



**LICENCE**  
**Electronique Télécommunication et Informatique**  
**(ETI)**

**RAPPORT DE FIN D'ETUDES**

**Intitulé :**

**Amélioration du système de  
gestion des flux et des stocks de  
l'atelier phosphorique**

**Réalisé Par :**

**Manar El Bougrini**

**Encadré par :**

**P<sup>r</sup> Mr. LAMHAMDI TIJANI**

**(FST FES)**

**Soutenu le 12 Juin 2013 devant le jury**

**Pr Mr. E.ABARKAN**

**(FST FES)**

**Pr Mr.F.ABDI**

**(FST FES)**

# Dedicace

*En témoignage de notre reconnaissance pour vos encouragements, on a le grand plaisir de dédier ce travail :*

♣ *A mes chers parents:*

*Je tiens à exprimer ma profonde affection pour tous les sacrifices que vous avez faits pour moi. Que Dieu vous prête bonne santé et longue vie.*

♣ *A tout mes amis:*

*Pour votre soutien, vos encouragements et pour les bons moments que nous avons passé ensemble.*

♣ *A toute l'équipe de service régulation IDJ/P/E :*

*Mes profonds respects à vous tous pour les grands efforts que vous avez fournis pour m'aider tout au long de mon stage.*

♣ *A ma petite sœur et mon petit frère :*

*Je vous' exprime à travers ce travail mes sentiments de fraternité et d'amour. Je vous souhaite un avenir plein de joie, de bonheur, de réussite et de sérénité*

# Remerciement

*Au terme de ce travail et en témoignage de ma profonde reconnaissance, je tiens à remercier Mr. Alouani chef de service maintenance Électrique et Instrumentation pour m' avoir accepté dans le service régulation.*

*Aussi je tiens à remercier profondément toute l'équipe de l'atelier de régulation qui ont veillé au bon déroulement de mon stage et spécifiquement Mr. Ismekh mon parrain de stage pour ses conseils et l'aide qu'il m'apporté pendant mon stage.*

*Et bien évidemment, je remercie tout le personnel de l'ocp Jorf Lasfar pour l'accueil qu'ils m'ont réservé.*

*J'adresse également mes vifs remerciements à mon professeur encadrant Mr. lamhamdi pour l'intérêt qu'il a porté à mon sujet.*

*Par la même occasion, je remercie les membres de jury pour leur présence.*

FIGURE 1 : DIAGRAMME DE LIAISON DE MAROC PHOSPHORE AVEC LES AUTRES ATELIERS.....	14
FIGURE 2 : ORGANIGRAMME DE L'IDJ/P/E.....	15
FIGURE 3 : SCHEMA DE BROYAGE .....	17
FIGURE 4 : SYSTEME DE « RHONE POULENC ».....	18
FIGURE 5 : SYSTEME DE « REVAMPING ».....	19
<b>Figure 6</b> : circuit de production de vapeur secondaire.....	22
FIGURE 7 : CIRCUIT DE CONCENTRATION D'ACIDE 29%.....	23
FIGURE 8 : LA CARTOGRAPHIE DU PHOSPHATE BRUT AVEC LE PHOSPHATE BROYE.....	26
FIGURE 9 : SCHEMA DESCRIPTIF DE LA BASCULE INTEGRATRICE.....	29
FIGURE 10 : DOSEUR A BANDE.....	30
<b>Figure 11</b> : La chaine de régulation du débit du doseur à bande.....	31
<b>Figure 12</b> : La chaine de régulation du débit du SAS alvéolaire.....	32
FIGURE 13 : DOSOMETRE A PERTE DE POIDS.....	32
FIGURE 14 : LE DOSOMETRE A PERTE DE POIDS DETAILLE.....	34
<b>Figure 15</b> : La chaine de régulation du débit du doseur à perte de poids.....	35
FIGURE 16 : LE PONT DE WHEATSTONE.....	38
FIGURE 17 : SCHEMA DE TRANSMISSION DE POIDS.....	39
<b>Figure 18</b> : Pareto des fréquences des pannes des instruments du doseur.....	48
<b>Figure 19</b> : Pareto des durées des pannes des instruments du doseur.....	49
<b>Figure 20</b> : l'arbre des causes du VIS S04.....	50
<b>liste des tableaux</b>	
TABLEAU 1 : DES DATES CLES DE L'OCP.....	10
TABLEAU 2 : DES CARACTERISTIQUES DES CHIFFRES CONSTITUANT DANS LA CARTOGRAPHIE DU PHOSPHATE BRUT.....	27
TABLEAU 3 : MESURE PHOSPHATE.....	42
TABLEAU 4 : BAREME DE LA VALEUR DE LA GRAVITE.....	44
TABLEAU 5 : BAREME DE LA VALEUR DE LA DETECTABILITE.....	44
TABLEAU 6 : TABLEAU AMDEC DU SOUS SYSTEME BANDE DE LA BASCULE INTEGRATRICE.....	45
TABLEAU 7 : TABLEAU AMDEC DU SOUS SYSTEME MOTEUR TRIPHASE SAS.....	46
<b>Tableau 8</b> : des statistiques de fréquences des pannes des instruments du doseur.....	47
<b>Tableau 9</b> : des statistiques de durées des pannes des instruments du doseur.....	48

## liste des acronymes

A

AMDEC : **A**nalyse des **M**odes de **D**éfaillance de leurs **E**ffets et de leurs **C**riticités.

E

E : Electrique.

O

OCP : **O**ffice **C**hérifien des **P**hosphates.

**P**

**P** : **P**roduction d'acide **P**hosphorique.

PID : **P**roportionnel **I**ntégral **D**érivé.

**S**

SA : **S**ociété **A**nonyme.

**U**

UTN : **U**nité de **T**raitement **N**umérique.

# Table de matière

<b>Dédicace</b> .....	1
<b>Remerciement</b> .....	2
<b>Liste des figures</b> .....	3
<b>Liste des acronymes</b> .....	5
<b>Introduction</b> .....	9
<b>CHAPITRE 1 :GENERALITES SUR LA SOCIETE D'ACCUEIL</b> .....	10
<b>1. ....</b> .....	<b>HISTORIQUE DU GROUPE OCP</b>
.....	10
1.1. QUELQUES DATES CLES .....	11
1.2. ATOUTS.....	11
1.3. PRODUITS COMMERCIALISES.....	11
1.4. PRODUITS EN DEVELOPPEMENT .....	12
<b>2. ....</b> .....	<b>PRESENTATION DE JORF LASFAR</b>
.....	12
2.1. INDO MAROC PHOSPHORE SA IMACID .....	12
2.2. EURO MAROC PHOSPHORE (EMAPHOS).....	13
2.3. PMP (PAKISTAN MAROC PHOSPHORE) .....	13
2.4. BMP (BUNG MAROC PHOSPHORE) .....	13
2.5. MAROC PHOSPHORE JORF LASFAR.....	14
<b>3. ....</b> .....	<b>PRESENTATION DU SERVICE IDJ/P/ E: MAROC PHOSPHORE</b>
.....	15
3.1. INTRODUCTION :.....	15
3.2. PRESENTATION DU SERVICE IDJ/P/E .....	15
3.2.1.....	LE ROLE DU SERVICE DE REGULATION IDJ/P/E
.....	15
3.2.2.....	SECURITE
.....	15
3.2.3.....	ORGANIGRAMME DU SERVICE IDJ/P/E
.....	16
<b>Chapitre 2: Procédé de fabrication d'acide phosphorique</b> .....	<b>16</b>
<b>1. ....</b> .....	<b>BROYAGE</b>
.....	17
1.1. INTRODUCTION .....	17
1.2. PROCEDE DE BROYAGE (FIGURE 3) :.....	18
2. L'ATTAQUE FILTRATION .....	19
2.1. INTRODUCTION .....	19
2.2. SECTION D'ATTAQUE .....	19
2.3. SECTION FILTRATION .....	21

3. CONCENTRATION .....	21
3.1) INTRODUCTION .....	21
<b>Chapitre 3: Amélioration du système de gestion des flux et des stocks de l'atelier phosphorique.....</b>	<b>24</b>
1. .... LA CARTOGRAPHIE DU PHOSPHATE BRUT ET BROYE .....	25
1.1. PRESENTATION .....	25
1.2. DESCRIPTION .....	27
2. .... ETUDE DESCRIPTIVE DES INSTRUMENTS DE MESURE .....	28
2.1. LA BASCULE INTEGRATRICE .....	28
2.1.1. DEFINITION .....	28
2.1.2. PRINCIPE DE FONCTIONNEMENT .....	28
2.2. LES DOSEURS .....	29
2.2.1. DEFINITION DES DOSEURS .....	29
2.2.2. LES TYPES DES DOSOMETRES .....	29
3. .... ETUDE CRITIQUE DES INSTRUMENTS DE MESURE .....	41
3.1. MESURE .....	41
3.1.1. .... MESURE DU PHOSPHATE BROYE .....	41
3.2. MAINTENANCE DES INSTRUMENTS DE MESURE DE L'ATELIER PHOSPHORIQUE .....	42
3.2.1. DEFINITION DE L'AMDEC : ANALYSE DES MODES DE DEFAILLANCE DE LEURS EFFETS ET DE LEURS CRITICITES. ....	42
3.2.2. .... AMDEC DE LA BASCULE INTEGRATRICE .....	43
3.2.3. .... AMDEC DU DOSEUR A PERTE DE POIDS .....	46
3.2.4. .... APPLICATION DE LA METHODE DE PARETO SUR LE DOSEUR A PERTE DE POIDS .....	47
4. .... PROPOSITION DES ACTIONS D'AMELIORATION .....	50
4.1. PROPOSITION DES ACTIONS D'AMELIORATION DES BASCULES INTEGRATRICES .....	50
4.2. PROPOSITION DES ACTIONS D'AMELIORATION DES DOSEURS A BANDE .....	51
4.3. PROPOSITION DES ACTIONS D'AMELIORATION DES DOSEURS A PERTE DE POIDS .....	51
<b>Conclusion.....</b>	<b>52</b>
<b>Bibliographie.....</b>	<b>53</b>

# *Introduction général*

---

L'Office Chérifien des Phosphates (OCP) s'est engagé dans une nouvelle stratégie en vue de consolider son leadership sur le marché mondial. Le directeur général, a précisé que le groupe prévoit plusieurs projets, qui se basent sur la consolidation du potentiel de production et des installations en augmentant la productivité. Mon projet est engagé dans le cadre d'améliorer les performances des instruments de mesure afin d'assurer une meilleure production ainsi de minimiser les charges et les coûts.

Dans le cadre du travail demandé et après avoir visité les différentes stations, dans le but d'avoir une idée générale sur l'usine Jorf Lasfar, j'ai concentré tous mes efforts, dans un premier temps pour comprendre le processus de production et les systèmes de fonctionnement des instruments de mesure afin d'aboutir à des solutions et des améliorations pour éliminer les problèmes rencontrés. Pour concrétiser ce cahier de charge je me suis basée sur le plan de travail suivant :

- ❖ Le premier chapitre de ce rapport est destiné à une introduction générale de l'entreprise OCP et précisément du site de stage à Jorf Lasfar ;
- ❖ Le deuxième chapitre de ce rapport fait l'objet d'une étude de production d'acide phosphorique ;
- ❖ Le troisième chapitre est consacré à une étude descriptive du système des instruments de mesure, ainsi qu'une étude critique du système dans le but de proposer des solutions d'amélioration.

# Chapitre 1

## Généralités sur la société d'accueil.

### 1. Historique du groupe OCP

L'office chérifien du phosphate a été créé par le dahir du 07 Aout 1920, le dahir réservera à l'état tout les droits de recherche d'exploitation du phosphate, ainsi que le monopole des vente de ce minerai sur la marche, l'exploitation effective du minerai ne fut entreprise qu'en 1921 dans la région de Oued Zem.

L'OCP a commence une très large industrialisation avec son activité et crée des usines les dérivées du phosphates (acide phosphorique, fertilisante, etc.....), ce qui constituera le noyau du groupe OCP.

Cependant en ces dernières années, l'activité a repris grâce au dynamisme que connaît le groupe actuellement, et développement du partenariat avec les pays importateurs

manifestes en créant des entreprises mixtes, et comme cite avant grâce à la diversification de l'activité pour passer de l'extraction pure et simple du Pays et au faible coût d'exploitation.

Le groupe OCP livre aux cinq continents de la planète ; ses exportations représentent 25 à 30% du Commerce international du phosphate et de ses dérivés présente dans cinq zones géographiques du pays (3 sites d'exploitations minières : Khouribga, Youssoufia, Boucraa Laayoun et deux sites de transformation chimique : Jorf lasfar et Safi qui constituent un vecteur de développement régional et national important.

### 1.1. Quelques dates clés

#### Les dates clés

1920 : début de l'extraction du phosphate à Boujniba (Khouribga).
1930 : ouverture d'un nouveau centre de production de Phosphate (Youssoufia)
1950 : mise en œuvre de la méthode d'extraction en Découverte à Khouribga.
1960 : développement de la mécanisation du souterrain à Youssoufia.
1965 : démarrage de Maroc phosphore I-II à Safi.
1970 : création de la structure organisationnelle intégrant L OCP et ces entreprises filiales.
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 renforcement des capacités.
2000 : démarrage d'une unité de flottation de phosphore à Khouribga.

