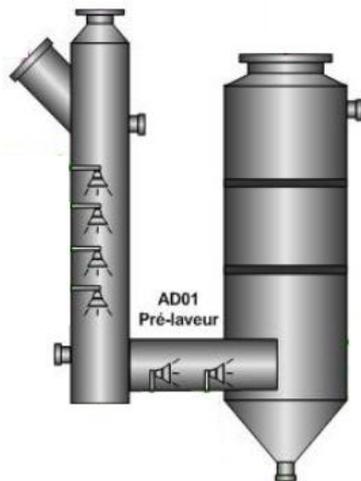
#### ✓ **Le Pré-laveur:**

Le Pré-laveur (D01) traite les gaz du préneutraliseur et du granulateur contenant de l'ammoniac, de la vapeur d'eau, des poussières et des composés fluorés ... etc.

Le Pré-laveur est conçu pour récupérer 80 % des particules et 70 % de l'ammoniac présents dans les gaz de la réaction dans le PN et le Granulateur. Avant d'être acheminé au pré-laveur (D01), du liquide de lavage est pulvérisé par deux buses dans la chambre de pulvérisation du pré-laveur, afin de mouiller et récupérer les poussières et une partie de l'ammoniac des gaz provenant du granulateur (M03). Cette étape est importante afin d'éviter l'encrassement du pré-laveur.

Les paramètres de marche du pré-laveur se situent au voisinage des valeurs suivantes:

- **RM (N/P) : 1,48**
- **PH ([H<sup>+</sup>]) : 6**
- **Densité : 1,3(1300kg/m<sup>3</sup>)**
- **Température : 74-78°C**



Taille : 164000 m<sup>3</sup>/h  
 Nombre de pulvé : 8 pulvé  
 Type : gaine, cyclonique

**Figure 11 : Pré-laveur**

### ✓ Laveur sécheur :

Le laveur sécheur fonctionne selon les mêmes principes que le laveur poussières. Ce laveur est alimenté par les gaz des cyclones sécheur (S11).

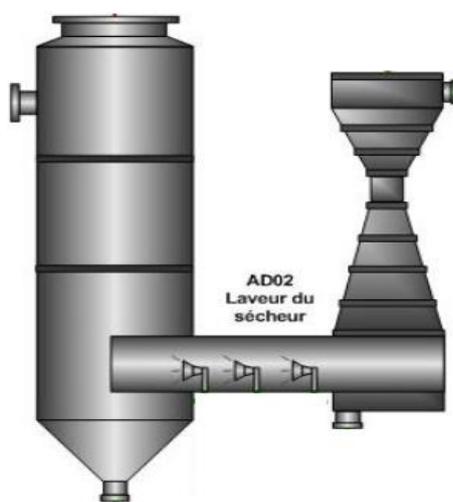
Le ventilateur d'aspiration sécheur (C01) crée une dépression forçant la circulation des gaz chauds provenant des cyclones sécheur (S11) à travers le laveur sécheur (D02). Du liquide de lavage provenant du réservoir de lavage primaire est pompé par les pompes de lavage à travers six buses de pulvérisation dans le venturi et à travers trois buses dans le conduit horizontal. Les buses pulvérisent le liquide de lavage dans les gaz afin de convertir l'ammoniac et capter les poussières selon la réaction décrite pour le laveur poussières et le pré-laveur.

Dans le laveur cyclonique, un tourbillonnement des gaz drée par l'entrée tangentielle dans le laveur, projette le liquide de lavage et les gaz contre les parois décélérant ainsi les particules lourdes qui vont vers le fond du laveur.

Les particules décélérées et le liquide de lavage quittant le laveur et rejoignent le liquide sortant du venturi puis circule vers le réservoir de lavage primaire (AR02). Les gaz épurés sont aspirés vers le ventilateur d'aspiration sécheur (AC01) pour rejoindre le laveur final

Les paramètres de marche du laveur sécheur :

- **RM** : 0,75
- **PH** : 2,5 à 3,5
- **Densité** : 1,28
- **Température** : 57 à 62°C



Taille : 257000 m<sup>3</sup>/h  
 Nombre de pulvé : 9 pulvé  
 Type : venturi, cyclonique

**Figure 12 : laveur sécheur**

### ✓ **Laveur de poussières :**

Le laveur de poussières (D03), un des deux laveurs primaires, il effectue la deuxième étape du lavage des gaz. Ce laveur reçoit les gaz du pré-laveur (D01) ainsi que ceux des cyclones de poussières (S13).