**Tableau 1 : Des dates clés de l'OCP**

### 1.2. Atouts

- Les plus importantes réserves de phosphate au monde ;
- Qualité de phosphate de renommée mondiale ;
- 4 centres d'exploitation minière : 90 ans d'expérience dans la mine ;
- 2 plateformes chimiques : 45 ans d'expérience dans la chimie ;
- 4 ports pour l'export ;
- Centres de recherche et d'ingénierie.

### 1.3. Produits commercialisés

- Phosphate ;

- Acide phosphorique marchand ( $H_3PO_4$ ) ;
- Acide phosphorique purifié (APP) ; - Di-Ammonium phosphate (DAP) ;
- Triple Super Phosphate (TSP) ;
- Mono-Ammonium Phosphate (MAP) ;

#### 1.4. Produits en développement

- Engrais spéciaux : Liquiphos, Liquiphos 30, Agrimap.
- Complément d'aliment pour bétail et volaille : Phosphate mono calcique (MCP) et Phosphate bi calcique (DCP).

## 2. Présentation de Jorf Lasfar

Situé sur le littoral atlantique, à 20 km au sud-ouest d'El Jadida, le complexe industriel de JORF LASFAR a démarré sa production en 1986. Cette nouvelle unité a permis au Groupe OCP de doubler sa capacité de valorisation des phosphates. Le site a été choisi pour ses multiples avantages : proximité des zones minières, existence d'un port profond, disponibilité de grandes réserves d'eau et présence des terrains pour les extensions futures.

Le complexe industriel de la Direction Pôle Chimie de Jorf Lasfar s'étend sur 1700ha et comporte cinq entités interdépendantes. Ce paragraphe est destiné à la description de ces entités, ainsi que les différentes relations qui les lient.

### 2.1. Indo Maroc Phosphore SA IMACID

Constituée dans le cadre d'un partenariat entre le Groupe OCP et le Groupe Indien Birla, la Société INDO MAROC PHOSPHORE S.A (IMACID) a démarré en octobre 1999, avec un potentiel de production de 0,33 million de tonnes de  $P_2O_5$  par an nécessitant : 1,2 million de tonnes de phosphate de Khouribga et 0,33 million de tonnes de soufre.

**a) Atelier sulfurique** : constitué d'une unité de production d'acide sulfurique de capacité 3.300 tonnes monohydrate par jour.

**b) Atelier phosphorique** : constitué de :

- Une unité de production de capacité 1.000 tonnes de  $P_2O_5$  par jour ;
- Une unité de lavage des gaz ;
- 3 échelons de 440 tonnes  $P_2O_5$  chacun.

**c) Atelier utilités** : constitué de :

- Une centrale thermoélectrique avec un groupe turboalternateur de 27 MW
- Un réservoir d'eau douce et une station de traitement de 200 m<sup>3</sup>/h ;

- Une station de reprise d'eau de mer de 15.000 m<sup>3</sup>/h ;
- Une station de compression d'air.

## 2.2. Euro Maroc Phosphore (EMAPHOS)

Suite à un partenariat avec PRAYON (Belgique) et CFB (Allemagne), le Groupe OCP a inauguré une nouvelle ère dans la diversification de ses produits finis, par la production d'un acide à haute valeur ajoutée : l'acide phosphorique purifié. L'usine EMAPHOS qui est entrée en production en janvier 1998 avec une capacité est de 0,12 million de tonnes P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> par an d'acide phosphorique purifié (qualité alimentaire).

## 2.3. PMP (Pakistan Maroc Phosphore)

Le projet PMP consiste en la construction et l'exploitation d'un ensemble chimique de production d'acide phosphorique d'une capacité de 375.000 tonnes P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> qualité engrais par an. Ses activités de production d'acide phosphorique ont démarré le 04/04/2008.

Il est composé des ateliers suivants :

**a) Atelier Phosphorique :** L'atelier phosphorique est constitué principalement de :

- Une ligne de production d'acide phosphorique de capacité de 1135 tonnes de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>/jour.
- Une ligne de broyage de phosphate.
- Un circuit d'alimentation en phosphate ;
- Une unité de concentration d'acide phosphorique,
- Une unité de stockage d'acide phosphorique 29% et 54%.

**b) Atelier Sulfurique :** L'atelier sulfurique est constitué principalement de :

- Une ligne de production d'acide sulfurique de capacité de 3410 tonnes monohydrate/jour.
- Une unité de stockage de soufre liquide;
- Une unité de stockage d'acide sulfurique.

**c) Atelier des utilités :** L'atelier des utilités est constitué principalement de :

- Une centrale thermoélectrique comprenant un groupe turboalternateur de 32 MW;
- Une station de traitement des eaux douces;
- Une station de compression d'air.

## 2.4. BMP (Bung Maroc Phosphore)

Le projet BMP est un ensemble chimique de production qui se compose d'une unité de production d'acide sulfurique d'une capacité de 3410 tonnes monohydrates par jour, d'une unité de production d'acide phosphorique d'une capacité de 1200 tonnes P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> par jour et d'une unité de production des engrais.

## 2.5. Maroc Phosphore JORF LASFAR

Maroc Phosphore Jorf Lasfar fait partie intégrante du groupe OCP. Il a démarré en 1986 et permet de produire annuellement :

- 1,7 million de tonnes P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> d'acide phosphorique ;
- 1,8 million de tonnes équivalent DAP.

Nécessitant ainsi la transformation de :

- 1,7 million de tonnes de soufre ;
- 6,5 millions de tonnes de phosphate ;
- 0,5 million de tonnes d'ammoniac.

Les ateliers de MAROC PHOSPHORE Jorf Lasfar sont :

**a) Atelier sulfurique :** Il est constitué de six unités de production d'acide sulfurique monohydrate de capacité 2650 tonnes par jour chacune.

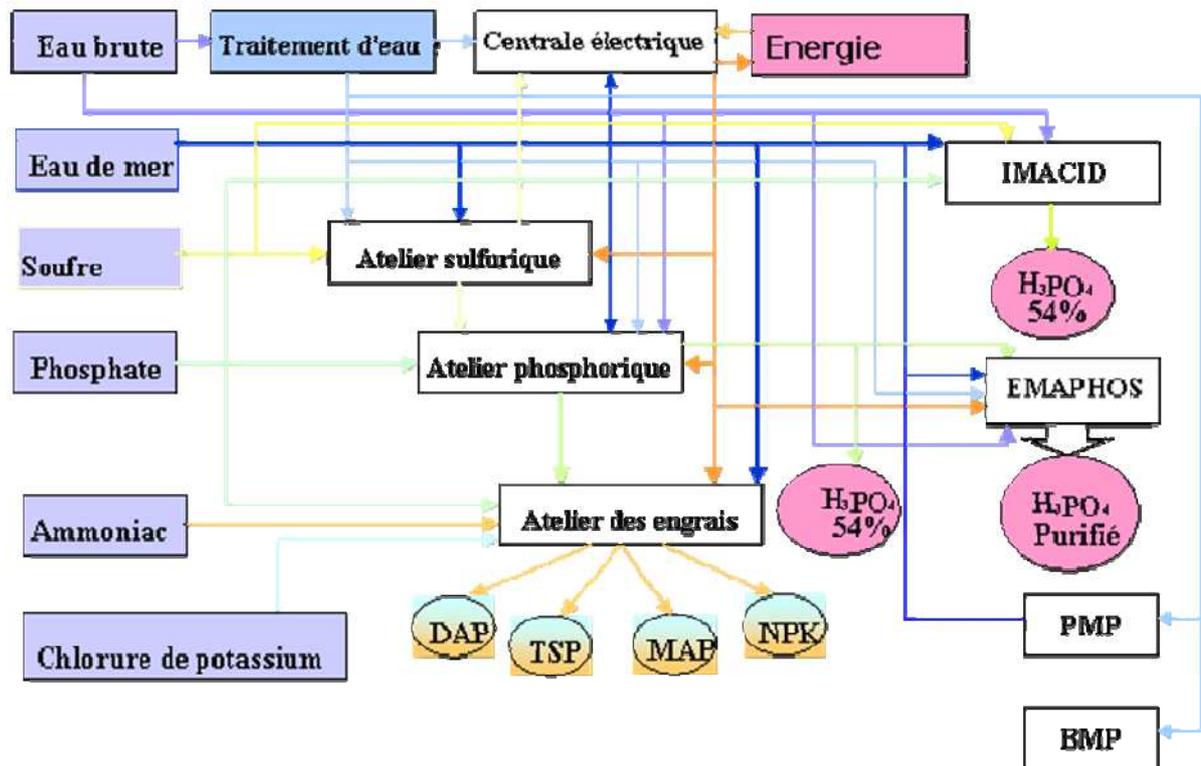
**b) Atelier phosphorique :** Il est constitué de 8 unités de broyage de phosphate, 8 unités de production d'acide phosphorique et 20 échelons de concentration.

**c) Atelier engrais :** Il comporte quatre unités de production de DAP dont deux peuvent produire du TSP, MAP et NPK, et de capacité de 1400 tonnes par jour chacune.

**d) Atelier des utilités :** Cet atelier rassemble tous les produits intermédiaires nécessaires à la production à l'exception de l'acide sulfurique. Il contient:

- Une centrale thermoélectrique avec 3 groupes turboalternateurs de 37 MW chacun ;
- Un réservoir d'eau douce et une station de traitement de 2000 m<sup>3</sup>/h ;
- Une station de reprise d'eau de mer de 60000 m<sup>3</sup>/h ;
- Une station de compression d'air.

La figure suivante résume les différentes relations liant les entités que nous avons vues à savoir Maroc Phosphore, IMACID, EMAPHOS, PMP et BMP (Figure 1).



**Figure 1 : Diagramme de liaison de Maroc Phosphore avec les autres ateliers**

### 3. Présentation du service IDJ/P/ E: Maroc Phosphore

#### 3.1. Introduction :

Dans ce chapitre je vais présenter brièvement le lieu où j'ai effectué mon stage de fin d'étude : service régulation, c'est un service très important et nécessaire pour que les instruments de mesure et de contrôle restent toujours en bon état pour avoir une très bonne production.

#### 3.2. Présentation du service IDJ/P/E

##### 3.2.1. Le rôle du service de régulation IDJ/P/E

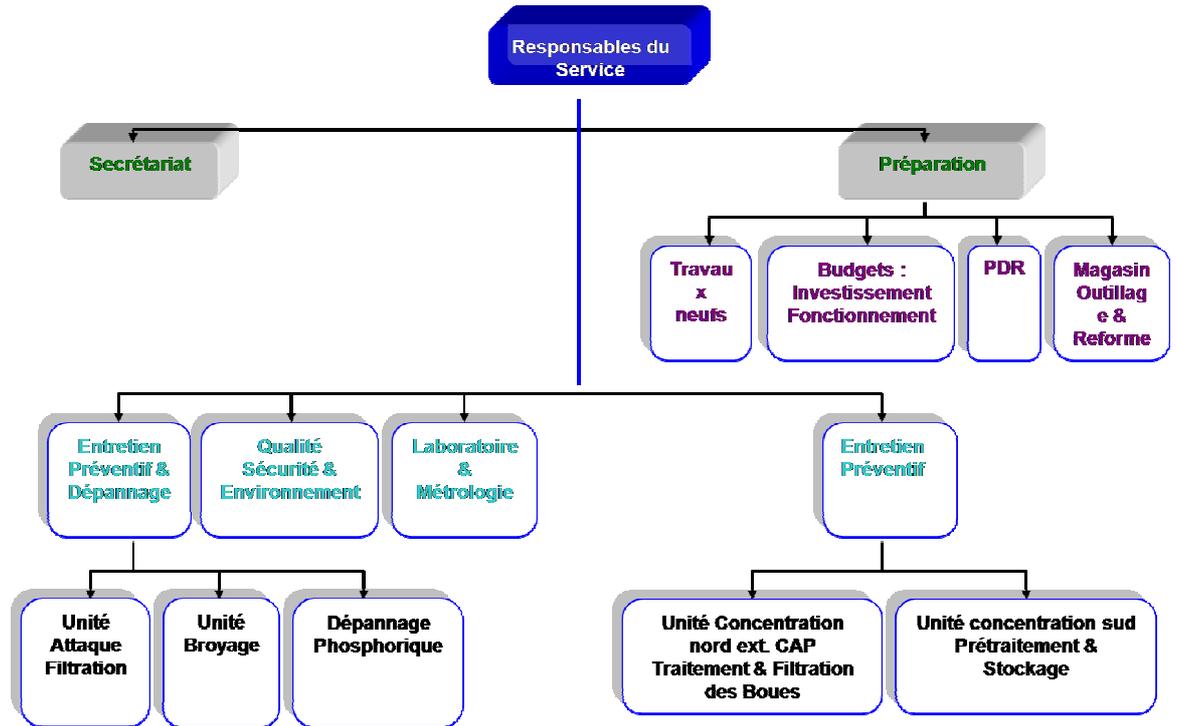
Le rôle du service de régulation est la maintenance et l'entretien des appareils de mesure et de régulation, le dépannage et le changement des appareils en cas d'une panne.

##### 3.2.2. Sécurité

Le travail dans l'atelier ne représente pas de danger majeur puisque on travaille avec une tension qui ne dépasse pas 220V et un courant qui varie entre 4 et 20mA.

Mais par contre dans le chantier, on est exposé à différents dangers : hautes tensions (jusqu'à 10 kV), gaz, acide (acide sulfurique), chute probable des pièces du chantier.

### 3.2.3. Organigramme du service IDJ/P/E



**Figure 2: Organigramme de l'IDJ/P/E**

# Procédé de fabrication d'acide Phosphorique

Avant d'obtenir d'acide phosphorique, la matière première passe par diverse étapes : broyage, l'attaque filtration et la concentration.

Dans cette partie nous avons expliqué brièvement ces trois étapes.

## 1. Broyage

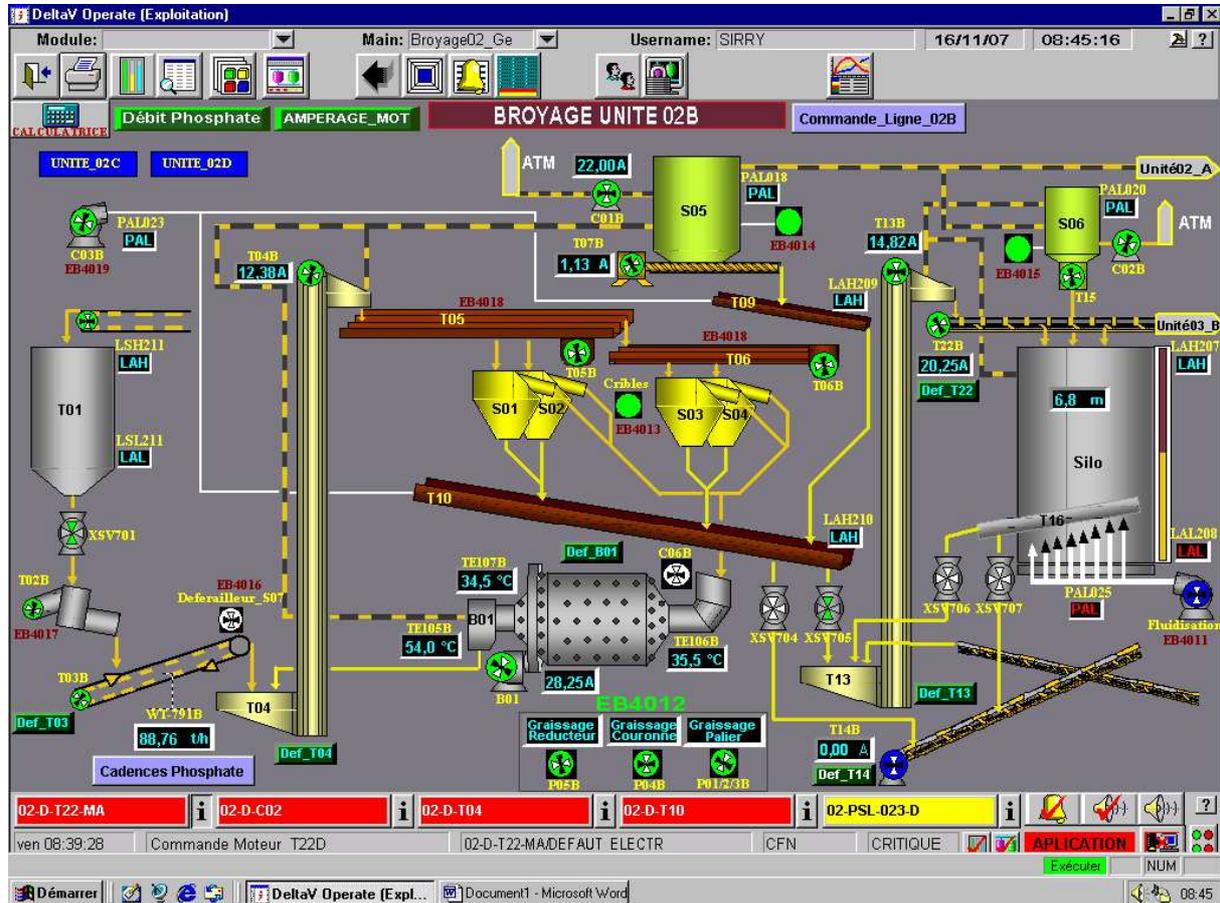
### 1.1. Introduction

Le broyage est la première étape de fabrication d'acide phosphorique, c'est une opération mécanique qui consiste à broyer le phosphate brute pour réduire sa granulométrie à des épaisseurs  $< 400 \mu\text{m}$  dans le but de faciliter l'attaque par l'acide sulfurique.

**Commentaire :**

Les huit lignes A, B, C, D, X, Y, Z, U réalisent le même travail le broyage du phosphate brut, les trois lignes A, C et D de la zone nord ont subi des modifications pour augmenter la cadence du phosphate broyé au lieu de 95T/h elles produisent 140 T/h.

## 1.2. Procédé de broyage (Figure 3) :



**Figure 3 : Schéma de broyage**

Le phosphate brut est introduit dans une trémie T01 de capacité 400 tonnes divisé en deux compartiment chaque compartiment alimente deux lignes.

Ensuite, à l'ouverture d'une trappe pneumatique (commande par vérin), le phosphate passe dans un couloir vibratoire T02 à l'entrée d'un extracteur vibratoire qui alimente une bande transporteuse T03.

Le phosphate nettoyé de toute matière de fer par le déferrailleur, est envoyé par l'intermédiaire d'un élévateur à godets T04, dans les couloirs vibratoires T05, T06, qui dispersent le produit en parties égales (25 tonnes) sur des machines à tamiser appelées des cribles AS01, AS02, AS03, AS04.

Le produit qui traverse les tamis est envoyé par un système d'aération, produit par l'équipement aéroglyseur T10 vers l'élévateur à godets T13, ensuite vers le transporteur en masse (Redler) T22 qui assure l'alimentation du dosimètre en phosphate.

Il existe deux systèmes de broyage :

- ❑ Le broyage **en circuit continue fermé (Rhône-Poulenc)** : Au niveau de la ligne B c'est le système de broyage avec séparation c.-à-d le produit surdimensionné est retourné pour être broyé à nouveau (le phosphate brut subit un criblage, le passant est livré vers la cuve d'attaque, le refus est envoyé au broyeur pour être acheminé ensuite vers les quatre cribles), ce procédé a une cadence de 95 T/h.
- ❑ Le broyage **en circuit continue ouvert (Revamping)** : Au niveau des lignes A, C et D dans ce type de broyage, le produit passe une seule fois dans le broyeur, ce qui exige une quantité excessive d'énergie (le phosphate brut envoyé vers les cribles, le passant est envoyé vers la cuve d'attaque, le refus est envoyé vers le broyeur pour être acheminé directement vers la section d'attaque, ce procédé a une cadence de 140 - 150 T/h).

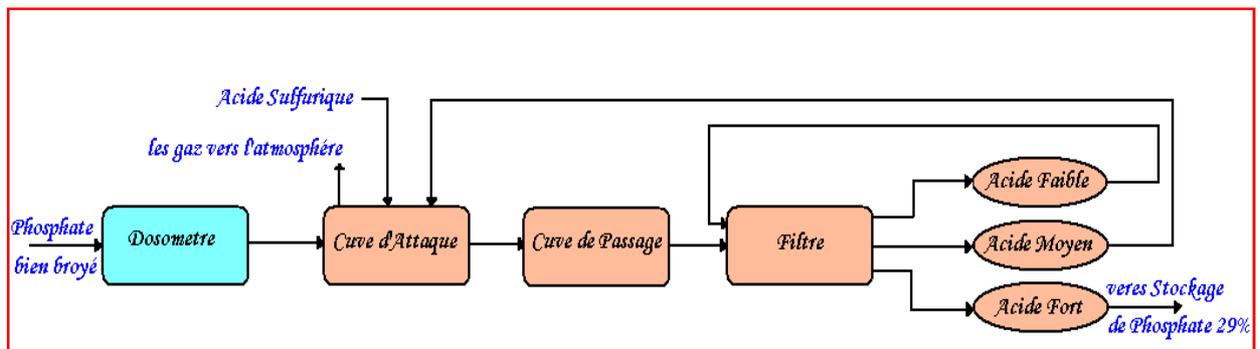
## 2. L'attaque filtration

### 2.1. Introduction

L'attaque filtration (unité 03) a pour rôle de produire l'acide phosphorique concentré à 29% par l'attaque du phosphate broyé par l'acide sulfurique.

### 2.2. Section d'attaque

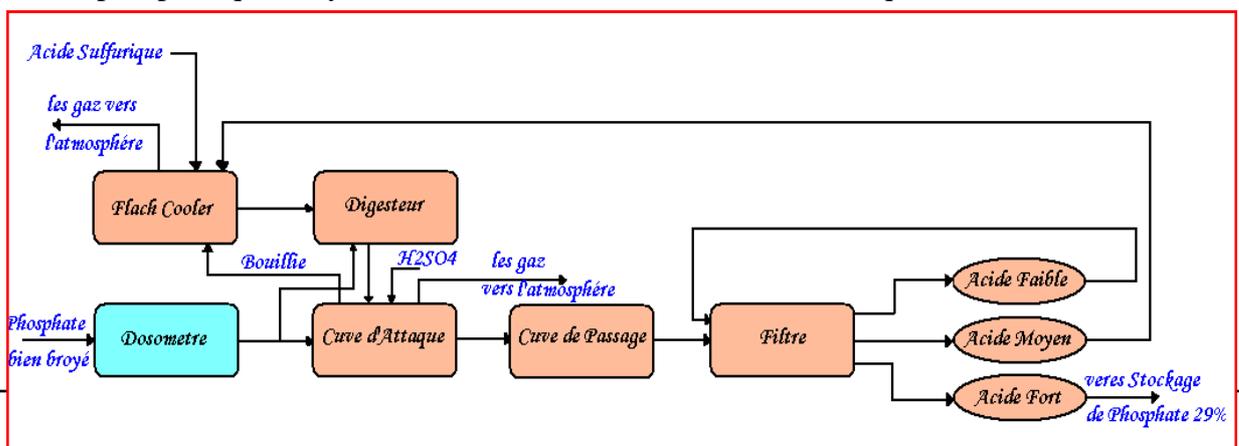
On distingue deux procédés d'attaque : procédé Rhône-Poulenc et procédé Revamping :



**Figure 4 : Système de « Rhône Poulenc »**

#### ❑ Procédé Rhône-Poulenc (figure 4) :

Le phosphate broyé transporté par un Redler, l'acide sulfurique et l'acide phosphorique recyclé, sont introduits dans la cuve d'attaque. Cette dernière est



munie d'un agitateur central hélice, et 10 agitateurs périphériques qui assurent le refroidissement de la cuve d'attaque, en projetant la bouillie à la surface, puis balayée par un courant introduit par 10 canots. Les gaz chauds est aspirés par un ventilateur au niveau de la cuve d'attaque subissent un lavage dans le venturi et une tour par l'eau propre. L'eau de procédé (l'eau de lavage) est utilisée pour alimenter le circuit d'eau pour le lavage du filtre à l'unité filtration, il est réchauffé par une vapeur basse pression, afin de compenser les pertes de chaleur en production son utilisation principale est le lavage des filtres pendant les arrêts des lignes.

### Figure 5: Système de « Revamping »

#### ■ Procédé de Revamping (figure 5) :

Nouveau procédé de production de l'acide phosphorique mis au point est fondé sur l'augmentation de la capacité nominal de production d'acide 29% de 500 à 700 tonne de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> /j/ligne, soit une augmentation de capacité de 40% grâce aux améliorations au niveau du broyage et de la section d'attaque.

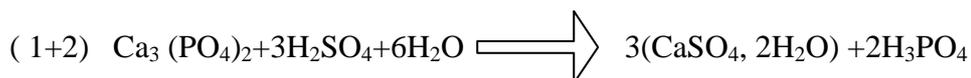
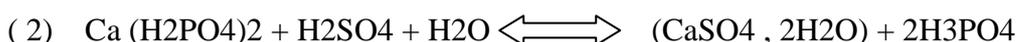
Elle est constituée d'une cuve agitée où s'effectue l'attaque des phosphates broyés par l'acide sulfurique à 98.5% en présence d'acide phosphorique recyclé.

La cuve d'attaque est équipée d'un agitateur central qui assure l'homogénéisation, quatre (4) disperseurs d'acide sulfurique, six (6) agitateurs refroidisseurs de la bouillie et dix (10) carneaux d'aération. Le refroidissement s'effectue par balayage d'air qui évacue les effluents gazeux de la cuve vers le venturi et la tour de lavage, avant d'être évacué par la cheminée, pour subir un lavage par l'eau brute.

L'eau récupérée est utilisée pour le lavage dans les filtres. Une cuve de passage destinée à l'augmentation du temps de séjour de la réaction. Un digesteur son rôle est d'augmenter la capacité de production ainsi que diminuer le temps de la réaction.

Flash Cooler : Alimenté en acide sulfurique à 98.5% et en acide phosphorique recyclé (moyen) à 18% en P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> ainsi que la bouillie d'un débit d'environ 1600 m<sup>3</sup>/h ; son rôle est d'augmenter la capacité de refroidissement par le sous vide.

#### Les Réaction chimique qui se produisent dans la cuve d'attaque sont :



L'attaque du phosphate broyé par l'acide sulfurique se fait par trois méthodes :

- Manuellement : On ajoute l'acide sulfurique manuellement.
- Automatique : On donne une consigne.
- Cascade : Le calculateur fait l'opération suivante :

[Sulfurique/phosphate= 0.44]

Il faut que la quantité d'acide sulfurique divisé par la quantité du phosphate égal à 0.44.