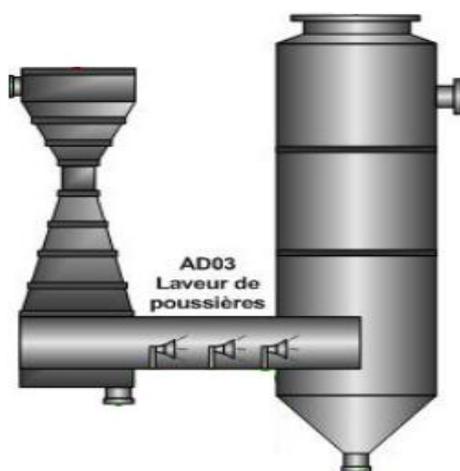
Le laveur est configuré pour récupérer plus de 98 % des particules et de l'ammoniac contenus dans ces gaz. Les gaz provenant des cyclones de poussières sont combinés aux gaz du pré-laveur.

De la même manière que le pré-laveur, le laveur de poussières fonctionne sous une pression négative. Les gaz sont aspirés à travers l'équipement. Dans le venturi du laveur, le liquide de lavage de R02 est pulvérisé sur les gaz via six buses de pulvérisation. Le principe de récupération de l'ammoniac et le captage des poussières est le même que pour le pré-laveur.

Dans le venturi du laveur, le liquide de lavage est pulvérisé dans les gaz via six buses de pulvérisation. Comme avec le pré-laveur

Les paramètres de marche du laveur de poussières :

- **RM** : 0,75
- **pH** : 6
- **Densité** : 1,28
- **Température** : 57 à 62°C



Taille : 250000 m<sup>3</sup>/h  
 Nombre de pulvé : 9 pulvé  
 Type : gaine, cyclonique

**Figure 13: laveur de poussières**

### ✓ **Laveur de gaz final :**

Tous les gaz, épurés dans le D01 et D02, sont acheminés vers le laveur de gaz final afin de compléter la récupération de l'ammoniac, des composés fluorés et des poussières résiduels avant d'être rejetés dans l'atmosphère.

Tous les équipements dans l'atelier, sauf le laveur des gaz final (D04), fonctionnent sous une pression négative créée par des ventilateurs de façon à récupérer les gaz chauds contenant les poussières et l'ammoniac non réagi dans le procédé.

Le laveur final est alimenté avec trois sources de gaz : les gaz lavés provenant du ventilateur d'aspiration sécheur (C01), du ventilateur d'aspiration poussières (C02) et du ventilateur d'aspiration refroidisseur (C04). 15 buses de pulvérisation sont alimentées avec une solution d'acide dans le courant de gaz à traiter. L'alimentation en gaz se fait

tangentiellement à la paroi du laveur cyclonique produisant un mouvement cyclonique du gaz. Le même scénario que les autres tours cycloniques précédentes se produit.

Les gaz contiennent principalement de l'air et de la vapeur d'eau ainsi que des quantités infimes d'ammoniac et de poussière d'engrais. En passant à travers la cheminée (D05), la vitesse de sortie des gaz est accélérée vers l'atmosphère

Le liquide de lavage dans la tour final se compose d'eau, d'acide Sulfurique, de composés fluorés tel que l'HF en solution, MAP, DAP.

Une partie de la solution de lavage est envoyée au réservoir de lavage primaire (R02) pour ne pas avoir une saturation en ammoniac et autres contaminants (composés fluorés et poussières).

Le recyclage, l'évaporation et la recirculation entraînent des pertes de liquide de lavage.

Un débit d'eau d'appoint provenant du stockage est acheminé au laveur afin de maintenir un niveau de liquide de lavage constant dans le laveur. L'eau récupérée au réservoir de condensat lors du refroidissement de l'air est aussi utilisée comme eau d'appoint. L'acide sulfurique provenant du stockage est ajouté à la solution de lavage afin de compenser les pertes et pour contrôler le pH de la solution. Si le pH est trop bas, il y a plus de rejet de fluor, alors que si le pH est trop élevé, l'ammoniac ne sera pas complètement converti

**N .B : l'acide sulfurique est utilisé que dans le cas ou le pH des gaz est élevé.**

Les paramètres de marche du laveur final :

**RM : 1,1 à 1,25**

**PH : 5,5 à 6**

**Densité : 1,02 à 1,05**

**Température : 45 à 50°C**



Taille : 700000 m<sup>3</sup>/h  
 Nombre de pulvé : 15 pulvé  
 Type : cyclonique

**Figure 14 : laveur final**

### ✓ Le bac de lavage primaire (R02) :

Le réservoir de lavage primaire (R02) est alimenté avec le liquide de lavage provenant du laveur de poussières (D03) et du laveur de sécheur (D02), ainsi que par des flux intermittents provenant du réservoir de récupération de liquide (R07) et du puisard (R05).

Ce réservoir assure la recirculation du liquide de lavage dans les laveurs (D02) et (D03) via les buses pour la récupération des poussières et l'ammoniac des gaz du procédé, une partie du flux des pompes de R02 peut être envoyé au pré-laveur en cas de besoin.

Le réservoir de lavage primaire est alimenté avec de l'acide phosphorique dilué afin d'avoir un rapport molaire N/P constant et de maintenir une bonne efficacité de traitement des gaz.

Vu la consistance de la solution dans le réservoir R02, un système d'homogénéisation est installé et est composé d'un moteur, d'un agitateur et accessoires afin d'avoir une solution homogène et éviter le dépôt des matières solides et denses au bas du bac et complexer l'utilisation et de la solution et du réservoir et accessoires.

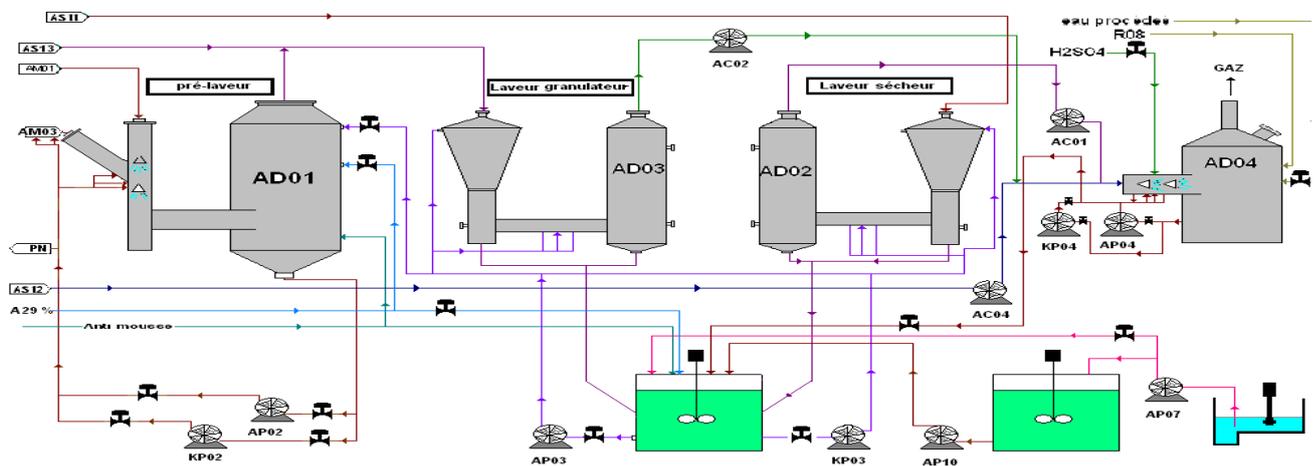
De l'anti-mousse peut être alimenté au réservoir de lavage primaire au besoin.

Les laveurs D02 et D03 n'ont pas de pompes propres à eux et ceci dans le but d'économiser et de minimiser les coûts d'appareillage, les réparations et les arrêts pour entretien ou maintenance mécanique, ainsi l'encombrement et la disposition des laveurs permet l'utilisation d'un bac pour les deux laveurs.



**Figure 15: Réservoir primaire R02**

**Organigramme de section lavage:**



**Figure 16 : système de lavage**

**2. Facteurs influant sur l'efficacité de lavage des gaz dans les nouvelles lignes**

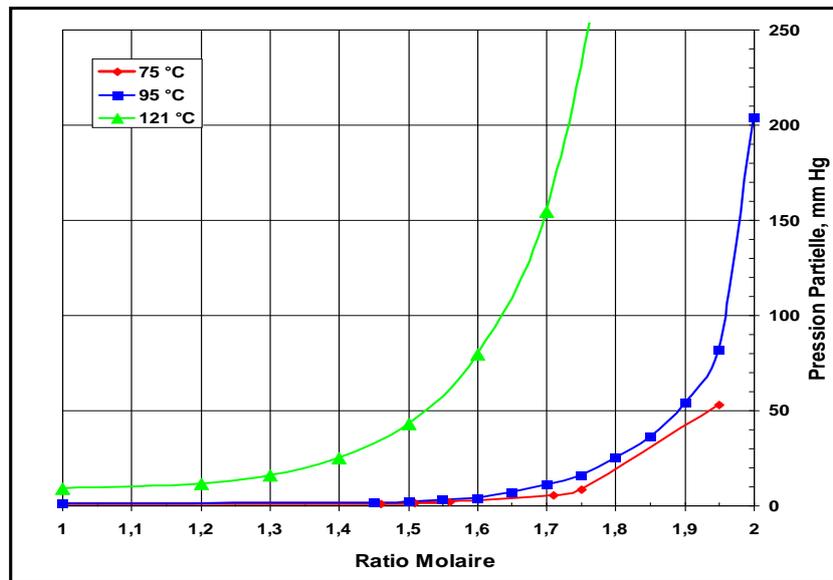
a) Facteurs favorisant la captation de l'ammoniac :

○ *Influence du rapport molaire et la température sur la captation de l'ammoniac*

La neutralisation progressive de l'acide phosphorique conduit à l'augmentation du rapport molaire et corrélativement à l'augmentation du PH de la solution. De ce fait, la fixation de l'ammoniac devient de plus en plus difficile quand le rapport molaire augmente. En effet des mesures de tension de vapeur de l'ammoniac des solutions partiellement ammoniaquées ont

montré que celle-ci augmente exponentiellement avec le rapport molaire et avec la température.