### 2.3. Section filtration

L'objectif de cette section est la séparation des deux phases liquides et solides pour obtenir l'acide phosphorique à 29% de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>.

Le filtre est une table circulaire rigide, tournante et au dessus du quelle sont disposes plusieurs conduites et distributeurs dont la vocation est la répartition de la bouillie et les liquides de lavage.

Une fois la bouillie repartie sur le filtre, plus exactement dans le présélecteur le premier filtrat trouble est aspire et achemine vers la cuve d'attaque. D'autre part, dans le secteur fort, on obtient le filtrat suivant dit acide fort lequel sera conduit en partie vers l'unité de stockage 29%, et le reste recycle vers la cuve d'attaque au niveau du séparateur.

Au bout de ces deux opérations, un solide se dispose sur le filtre, on procède à son lavage deux fois méthodiquement.

Le premier lavage du mélange se fait avec l'acide faible et le liquide obtenu est l'acide moyen. Le deuxième lavage se fait avec l'eau gypseuse, il en résulte l'augmentation de l'épaisseur du solide sur le filtre.

## 3. Concentration

### 3.1) Introduction

L'objectif de cette unité est d'élever la concentration de l'acide phosphorique par augmentation de la teneur en acide de 29% à 54%. Elle comporte 16 échelons (alimenté par 8 transformateurs, un transformateur pour deux échelons) qui fonctionnent suivant le procédé RHONE POULENC et quatre autres suivant REVAMPING. Pour réaliser ce procédé, on dispose deux circuits :

- Circuit de production de vapeur secondaire à basse pression.
- Circuit de concentration d'acide.

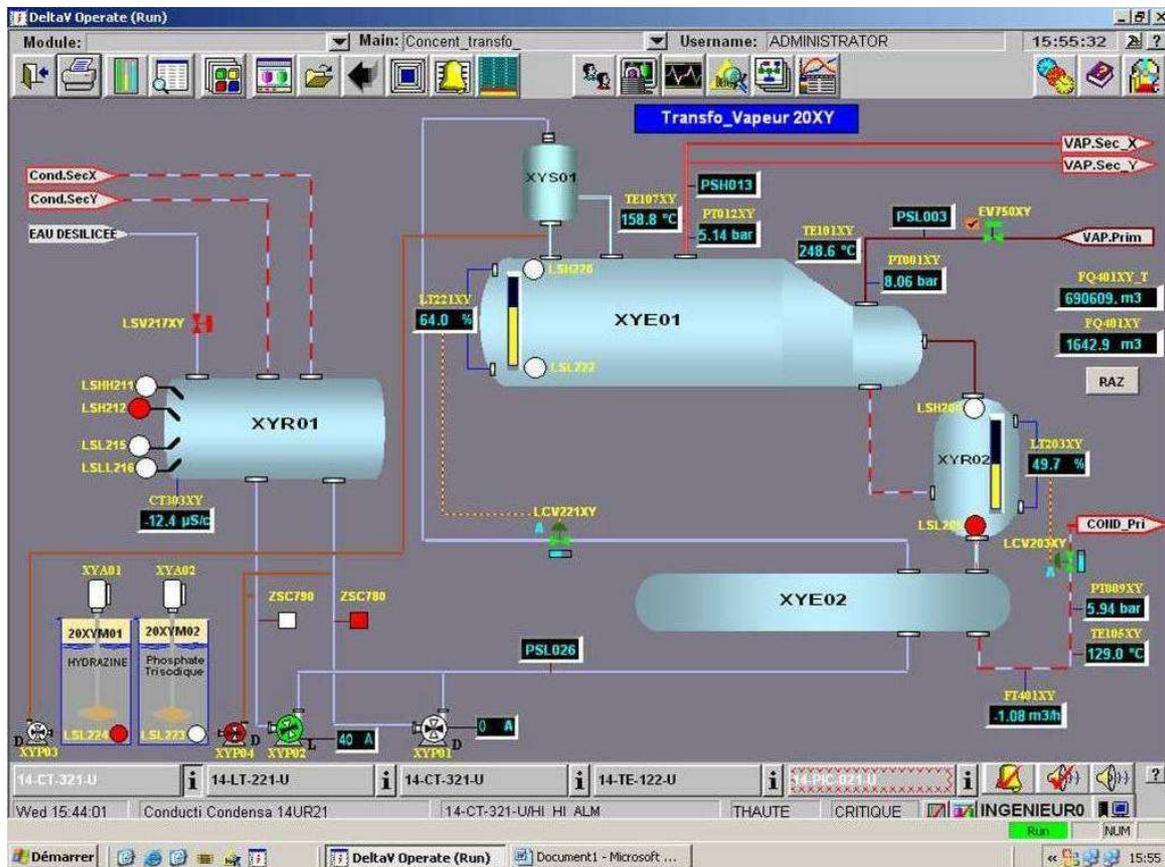
### 3.3) Procédé de la concentration :

#### Circuit de production de vapeur secondaire (Figure 6):

La vapeur joue le rôle de fluide chauffant qui participe aux lois de transfert de chaleur par conduction et convection. Puisque la centrale thermique fournit une vapeur primaire à moyenne pression, on a intérêt de diminuer cette vapeur à basse pression à l'aide d'un transformateur. Ce circuit est constituée par :

- a) Un transformateur XYE01 (sécurité de la centrale, transformation de la vapeur primaire).
- b) Echelon XYR01. (réservoir du condensat secondaire et d'eau de silice).
- c) Refroidisseur XYE02 (prechauffement d'eau).

- d) Ballon XYR02 (réservoir du condensat qui par la suite poussée vers le refroidisseur par la différence de pression entre le condensat (faible pression) et la vapeur primaire (haute pression)).



**Figure 6 : Circuit de production de vapeur secondaire**

### Circuit de concentration (Figure 7):

Ce circuit a pour but d'élever la concentration d'acide phosphorique de 29% à 54%, ce circuit est formé par :

- Un bouilleur.
- Un échangeur.
- Une pompe de circulation d'acide.
- Un ballon à condensat.
- Une pompe de production d'acide.
- Un filtre de protection de l'échangeur pour but d'éliminer les particules solides qui provoque l'endommagement du circuit de l'échangeur.

L'acide 29% arrive de l'unité 13 sous une température de 40°C vers un échangeur où s'effectue un échange thermique entre la vapeur secondaire et l'acide sous pression.

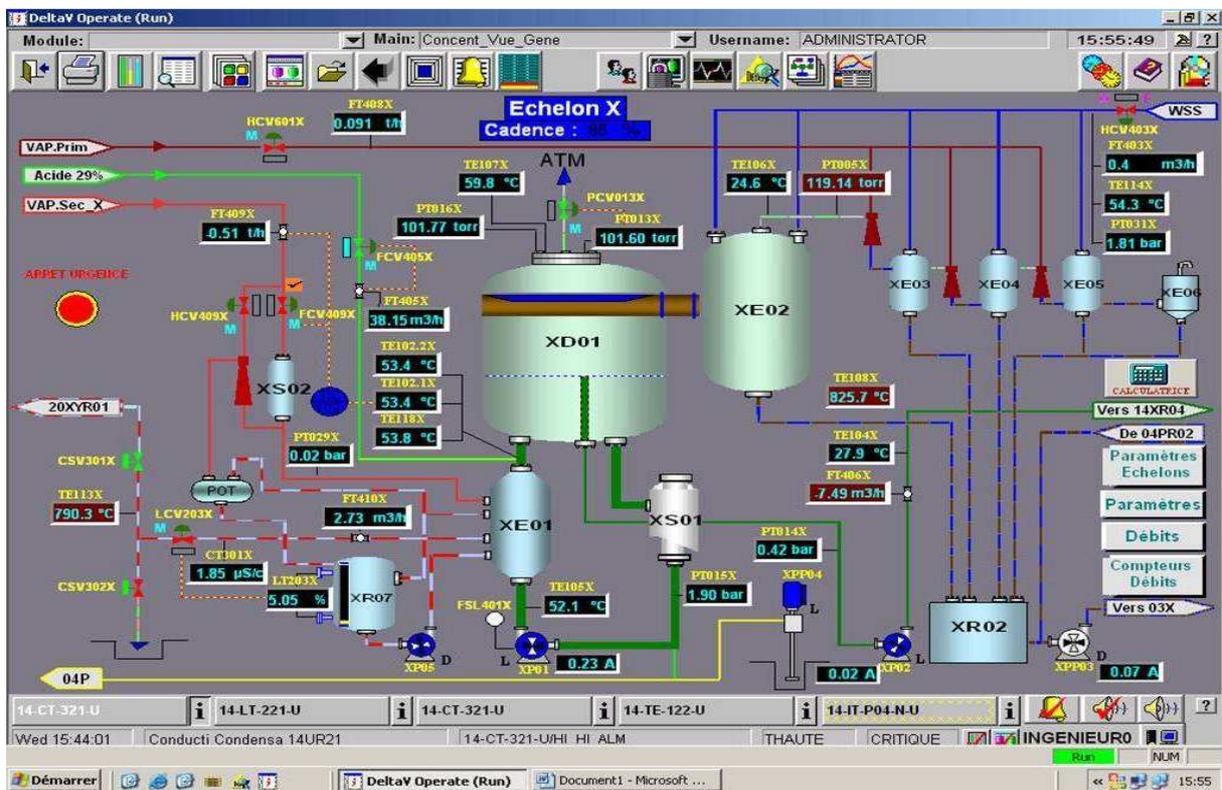
L'échauffement des conduites entraîne l'évaporation de l'eau conduite dans l'acide, donc l'acide récupéré dans le bouilleur sera de concentration 54% qui va être envoyé vers l'unité de stockage par une pompe.

Les condensats seront acheminés à l'aide d'une pompe vers le transformateur pour se réchauffer à l'aide de la vapeur venue de la centrale (la vapeur primaire).

La température de l'acide dans la boucle s'élève à une température de 82°C au maximum, l'eau de l'acide s'évapore sous l'effet de la dépression générée par la pompe à vide et le débit de l'eau de mer.

Par un tube de trop plein de l'acide concentré s'écoule vers le stockage 54% en P205 unité 14 où il subit les mêmes opérations de décantation que reçoit l'acide 29%.

Les gaz séparés subissent un lavage dans le laveur avec l'eau de mer et la vapeur primaire.



**Figure 7 : Circuit de concentration d'acide 29%**

## Chapitre 3

### iii- Amélioration du système de gestion des flux et des stocks de l'atelier phosphorique

#### **Introduction**

Dans cette partie du rapport je vais détailler mon sujet en commençant par la cartographie de système de gestion des flux et des stocks par fluide de l'atelier phosphorique,

Plus précisément du phosphate brut et broyé, vu que les moyens de mesure et de contrôle de débit de ces fluides sont des bascules intégratrices et les doseurs qui ont une fonction très importante dans le processus de production,

Ensuite je vais faire étude de fonctionnement, une étude critique sur ses instruments.

Ainsi que je vais essayer de proposer des solutions d'amélioration des instruments de mesure pour augmenter la production.

## 1. La cartographie du phosphate brut et broyé

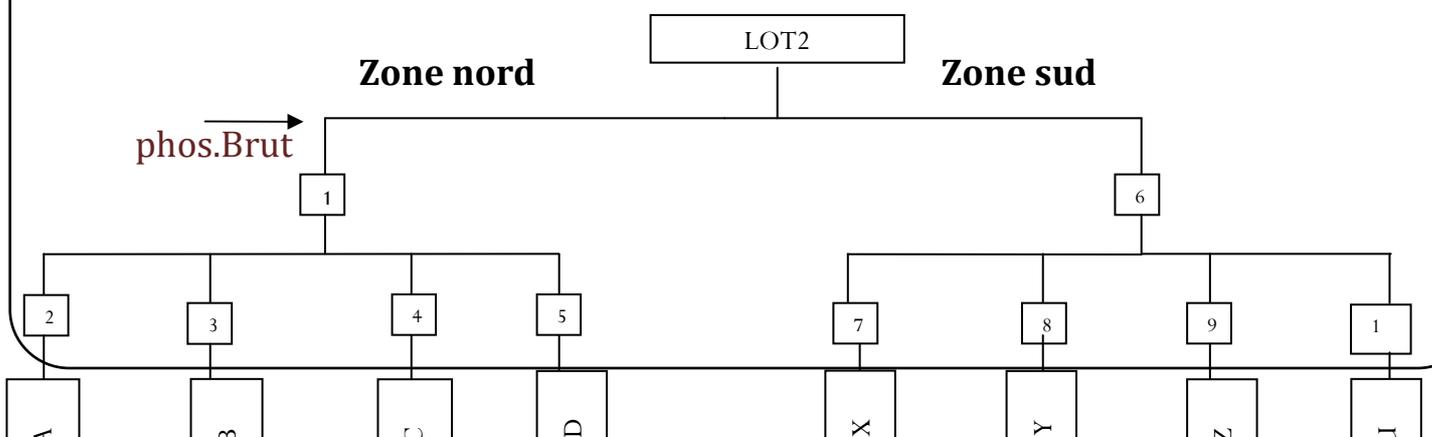
### 1.1. Présentation

La cartographie des gestions des flux et des stocks offre une vue globale sur le processus de production ou de fabrication d'un fluide.