Ainsi, l'efficacité de la solution de lavage dans le cas de la captation de l'ammoniac au niveau de la section de lavage augmente au fur et à mesure que le rapport molaire et la température diminuent.



**Figure 17 : Pression partielle de NH<sub>3</sub> gaz en fonction du rapport molaire N/P et température**

## b) Facteurs favorisant la captation du fluor :

### ○ *Influence du rapport molaire:*

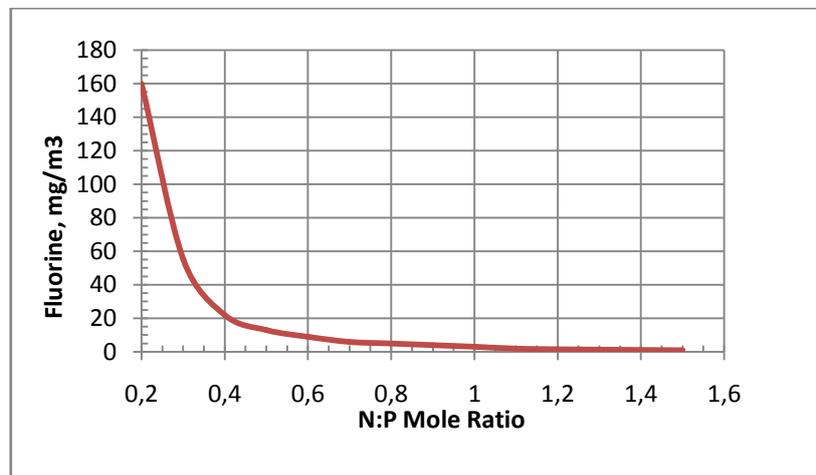
Lors du lavage des gaz avec la solution d'acide phosphorique introduit au niveau de la section de lavage pour la captation de l'ammoniac, on assiste à deux phénomènes inverses qui se produisent lors du contact gaz-liquide à savoir :

- L'absorption de l'ammoniac (gaz) par l'acide phosphorique (neutralisation).
- Le stripping du fluor véhiculé par l'acide phosphorique de la phase liquide vers la phase gazeuse.

La quantité du fluor strippée dépend de la température, de la teneur du fluor dans l'acide, de la quantité d'acide phosphorique introduit au niveau de la section de lavage, et surtout du

rapport molaire N/P. En effet, le rapport molaire de la solution de lavage a un effet important sur la tension de vapeur des composés fluorés dans la solution de lavage.

L'augmentation du rapport molaire contribue à la diminution de la tension de vapeur des composés fluorés et par conséquent, la diminution du fluor dégagé (strippé par les gaz).



**Figure 18 : Quantité de fluorine dégagée en fonction du rapport molaire**

Afin de pousser la conversion d'ammoniac et de minimiser le relargage du fluor, le rapport molaire N/P de la solution doit être optimisé.

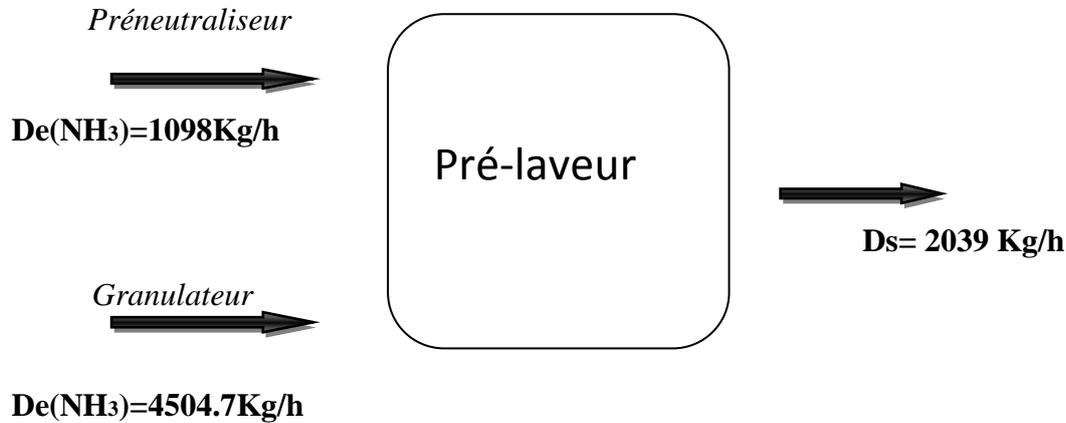
Lorsque le rapport N/P diminue, l'efficacité de récupération de l'ammoniac augmente et l'échappement du fluor à partir du liquide de lavage vers le flux de gaz augmente également.