Dans l'atelier phosphorique où j'ai effectué il existe beaucoup des fluides de différente nature :

- Phosphate brute.
- Phosphate broyé.
- L'eau brute.
- Vapeur secondaire.
- Vapeur primaire.
- Acide sulfurique.
- Acide phosphorique 29%.
- Acide phosphorique 54%.

Dans cette partie je vais décrire la cartographie du phosphate brute et broyé (Figure8). L'utilisation de cette cartographie m'a permet de faire une description structuré des instruments de mesure que je vais étudier par la suite.



← Phos.Broyé

-  Doseur a bande
-  Doseur à perte de poids
-  Bascules intégratrice

**Figure 8 : La cartographie du phosphate brut avec le phosphate broyé.**

Le tableau ci-dessous, regroupe l'ensemble des caractéristiques des numéros existants dans la cartographie que nous avons décrit précédemment :

Numéro	type	Repaire	Paramètres	Précision
1	Basculé intégratrice	Compteur/tot -aliseur	700T/h	±0.5

2	Basculé intégratrice	02AWT792	180T/h	±0.5
3	Basculé intégratrice	02BWT792	110T/h	±0.5
4	Basculé intégratrice	02CWT792	180T/h	±0.5
5	Basculé intégratrice	02DWT792	180T/h	±0.5
6	Basculé intégratrice	Compteur/tot aliseur	700T/h	±0.5
7	Basculé intégratrice	02XWT792	180T/h	±0.5
8	Basculé intégratrice	02YWT792	110T/h	±0.5
9	Basculé intégratrice	02ZWT792	110T/h	±0.5
10	Basculé intégratrice	02UWT792	180T/h	±0.5
11	Doseur	03WT701A	180T/h	±0.5
12	Doseur	03WT701B	110T/h	±0.5
13	Doseur	03WT701C	180T/h	±0.5
14	Doseur	03WT701D	180T/h	±0.5
15	Doseur	03WT701X	180T/h	±0.5
16	Doseur	03WT701Y	110T/h	±0.5
17	Doseur	03WT701Z	110T/h	±0.5
18	Doseur	03WT701U	180T/h	±0.5

**Tableau 2 : Les caractéristiques des chiffres constituant dans la cartographie du phosphate brut**

### 1.2. Description

Le phosphate brut a été stocké dans le lot2 après il est envoyé vers la zone Nord et la zone Sud avec un débit de 700T/h déterminé par les balances intégratrices.

Chaque zone est constitué par quatre lignes : la zone nord A, B, C et D et X, Y, Z, U pour la zone sud, la ligne A C ET D de la zone Nord et X et U de la zone Sud, ont un procédé de fabrication de phosphate broyé Revamping donc ils sont alimenté par un débit de 180T/h au maximum par contre les lignes B,Y,Z ont un procédé Rhône-Poulenc ils sont alimenté par un débit de 110T/h au maximum.

Après que le phosphate brut est broyé au niveau des huit lignes, il est envoyé directement vers les lignes de l'unité d'attaque filtration. Au cas d'un excédent au niveau de production le phosphate broyé est stocké dans des silos.

Le phosphate broyé est envoyé à l'unité d'attaque filtration pour obtenir l'acide phosphorique 29% par un débit de 180T/h pour A, C, D, X et U (système de procédé est Revamping), et de 110 T/h pour B, Z, et Y, (système de procédé est Rhône Poulenc),

Ce débit est déterminé par des doseurs qui font le dosage et le pesage avec précision du phosphate broyé, on obtient à la fin un bon mélange d'acide sulfurique avec le phosphate.

## 2. Etude descriptive des instruments de mesure

La gestion des flux et de stocks se fait moyennant un parc d'instrument de différents types et différentes technologies. Ces instruments de mesure sont des dispositifs électroniques qui se caractérisent par leur fiabilité, leur précision, leur robustesse et leur facilité de lecture. L'atelier phosphorique dispose de ces instruments à savoir :

- les balances intégratrices ;
- les doseurs.

### 2.1. La balance intégratrice

#### 2.1.1. Définition

La balance intégratrice est un instrument de pesage destiné à mesurer en continu le débit de matière en vrac manutentionnée par un convoyeur à bande et de totaliser le poids passé.

Le poids de matière passé sur le convoyeur est l'intégrale du poids de matière par mètre par rapport à la longueur de bande déroulée. Le poids du produit sur une longueur de bande appelée "longueur de pesage" est détecté par un capteur de poids.

#### 2.1.2. Principe de fonctionnement

La balance se compose de trois parties principales :

- Une infrastructure de pesage (récepteur de charge)
- Un dispositif de pesage et de mesure de vitesse de bande.
- Un équipement électronique et électrique de commande.

La balance intégratrice est pilotée par l'automate universel de pesage et de régulation, MiniSmart.

Le MiniSmart reçoit les informations poids et vitesse, effectue les algorithmes de calcul et élabore les informations débit et poids passé. Il gère également les différents défauts de fonctionnement.

Capteurs de poids à jauge de contraintes

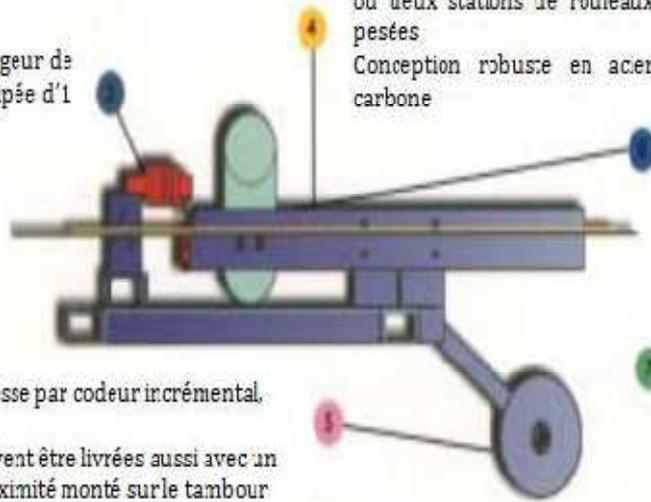
Selon les modèles et la largeur de bande, la bascule est équipée d'1 ou 2 capteurs

Infrastructure de pesage d'une ou deux stations de rouleaux pesés  
Conception robuste en acier carbone

Traitement local des informations (poids, vitesse...), par l'UTN (unité de traitement numérique)  
L'UTN est composé d'un DSP, d'un convertisseur de signaux analogique/numérique et d'une carte alimentation

Détecteur de vitesse par codeur incrémental, haute résolution  
les balances peuvent être livrées aussi avec un détecteur de proximité monté sur le tambour mené du convoyeur

Electronique numérique de pesage MINISMART composé d'une unité centrale avec microcontrôleur 16 bits, d'entrées/sorties logiques et analogiques



**Figure 9 : Schéma descriptif de la bascule intégratrice**

## 2.2. Les doseurs

### 2.2.1. Définition des doseurs

Le dosomètre a une fonctionnalité très importante dans le processus de production. Ce système est utilisé pour doser et peser le phosphate, il délivre une quantité constante du produit à une vitesse variable pour répondre à une consigne donnée du débit de phosphate, broyé, et essentielle entrant dans la préparation de la bouillie au niveau de la cuve d'attaque.

### 2.2.2. Les types des dosomètres

Dans l'atelier phosphorique il existe deux types des doseurs :

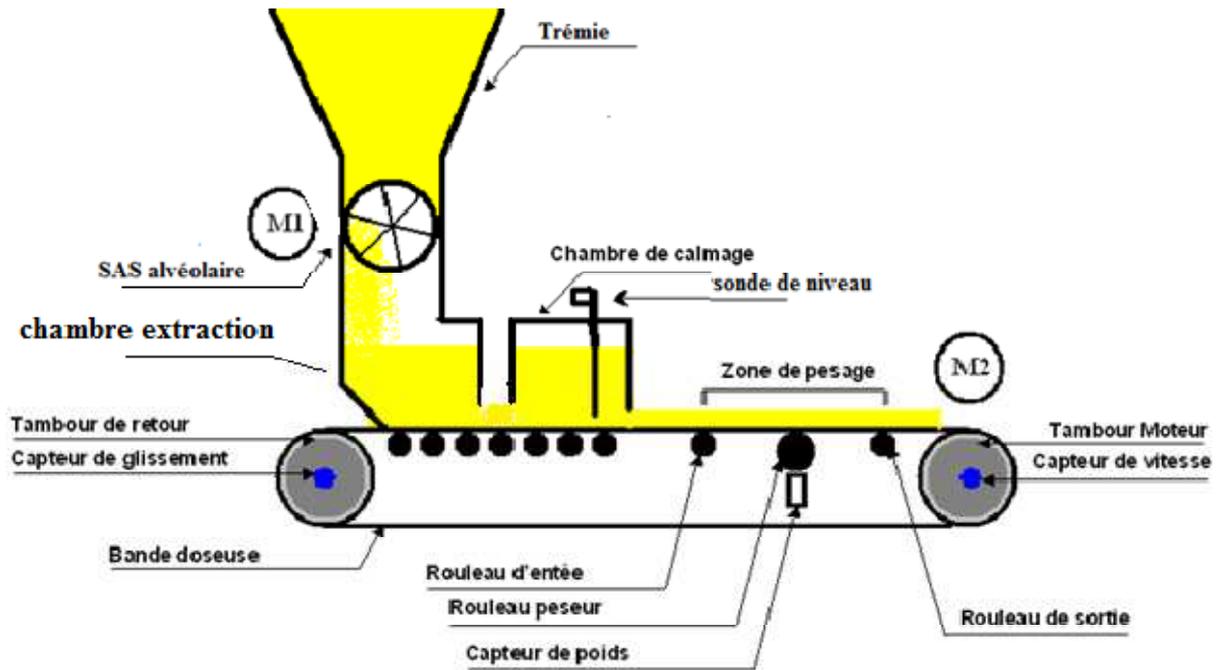
#### 2.2.2.1. Un doseur à bande

C'est le premier dosomètre utilisé dans l'atelier phosphorique, il y'a cinq dosomètres disponibles pour la composition du mélange. Ils sont disposés de la façon suivante :

Ligne Nord : 03A et 03B et 03D      Ligne Sud : 03Z et 03U

L'installation du dosomètre est constituée par trois parties principales :

- ✓ Le transporteur à bande adapté à la nature du produit et au débit à assurer.
- ✓ Un dispositif de pesage.
- ✓ Un équipement électronique de commande et de régulation.



**Figure 10 : Doseur à bande**

**a) Les Chaines de Régulation du doseur à bande :**

- Régulation du débit :

La régulation de débit massique, consiste à réguler les deux paramètres entrant dans le signal débit massique :

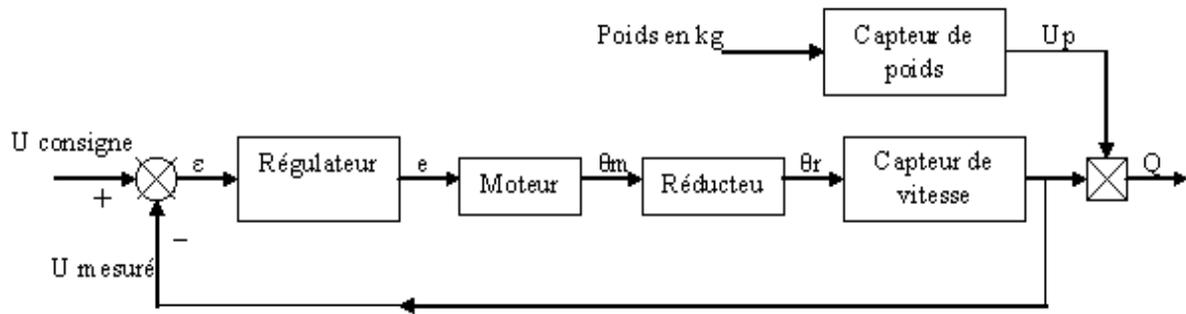
Le débit massique  $Q$  est donné par la relation :  $Q = P \times V$ .

Avec :

$V$  : la vitesse m/s ;

$P$  : le poids en Kg ;

$Q$  : le débit en Kg.m/s



**Figure 11 : La chaîne de régulation de débit du doseur à bande**

$$\varepsilon = U_{\text{consigne}} - U_{\text{mesuré}}$$

$e$  : est le signal de sortie de régulateur.

$\theta_r$  : vitesse angulaire du moteur.

$\theta_m$  : vitesse angulaire du réacteur.

$U_p$  : signale de sortie de la jauge de contrainte (capteur de poids).

$U_v$  : correspondent à l'impulsion donnée de capteur de vitesse au calculateur.

$Q$  : débit

 : Multiplieur : (le débit = le poids \* la vitesse).

### Explication :

La consigne donnée par l'opérateur est comparé par le signal de mesure obtenu par le capteur de vitesse, la sortie  $\varepsilon$  est un signal erreur qui va traiter au niveau du régulateur P.I.D. Le régulateur va corriger l'erreur en agissant directement sur la vitesse du moteur par l'intermédiaire du réducteur qui permet de varier la vitesse du moteur à une vitesse convenable de la tournée du tapis.