Plus le rapport molaire diminue, plus le relargage du fluor dans le courant gazeux est important.

Si le rapport N/P est plus petit que 0,4 (voir courbe), il y a dégagement excessif de fluor et des risques de corrosion plus importants.

### 3. Evaluation des efficacités des sections de lavage dans les nouvelles lignes

*Rendement de captation de NH<sub>3</sub> dans D01 :*

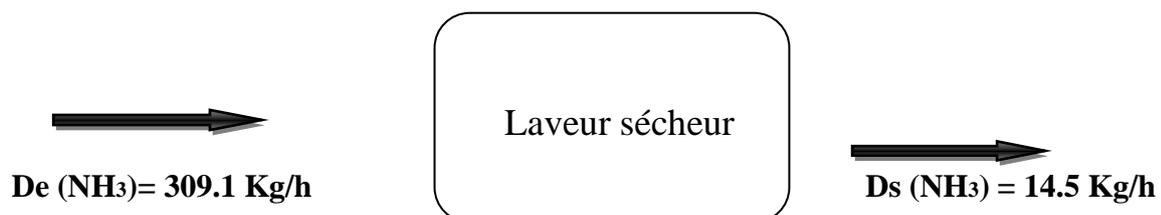


$$\begin{aligned}
 De(NH_3) &= De(NH_3) \text{ Préneutraliseur} + De(NH_3) \text{ Granulateur} \\
 &= 1098 + 4504.7 \\
 &= 5602.7 \\
 Dc(NH_3) &= De(NH_3) - Ds(NH_3) \\
 &= 5602.7 - 2039 \\
 &= 3563.7 \\
 \text{Rendement \%} &= (De - Ds) / De \\
 &= 3563.7 / 5602.7 = 64\%
 \end{aligned}$$

*Rendement = 64% → la norme Rendement = 70%*

*Le rendement de récupération de l'ammoniac est plus bas que la norme minimale*

*Rendement de captation de NH<sub>3</sub> dans D02*

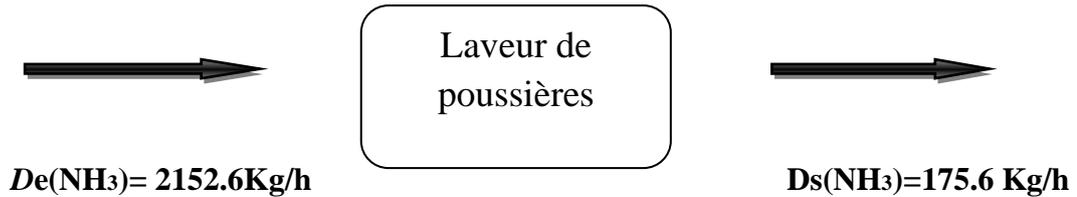


$$\text{Rendement} = (De - Ds) / De$$

Rendement = 95.33 %      →      la norme Rendement = 98%

*Le rendement de récupération de l'ammoniac est plus bas que la norme minimale*

**Rendement de captation de NH<sub>3</sub> dans D03**

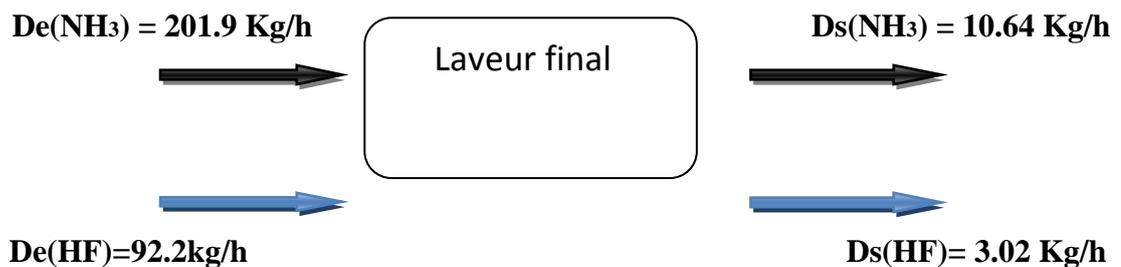


$$\text{Rendement} = 91.84 \%$$

Rendement = 91.84 %      →      la norme Rendement = 98%

*Le rendement de récupération de l'ammoniac est plus bas que la norme minimale*

**Rendement de captation de NH<sub>3</sub> et d'HF dans D04 :**



Rendement de captation de fluor = 54%      →      la norme : Rendement = 85%

Rendement de captation de (NH<sub>3</sub>) = 71.65%      →      la norme : Rendement = 60%