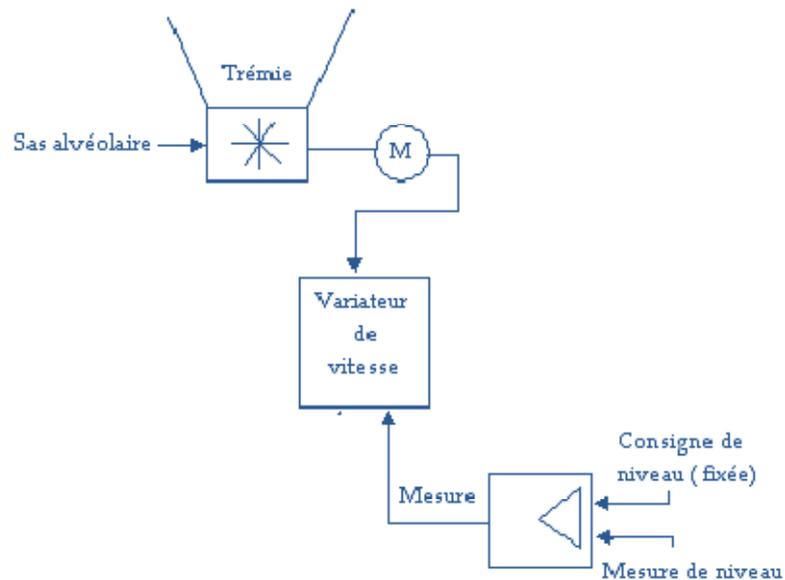
Par exemple :

On veut un débit de 90 t/h, on suppose qu'on a un débit de 70t/h donc on a besoin de récupérer 20t/h, le calculateur va sur la vitesse du moteur agir pour l'augmenter jusqu'à qu'on obtient 90t/h.

- **Régulation du SAS alvéolaire**

La régulation du SAS est une régulation en cascade. Le variateur de vitesse qui commande le moteur du SAS, reçoit deux informations simultanées ; il s'agit de la consigne de débit et de la mesure de niveau.

Etant donné que le poids est fixe, une augmentation du débit va entraîner une augmentation de vitesse qui va provoquer une diminution au niveau de la trémie.



**Figure 12 : La chaîne de régulation du SAS alvéolaire**

Avec les informations reçues, le calculateur détermine le débit qui sera asservi par une boucle de régulation du PID du calculateur de manière à avoir un débit égal à la consigne.

#### 2.2.2.2. Un doseur à perte de poids.

C'est un nouveau dosimètre installé dans l'atelier phosphorique, il y'a trois doseurs disponibles pour la composition du mélange. Ils sont disposés de la façon suivante :

Ligne Nord : 03C

Ligne Sud : 03X et 03Y

L'installation du dosomètre est constituée par cinq composants essentiels qui seront décrit dans le paragraphe suivant.



**Figure 13 : Dosometre à perte de poids**

L'installation du dosomètre est constitué par cinq composants essentiels en va les présenter dans l'étape suivante.

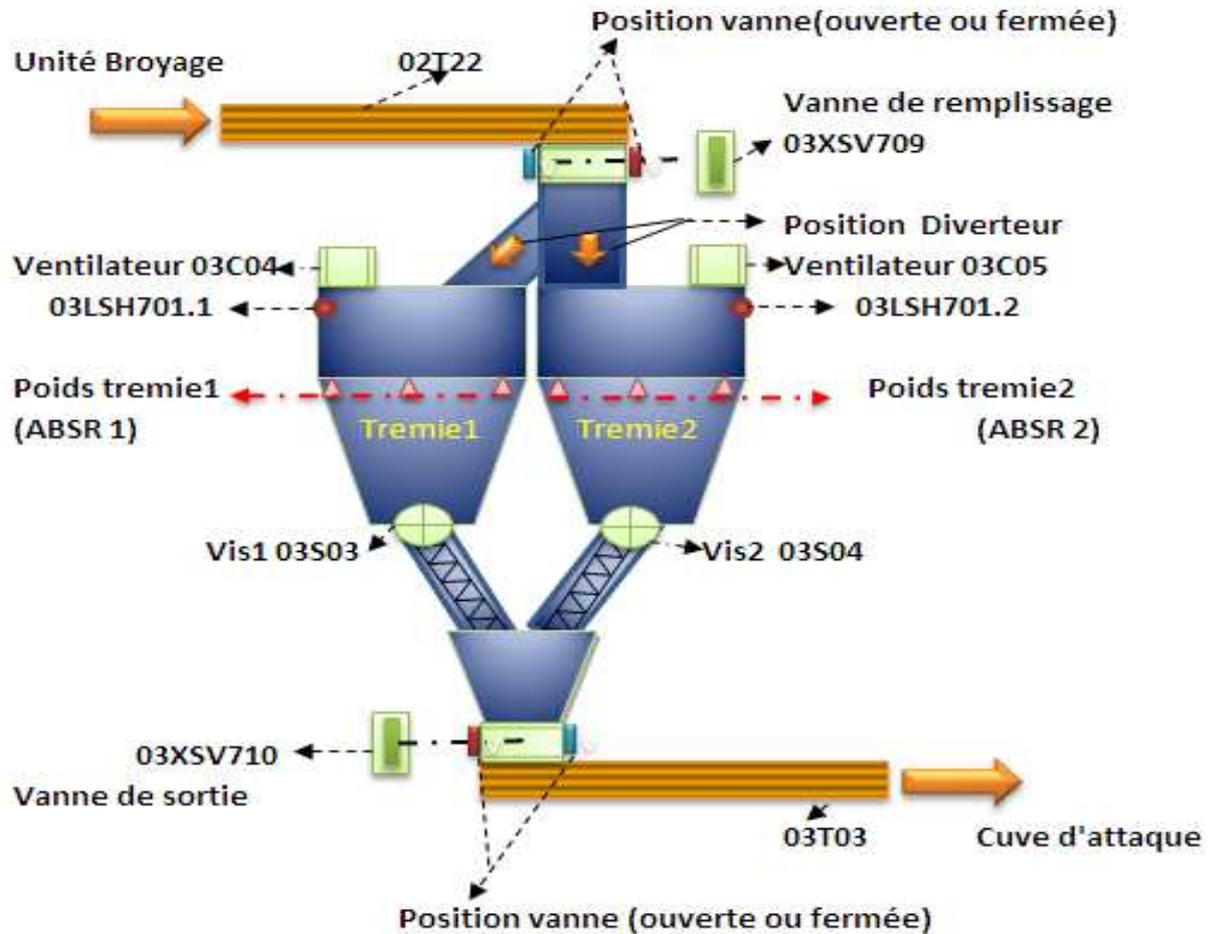
### a) Les composants principaux du doseur à perte de poids

Le doseur à perte de poids est constitué par :

- **Une vanne d'alimentation** à commande pneumatique.
- **Une vanne d'isolement** à commande pneumatique sert à isoler le doseur contre la remontée de vapeur d'acide en cas d'arrêt.
- **Deux trémies pesées** d'une capacité de 18 m<sup>3</sup> chacune.

Chaque trémie est équipée:

- ✓ **D'un extracteur à vis simple** avec une auge de vis infini de longueur 4000 entraîné par un moto-réducteur puissance 18Kw.
  - ✓ **D'un système de pesage** composé de trois jauges de contrainte de portée maximale 20 tonnes chacune.
  - ✓ **D'un système de dépoussiérage** comprenant un ventilateur d'assainissement et un système de secouage.
- **Un calculateur électronique de commande MINISMART** installé en carte modulaire interchangeable, Le Mini Smart reçoit les consignes, élabore les algorithmes de calcul et effectue la régulation de débit.  
Il gère également l'automatisation de l'ensemble des équipements de doseur et les différents défauts de fonctionnement.



**Figure 14: Le dosomètre à perte de poids détaillé**

Le doseur à double trémie pesée extrait le phosphate d'une trémie, et à partir d'une consigne de débit fixe, corrigé par variation de la vitesse de vis le volume extrait de manière à maintenir constant le débit pondéral.

Les deux trémies à perte de poids fonctionnent alternativement à tour de rôle afin d'éviter la phase volumétrique pendant la réalimentation de la trémie pesée.

### **b) Le principe de fonctionnement**

Le Redler alimente une goulotte prolongée d'un diverteur avec une entrée et deux sorties.

-Lorsque la trémie pesée N°1 est pleine (indication par poids haut), le diverteur bascule et se met à alimenter la trémie N°2.

-La vis doseuse de la trémie N°1 se met alors en route et commence à réguler le débit du 1<sup>er</sup> doseur.

-Lorsque la trémie pesé N°2 est pleine (indication par poids haut), le diverteur bascule vers la trémie 1 et attend le niveau bas (indication par poids bas) puis se met à alimenter la trémie N°1.

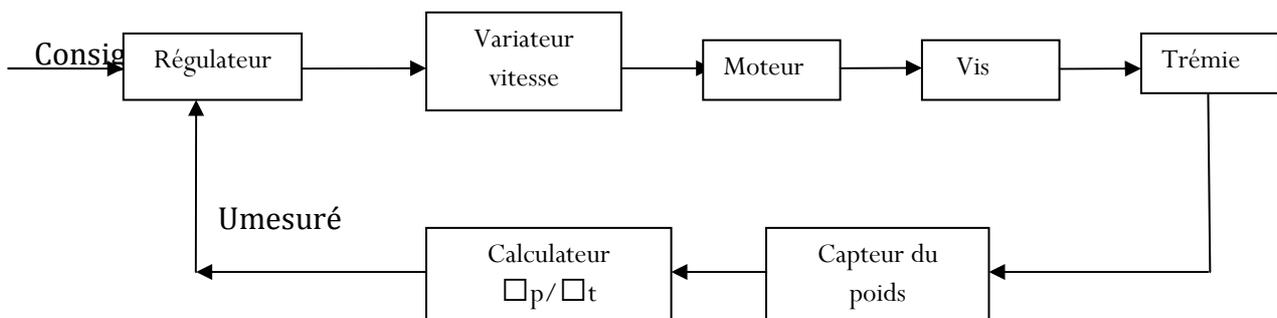
-La vis doseuse de la trémie N°2 se met alors en route et commence à réguler le débit du 2<sup>ème</sup> doseur.

-En utilisant à tour de rôle le doseur N°1 et le doseur N°2 pour faire la régulation de débit, le système reste toujours en mode de dosage pondérale, le remplissage (phase volumétrique) d'une trémie se fait en temps masqué, pendant le fonctionnement de l'autre.

-Si le débit d'arrivée du produit dans le système de dosage est supérieur au débit d'extraction la vanne pneumatique d'admission se ferme pour un temps nécessaire à ce que la trémie qui est entrain de se vider indique <<poids bas >>.

-Si le débit d'arrivée du produit dans le système de dosage est inférieur au débit d'extraction la vanne pneumatique d'admission reste toujours ouverte et le diverteur bascule en alternance vers les deux trémies 1 et 2 jusqu'à stabilisation du débit ou déclenchement par défaut manque matière.

### c) La chaîne de régulation du doseur à perte de poids



**Figure 15 : La chaîne de régulation du débit du doseur à perte de poids**

#### Explication :

Le capteur de poids (jauge de contrainte) nous donne la valeur moyenne du poids mesuré après elle est envoyée vers le calculateur pour calculer le débit par la suite il est envoyé vers le régulateur pour le comparer avec la consigne et par la suite pilote le variateur de vitesse qui fait tourner la vis.

Dans le chapitre précédent nous avons vu les instruments de mesure de débit installés dans l'atelier phosphorique et pour chaque instrument il y a une boucle de régulation de débit.

Dans cette partie je vais citer et décrire les principaux équipements utilisés dans la régulation de débit qui sont :

- **Capteur de poids (jauges).**
- **Variateur de vitesse.**
- **Calculateur.**
- **Capteur de poids (jauges de contrainte)**

Chaque une des deux trémies comporte trois capteurs de poids (des jauges) séparés l'une de l'autre à peu près par 120°.

Les capteurs à jauges de contrainte, de par leurs performances, leurs faibles coûts et leurs facilités de mise en œuvre se sont imposés dans la technologie du pesage et ont pratiquement fait disparaître les instruments mécaniques.

### Définition

- ✓ **Capteur** : Dispositif assurant la conversion d'une grandeur physique en une autre grandeur physique.  
 Dans le capteur de Pesage : La grandeur physique « force » est traduite en une grandeur physique électrique : la Résistance
- ✓ **Jauge** : Instrument servant à mesurer les dimensions de corps solides.

### Principe

La **force** qui représente le poids à mesurer est d'abord transformée en une déformation (Strain en Anglais) en utilisant les propriétés élastiques d'un matériau métallique. Puis la déformation est traduite en variation de résistance électrique par l'intermédiaire de jauges de « Contrainte ».

#### ✓ QU'EST-CE QU'UNE DEFORMATION ?

Une déformation peut être définie comme le rapport entre la variation de longueur du matériau par rapport à sa longueur d'origine.

La DEFORMATION est définie par :  $\epsilon = \frac{\Delta L}{L}$  variation de longueur L. La déformation n'a

pas d'unité de mesure puisque c'est le rapport d'unité de longueur sur même unité de longueur. Il existe des déformations positives et des déformations négatives.

✓ **LES JAUGES DE CONTRAINTE.**

Une jauge de contrainte est un capteur dont la résistance varie avec la force appliquée. Elle convertit la force, pression, tension, poids, etc., en changement de résistance électrique qui peut ensuite être mesuré.

✓ **PRINCIPES DES JAUGES DE CONTRAINTE**

Lorsque les forces extérieures sont appliquées à un objet fixe, le stress et la déformation sont le résultat.

Le stress est défini comme les forces de résistance interne de l'objet, et la déformation est définie comme le déplacement produit.

La jauge de contrainte est l'un des outils les plus importants de la technique de mesure électrique appliquée à la mesure de quantités mécaniques.

Comme leur nom l'indique, les jauges de contrainte utilisées pour la mesure de contrainte. En tant que terme technique, «contrainte» consiste de contrainte de traction et de compression, qui se distingue par un signe positif ou négatif. Les jauges de contrainte peuvent ainsi être utilisées pour ramasser l'expansion, ainsi que la contraction.

**La Résistance d'une jauge :**

La résistance de jauge est exprimée par la relation suivante :

$$R = \rho L / S$$

**R** : la résistance.

**P** : la résistivité du conducteur dont est formée la jauge.

**L** : la longueur du fil conducteur de la jauge.

**S** : la section de la jauge.

En introduit le log :

$$\mathbf{Log(R) = log(\rho) + log(L) - log(S)}$$

EN dérivant en obtient:

$$\Delta R/R = \Delta \rho/\rho + \Delta L/L - \Delta S/S$$

Or

$$S = \pi D^2 / 4 \quad \text{d'où} \quad \Delta S/S = 2 \Delta D/D$$

Avec  $\Delta D/D = -\nu \Delta L/L$   $\nu$  : le coefficient de Poisson de la jauge.

Alors  $\Delta R/R = \Delta \rho/\rho + \Delta L/L (1 + 2\nu)$

On introduit alors **K** le « facteur de jauge », qui caractérise la variation de la résistance en fonction de sa déformation axiale :  $\Delta L/L = \epsilon$ .

$$\Delta R/R = \Delta \rho/\rho + \epsilon (1+2\nu)$$

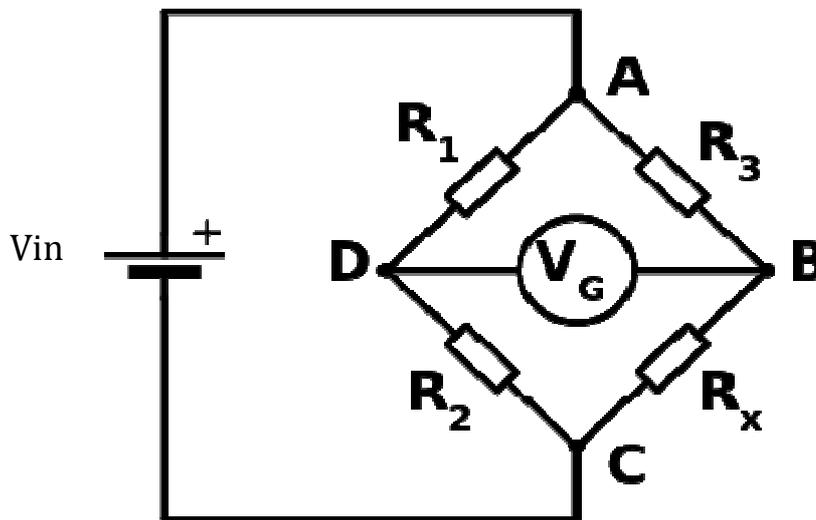
$$(\Delta R/R)/\epsilon = (\Delta \rho/\rho)/\epsilon + (1+2\nu) \quad \text{avec} \quad k = (\Delta \rho/\rho)/\epsilon + (1+2\nu)$$

$$\text{D'où} \quad [\Delta R/R = K \cdot \epsilon]$$

Donc en obtient la variation de résistance:

$$[\Delta R = R \cdot K \cdot \epsilon]$$

Afin de mesurer la contrainte avec une jauge de contrainte à résistance liée, elle doit être reliée à un circuit électrique qui est capable de mesurer les changements minuscules de résistance correspondant à la déformation. Les transducteurs de jauge de contrainte emploient généralement quatre éléments de jauge de contrainte connectés électriquement pour former un circuit en pont de Wheatstone.



**Figure 16 : Le pont de Wheatstone**

En prend  $V_G = V_D - V_B$  et  $V_{in} = V_A - V_C$

En applique le théorème de millman :

$$\text{Avec} \quad V_D = (V_A \cdot R_2 + V_C \cdot R_1) / (R_1 + R_2)$$

$$\text{Et} \quad V_B = (V_A \cdot R_x + V_C \cdot R_3) / (R_3 + R_x)$$

Après les calculs en trouve :

$$V_G = V_{in} \cdot [(R_1 \cdot R_x - R_2 \cdot R_3) / ((R_1 + R_2) \cdot (R_3 + R_x))]$$

Equation de base du pont

Les quatre jauges sont câblées en pont de Wheatstone.

Au repos :

Les quatre jauges ont la même résistance  $R_1=R_2=R_3=R_x=R$ .

Sous une charge :

Les jauges transversales  $R_1$  et  $R_x$  sont étirées car le diamètre augmente donc :

$$R_1=R_x=R+dR$$

Les jauges longitudinales  $R_2$  et  $R_3$  sont comprimées car la hauteur diminue donc:

$$R_2=R_3=R-dR.$$

L'équation de base devient alors :

$$V_G = V_{in} * [((R+dR)^2 - (R-dR)^2) / (R+dR+R-dR) * (R+dR+R-dR)]$$

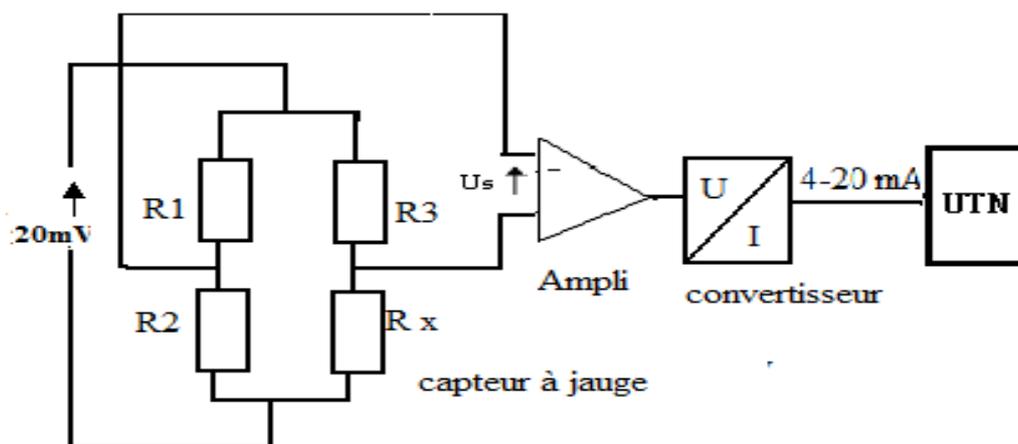
En obtient après les calculs :

$$V_G = V_{in} * (4RdR / 4R^2)$$

D'où

$$V_G = V_{in} * (\Delta R / R)$$

Donc en obtient une tension de sortie  $V_G$  qui par la suite convertie en courant  $I$  à l'aide un convertisseur tension-courant. Au cas d'équilibre du pont ( $V_G=0$ ) en ajoute un amplificateur de courant pour amplifier la tension de sortie.



**Figure 17: Schéma de transmission de poids**

- Variateur de vitesse

### Définition

Un variateur de vitesse est un dispositif permettant de réaliser l'alimentation et la commande d'un moteur.

### **Les composants d'un variateur de vitesse :**

Le variateur de vitesse est composé essentiellement :

- d'un redresseur qui, connecté à une alimentation triphasée (le réseau), génère une tension continue à ondulation résiduelle (le signal n'est pas parfaitement continu).
- d'un circuit intermédiaire agissant principalement sur le "lissage" de la tension de sortie du redresseur (améliore la composante continue). Le circuit intermédiaire peut aussi servir de dissipateur d'énergie lorsque le moteur devient générateur.
- d'un onduleur qui engendre le signal de puissance à tension et/ou fréquence variables.
- d'une électronique de commande pilotant (transmission et réception des signaux) le redresseur, le circuit intermédiaire et l'onduleur.

- **Calculateur MiniSmart:**

#### **Définition**

Le MINISMART est un calculateur universel à base de microprocesseur destiné à toute application de pesage, dosage et automatismes. Sa grande capacité de mémoire et sa vitesse de traitement lui permettent de traiter et stocker une quantité importante d'informations.

### **Les composants du calculateur**

Le calculateur MiniSmart est constitué essentiellement par :

Carte d'affichage

Composé de six afficheurs sept segments permettant d'affichés les différents défauts (E0 jusqu'à E 13), les paramètres de réglage du calculateur (H0 jusqu'à H22), le débit Max du phosphate en (Kg/m et en t/h) et la vitesse du vis m/s.12 voyant permettant de donner une idée sur le mode de fonctionnement du calculateur.

Carte mère

C'est la carte qui rassemble toutes les autres cartes, il gère la communication entre les cartes. Il comporte un processeur (cerveau du calculateur) c'est le responsable de faire les opérations arithmétiques et logiques, une mémoire morte où il est intégré le programme calculateur, et bien sûr une ram pour le stockage des données au moment de l'exécution.

Carte d'interface

C'est la carte qui gère les entrées sorties, il permet l'isolation entre la partie commande (24 V au maximum) et la partie puissance.

Carte d'alimentation

C'est la carte qui alimente tous les périphériques du ordinateur.

## Conclusion

Le but de ce chapitre est d'identifier les instruments et les équipements de mesure ainsi que les instruments de régulation de débit qui ont fait l'objet de notre étude, ainsi que leurs emplacements dans l'atelier phosphorique.

Dans le chapitre suivant, nous ferons une étude critique de ces instruments et nous proposerons des améliorations de ces instruments.

## 3. Etude critique des instruments de mesure

Dans ce chapitre sera donné l'ensemble des points de faiblesse de fonctionnement des instruments de l'atelier phosphorique.

### 3.1. Mesure

La fiabilité et la validité des instruments sont à la base de toute activité de mesure, il est nécessaire de bien saisir ces concepts si l'on veut prendre des décisions éclairées lors de la planification.

Pour le faire on a été amené à faire des prises mesures.

#### 3.1.1. Mesure du phosphate broyé

Cette partie consiste à valider le moyen de mesure afin de mesurer les indicateurs de performance.

J'ai pris la quantité du phosphate pendant 15 mn en Tonne et la quantité théorique pour calculer l'erreur du comptage par la relation suivante :

$$\text{Erreur} = (\text{La valeur théorique} - \text{la valeur réelle}) / \text{La valeur réelle.}$$

ligne	Comptage du Débit	
	Quantité pendant 15 mn en T	Quantité Théorique pendant 15 mn en T

			en %
<b>02A</b>	36	38,6	7,22
<b>02B</b>	36,16	35,1	2,8
<b>02C</b>	38,37	37	-3,5
<b>02D</b>	37,5	37,2	-0,8
<b>02X</b>	38	37	-2,6
<b>02Y</b>	36,13	37	2,4
<b>02Z</b>	36,7	37	0,8
<b>02 U</b>	38	37	-2,6

**Tableau 3 : Mesure du phosphate broyé**

Il est bon à savoir que l'erreur acceptable fixée par le constructeur soit de 1%. Pour l'ensemble des instruments, la plupart des erreurs ont dépassé le seuil fixé par le constructeur. Ceci est expliqué par de fausses indications lors du calcul continu de débit du phosphate. Cette non-conformité m'a poussé à penser à proposer des améliorations au niveau des instruments de mesure.

Pour le faire j'ai été amené en deux temps à :

- 1-faire une Maintenance des instruments de mesure de l'atelier phosphorique.
- 2- Proposer des actions d'amélioration des instruments de mesure.

### **3.2. Maintenance des instruments de mesure de l'atelier phosphorique**

Cette partie a pour but de faire une étude AMDEC sur les balances intégratrices et sur les doseurs à bande et pour les doseurs à perte de poids en appliquant la méthode de Pareto. Cette dernière permet de déterminer les unités maintenables les plus critiques qui permettent d'élaborer des actions d'amélioration.

#### **3.2.1. Définition de l'AMDEC : Analyse des Modes de Défaillance de leurs Effets et de leurs Criticités.**

L'AMDEC est un procédé systématique pour identifier les modes potentiels de défaillances avec l'intention de les éliminer ou de minimiser les risques associés.

Etant une technique d'analyse exhaustive et rigoureuse, l'AMDEC reste très efficace par la mise en commun de l'expérience et de la compétence de chaque participant du groupe de travail.

##### **3.2.1.1. Objectifs de l'AMDEC**

L'AMDEC a pour but :

- ✓ D'évaluer ;
- ✓ Obtenir au meilleur coût le rendement global maximum des équipements de production ;
- ✓ Augmenter le temps de disponibilité de l'équipement.

### 3.2.1.2. Démarche l'AMDEC

Pour réaliser l'AMDEC, il faut bien connaître le fonctionnement du système qui est analysé ou avoir les moyens de se procurer l'information auprès de ceux qui la détiennent.

Pour cela, la méthode AMDEC est divisée en trois étapes suivantes :

**ETAPE 1 :** Initialisation de l'étude :

- La définition de la machine à analyser;
- la définition des objectifs à atteindre;
- Constitution de groupe de travail;
- La mise au point des supports de travail.

**ETAPE 2 :** Description fonctionnelle de la machine

- Découpage de la machine ;
- Inventaire des fonctions de service ;
- Inventaire des fonctions techniques.

**Etape 3:** Analyse des mécanismes de défaillances ;

- Evaluation de la criticité à travers :
  - ✓ La gravité G : Impact des défaillances sur l'outil de production ;
  - ✓ La fréquence d'occurrence O : Probabilité d'apparition d'une cause ou d'une défaillance ;
  - ✓ La Non-détection D : Probabilité du non perception de l'existence d'une cause ou d'une défaillance.