Écart en rendement de captation (de NH<sub>3</sub> et HF) par rapport aux valeurs design :

Les tableaux récapitulatifs suivants nous permettent de quantifier l'écart entre l'efficacité mesurée et celle de référence pour les différents tours de la section de lavage de la ligne

**Rendement de la captation du NH<sub>3</sub> :**

	Efficacité actuelle	Efficacité design	Ecart
D01	63%	70%	7
D02	96%	98%	2
D03	92%	98%	6
D04	54%	60%	6

**Tableau 2 : Écart en rendement de captation de NH<sub>3</sub> par rapport aux valeurs design**

→ Nous remarquons que l'écart est plus marquant pour le circuit des tours destinés au lavage des gaz issus du préneutraliseur et du granulateur.

**Rendement de la captation du fluor :**

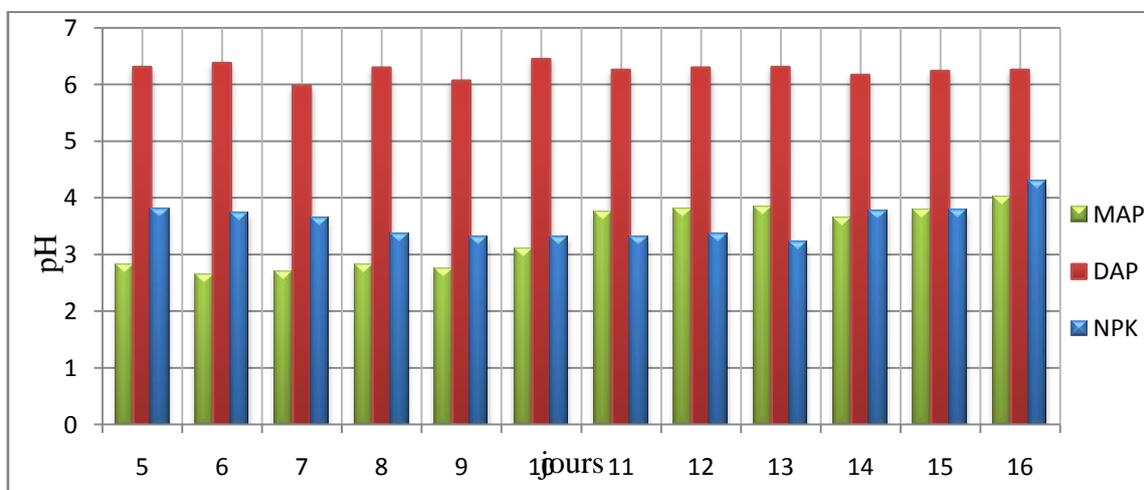
	Efficacité actuelle	Efficacité design	Ecart
D04	72%	85%	13

**Tableau 3 : Écart en rendement de captation HF par rapport aux valeurs design**

→ Nous remarquons, donc, que nous avons encore treize points à récupérer pour atteindre la valeur référence de l'efficacité de la tous finale D04 vis-à-vis de la captation du fluor.

**3. Situation actuelle**

➤ Variation du pH en fonction du temps pendant 10 jours, de 05/05/2015 à 16/05/2015.



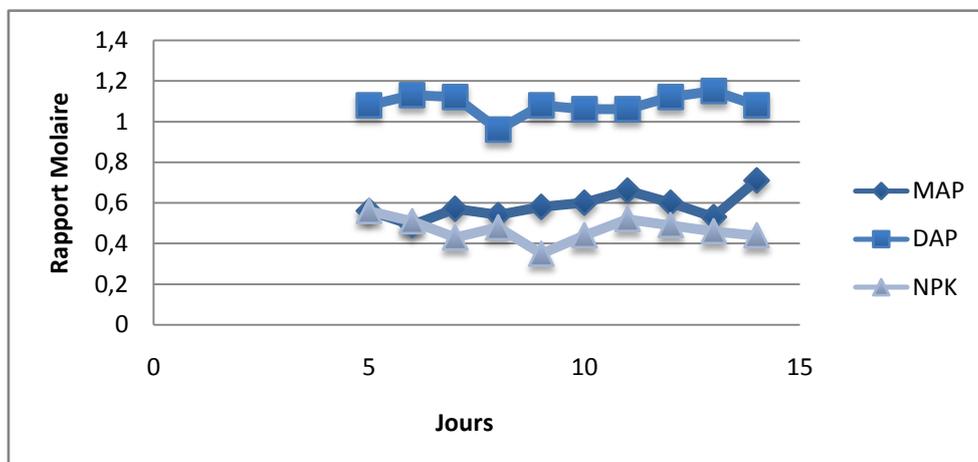
**Histogramme 1 : pH en fonction du temps au tour D04**

D'après les résultats obtenus du contrôle de marche on remarque que le PH d'environ 3,1 au tour D04 pendant la production de MAP ce qui désigne un dégagement de fluor et ce dernière peu entraine des corrosions des circuits des vannes et des ventilateurs.

Dans le cas de la production NPK on constate que malgré l'abaissement du pH on n'a pas un dégagement important du fluor par contre dans le cas de MAP, il y' a un dégagement considérable ce qui montre l'effet de l'acide sulfurique

Lors de la production d'engrais de type DAP le pH varie entre 6 et 7 qui correspondent à un pH neutre, ce qui montre qu'on n'a aucun problème de dégagement du fluor.

➤ **Variation du rapport molaire en fonction du temps :**



**Figure 19 : suivi du rapport molaire en fonction des jours pour PN, D01 et R02**

D'après les résultats obtenus du contrôle de marche pour PN, D01 et R02 on remarque que le rapport molaire est d'environ 1,1 pour DAP donc le pH est automatiquement augmente c'est pour cette raison on n'a pas un dégagement du fluor (voir histogramme1). Contrairement pour MAP qu'elle a un rapport molaire d'environ 0.6 qui correspond à un pH de moyen 3,3 ce qui entraine le dégagement du fluor

**4. Recommandation pour stabiliser le pH:**

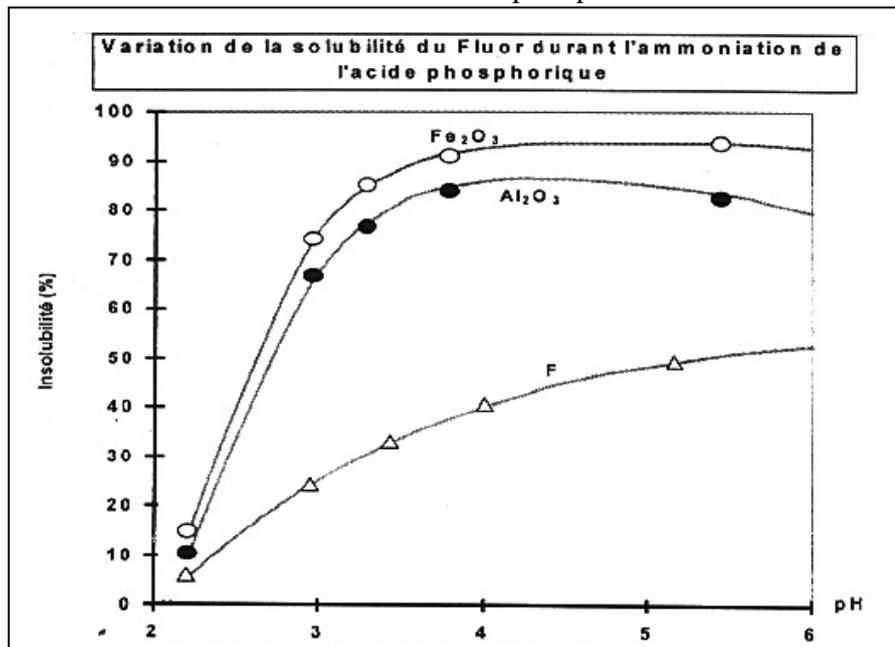
Les conditions opératoires d'engrais MAP par le forward titration présent quelques difficultés par rapport à l'engrais DAP et NPK, ces difficultés résident principalement : la corrosion excessive de la gaine d'assainissement et des ventilateurs et des vannes. C'est pour cette raison là on va recommander des solutions pour résoudre ce Problème rencontré:

- ☞ L'injection d'ammoniac pour augmenter le rapport molaire N/P au tour de pré-laveur D01 et de réservoir primaire R02
- ☞ L'utilisation de l'acide phosphorique défluoré qui a des caractéristiques suivantes:
  - $P_2O_5$ : 52%
  - Densité: 1630
  - Faible teneur en fluor
- ☞ Injection des oligo-éléments à savoir le fer et l'aluminium pour stabiliser le dégagement de fluor.

Le fluor réagit avec des oxydes de fer et d'aluminium et le phosphate pour former des composés insolubles. En effet, les essais d'ammonisation de l'acide phosphorique à 100°C ont montré que les composés fluorés insolubles commencent à se former à pH de 2,5 et augmente au fur et à mesure que le pH augmente pour atteindre le maximum vers un pH de 6.

Les composés identifiés sont :  $FeNH_4F_2PO_4$  ;  $AlNH_4HF_2PO_4$  ;  $(Fe, Al) NH_4HF_2PO_4$ . Cette précipitation du fluor permet de le stabiliser ce qui évite son dégagement avec les gaz. (Réduit le phénomène de stripping).

La courbe si dessous illustre l'évolution de la précipitation du fluor en fonction du pH.



**Figure 20 : l'évolution de la précipitation du fluor en fonction du pH**

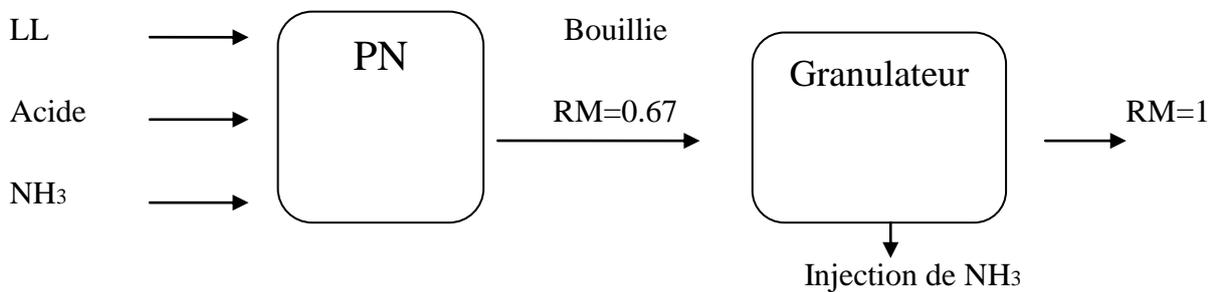
- ☞ Nous avons cherché une autre recommandation afin d'améliorer la production de MAP dite "back titration" elle consiste à distribution différente de l'acide et du  $NH_3$  entre le préneutraliseur et le granulateur.

○ **Présentation du procédé :**

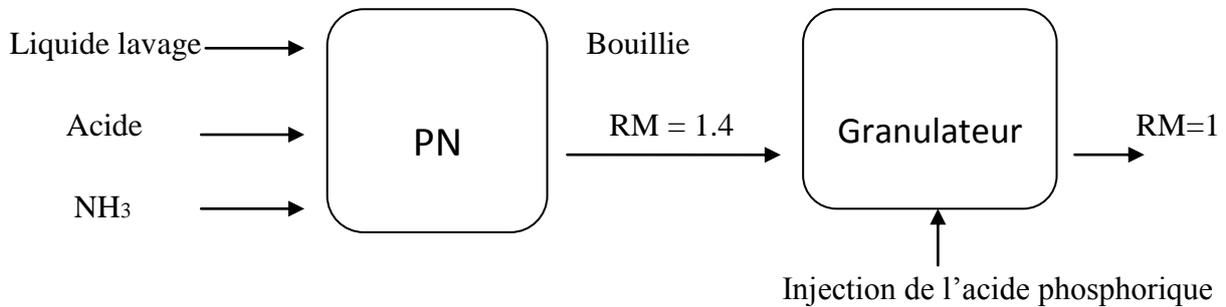
Le procédé utilisé actuellement est le procédé forward titration. Il consiste à travailler avec un rapport molaire de 0.67 au sein du préneutraliseur, puis faire un dosage direct par le  $NH_3$  au sein du granulateur pour atteindre un rapport molaire de 1.

Le procédé back titration quant à lui consiste à atteindre un rapport molaire de 1,4 au niveau du préneutraliseur. Par dosage en retour en ajoutant l'acide phosphorique dans le granulateur, on obtient un rapport molaire de 1.

• **Forward titration :**



• **Back filtration :**



○ **Comparison du forward et back titration :**

Forward titration	Back titration
Corrosion excessive :	Limitation de la corrosion de la gaine
Virole	L'assainissement
Ventilateurs	Limitation de la corrosion de la Virole
Gaine assainissement	Limitation de la corrosion des ventilateurs
Moins de consommation du fuel	Plus de consommation du fuel
	Augmentation du taux de recyclage

***Tableau 4 : comparaison des méthodes***

# CONCLUSION

Le présent travail s'inscrit dans le cadre de l'amélioration continue des installations de production en général et de celles de la dépollution des gaz en particulier. L'intérêt porté à ces systèmes vient de la dualité de leur importance qui touche à la fois la préservation de l'environnement et les rendements du processus de production.

L'étude de l'influence des caractéristiques chimiques de la solution de lavage sur l'efficacité de lavage des gaz lors de la fabrication des engrais, permet de mettre en évidence l'impact du rapport molaire sur la captation de l'ammoniac et du fluor. La diminution du rapport molaire correspond à la diminution du pH ce qui entraîne le dégagement du fluor par les gaz. Pour diminuer le dégagement du fluor on a fait un teste tout en ajoutant de l'ammoniaque et de back titration et cela a donné des améliorations.

Pour approfondir l'étude, nous proposons des recommandations pour augmenter le rapport molaire et corrélativement à l'augmentation pH de la solution dans le cas de fabrication des engrais MAP