La formule de calcul de criticité est : **C=G.O.D**

Je vais faire une étude de l'AMDEC sur les composants principaux des instruments de mesure : Bascule intégratrice et Doseur à bande.

Pour le doseur à perte de poids je vais faire une étude de Pareto après je vais appliquée la méthode du cinq pourquoi pour trouver la cause racine du panne au niveau du doseur à perte de poids.

### 3.2.2. AMDEC de la bascule intégratrice

Pour moi je limiterais au calcul de la criticité à partir de G et D.

Les tableaux ci-dessous présentent les barèmes des valeurs de G et D :

Niveau	Définition	G
<b>Mineur</b>	Arrêt de production : moins de 15min, aucune ou peu de pièces de rechanges nécessaire	<b>1</b>
<b>Moyenne</b>	Arrêt de production : de 15min à 1 l'heure ; pièces en stock	<b>2</b>
<b>Majeure</b>	Arrêt de production : 1heure à 2heures ; pièces en stock ou livraison ultra-rapide	<b>3</b>
<b>Grave</b>	Arrêt de production : 2heures ou plus ; long délai de livraison ou back-order	<b>4</b>

**Tableau 4 : Barème de la valeur de la gravité**

Niveau	Définition	D
<b>Evident</b>	Détection certaine, moyens automatiques, signes évidents	<b>1</b>
<b>Possible</b>	Délectable par l'opérateur, par des routes d'inspections, vibrations	<b>2</b>
<b>Improbable</b>	Difficilement détectable, moyens complexes	<b>3</b>
<b>Impossible</b>	Indétectable, aucun ne signe	<b>4</b>

**Tableau 5 : Barème de la valeur de la détectabilité**

Pour la bascule intégratrice on va faire une étude de l'AMDEC sur la bande porteuse :

Système : bascule intégratrice							
Sous système : bande							
Composant		Analyse de mode défaillance			criticité		
Elément	fonction	Mode de défaillance	Cause	Effet	G	D	C
Bande	Recevoir et transporter le phosphate	Usure	<ul style="list-style-type: none"> <li>-Usure des revêtements des tambours</li> <li>-Dépôt du phosphate sur les rouleaux, les tambours</li> <li>-Qualité de la bande</li> <li>- Frottement entre bande et rouleaux</li> <li>-Frottement entre bande et tambours</li> <li>-Bavette usée</li> <li>-Accumulation du phosphate sous la bande</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>-Déchirure de la bande</li> <li>-Perte de performance</li> <li>-Echauffement</li> </ul>	4	1	4
		Rupture	<ul style="list-style-type: none"> <li>-Rupture de collage</li> <li>-Bande trop déportée</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Arrêt de production</li> <li>-Débordement du phosphate</li> </ul>	4	1	4
		Relâchement	<ul style="list-style-type: none"> <li>-Contrepoids défectueux</li> <li>-Bande trop longue</li> <li>- Montage incorrect</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Glissement entre la bande et les tambours</li> <li>- Déport de bande</li> </ul>	3	1	3
		Déport de bande	<ul style="list-style-type: none"> <li>-Ajustage insuffisant des tambours et des rouleaux</li> <li>-Dépôt du phosphate sur les rouleaux, et sur les tambours</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Détérioration rapide de la bande</li> <li>-Débordement du phosphate</li> </ul>	3	1	3

**Tableau 6 : Tableau AMDEC du sous système bande de la bascule intégratrice**

### 3.2.3. AMDEC du doseur à perte de poids

Pour le doseur à perte de poids on va faire une application de la méthode AMDEC sur le moteur triphasé du SAS :

AMDEC							
Système : dosomètre à bande							
Sous système : Moteur triphasé SAS							
Composant		Analyse de mode défaillance			criticité		
Elément	fonction	Mode de défaillance	Cause	Effet	G	D	C
Moteur triphasé SAS	Transformer l'énergie électrique en énergie mécanique pour commander le sas	Moteur ne démarre pas	Interruption d'une phase de câble d'alimentation -Manque d'étanchéité de la plaque à bornes	-Arrêt du sas	4	1	4
		Court-circuit	-Défaut d'enroulement -Défaut d'isolement -Surcharge	-Perte de la fonction -Arrêt du sas	4	1	4
		Manque de ventilation	-Bouchage du cache de ventilation -Blocage des ailettes par le sucre -Cassure des ailettes	Echauffement important	2	1	2
		Fortes Vibrations	Effort excessif dû à la transmission -Défaut d'alignement -Mauvais montage	-Perte de la fonction	3	1	3

**Tableau 7 : Tableau AMDEC du sous système moteur triphasé SAS**

### 3.2.4. Application de la méthode de Pareto sur le doseur à perte de poids

#### 3.2.4.1. Définition du diagramme de Pareto

Le diagramme de Pareto, également connu sous le nom de la loi des 80/20 est une méthode d'optimisation et de résolution de problème très connue dans le milieu industriel.

#### 3.2.4.2. Démarche du diagramme de Pareto

La construction du diagramme de Pareto va se faire en 4 étapes :

**Etape 1 :** Le recensement de la fréquence des pannes en fonction des instruments.

**Etape 2 :** On classe ensuite par ordre décroissant de fréquence.

**Etape 3 :** On réalise le cumul des fréquences de défaillance, puis on ramène cela en pourcentage du total des défaillances, de façon à faire apparaître en premier les instruments les plus problématiques.

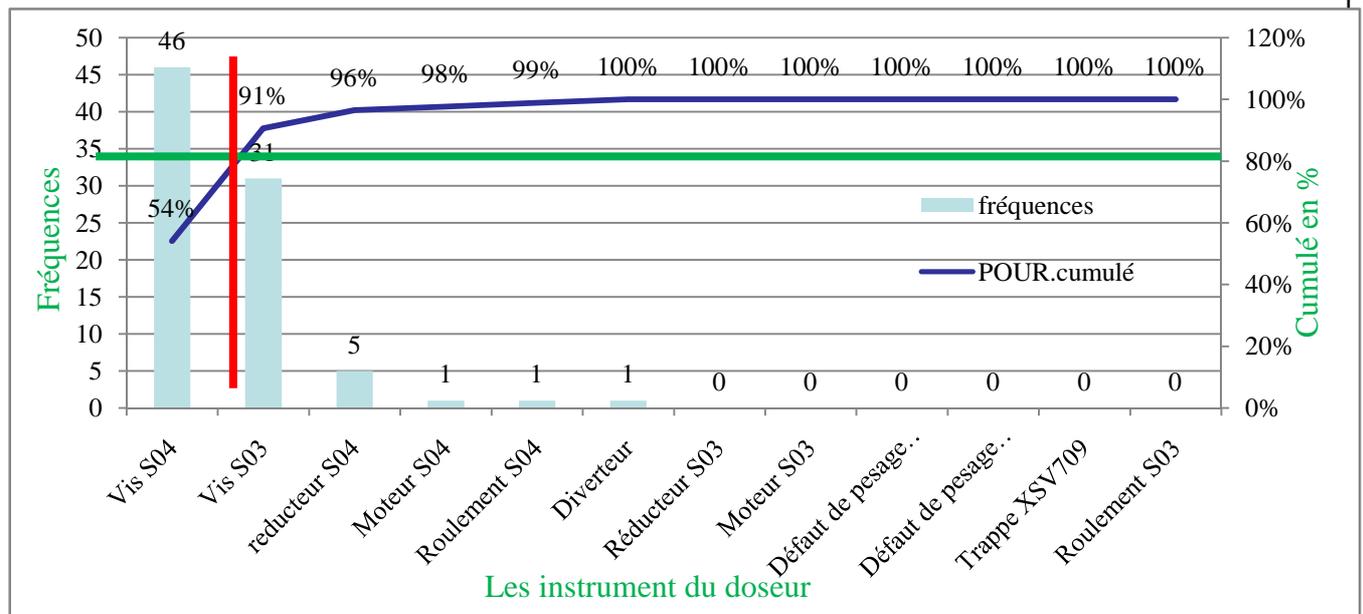
**Etape 4 :** Analyse des résultats.

#### 3.2.4.3. Statistique des fréquences des pannes des instruments du doseur à perte de poids

Sur la tableau ci-dessus sont classés par ordre décroissant les instruments des pannes du doseur par fréquence de panne d'un mois de l'année 2012 :

Instruments	fréquences	pourcentage	POUR. Cumulé
Vis S04	46	54%	54%
Vis S03	31	36%	91%
Réducteur S04	5	6%	96%
Moteur S04	1	1%	98%
Roulement S04	1	1%	99%
Diverteur	1	1%	100%
Réducteur S03	0	0%	100%
Moteur S03	0	0%	100%
Défaut de pesage trémie 1	0	0%	100%
Défaut de pesage trémie 2	0	0%	100%
Trappe XSV709	0	0%	100%
Roulement S03	0	0%	100%
Total	85		

**Tableau 8 : Les statistiques des pannes des instruments du doseur**



**Figure 18: Pareto des fréquences des pannes des instruments du doseur.**

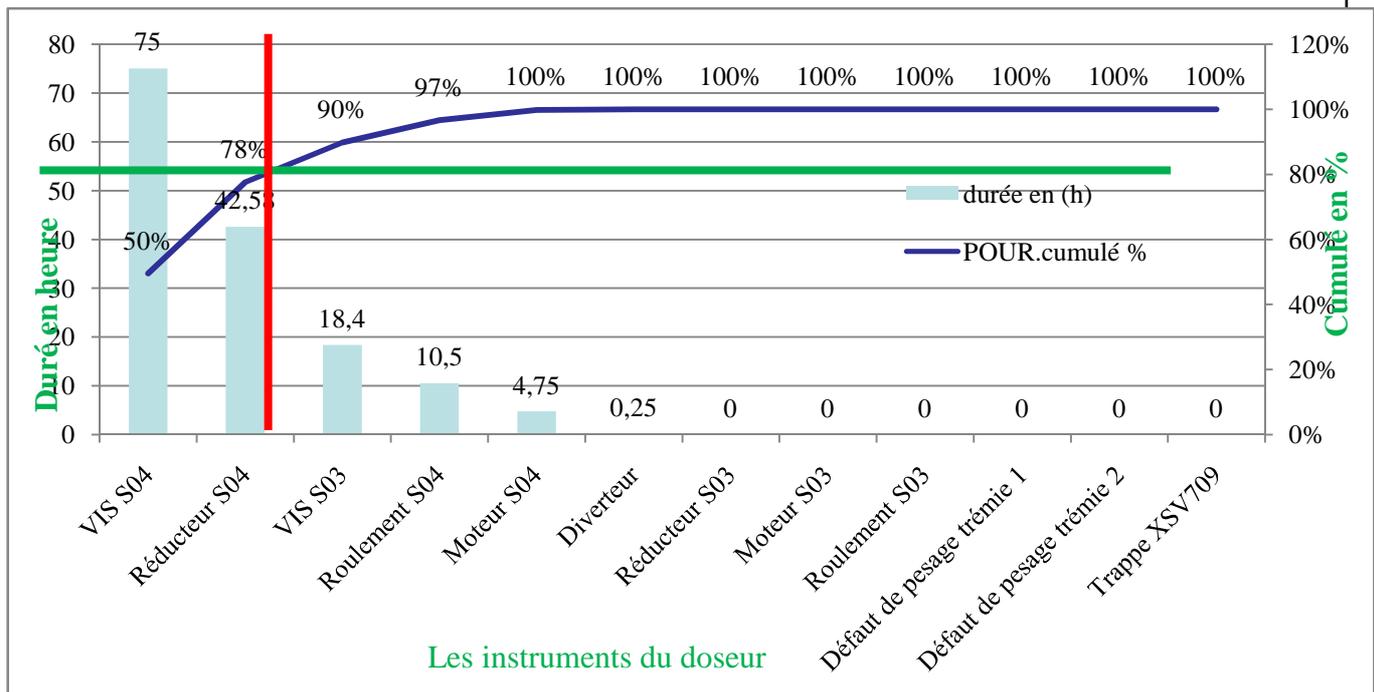
On constate que les deux premiers éléments, présentent la majorité des pannes c'est à dire : Vis S04, qui est causé 80% des arrêts du système du doseur à perte de poids en terme de fréquence de pannes. Ces équipements ont des durées de réparation différentes.

#### 3.2.4.4. Statistiques des durées des pannes des instruments du doseur

On établit le tableau suivant en classant par ordre décroissant les instruments du doseur par durée de panne :

instruments	durée en (h)	cumulé en %	POUR. Cumulé %
VIS S04	75	50%	50%
Réducteur S04	42,58	28%	78%
VIS S03	18,4	12%	90%
Roulement S04	10,5	7%	97%
Moteur S04	4,75	3%	100%
Diverteur	0,25	0%	100%
Réducteur S03	0	0%	100%
Moteur S03	0	0%	100%
Roulement S03	0	0%	100%
Défaut de pesage trémie 1	0	0%	100%
Défaut de pesage trémie 2	0	0%	100%
Trappe XSV709	0	0%	100%
TOTAL	151,48		

**Tableau 9 : Les statistiques de durées des pannes des instruments du doseur**



**Figure 19 : Pareto des durées des pannes des instruments du doseur.**

On constate que la vis S04, et causé 80% des arrêts du système de doseur à perte de poids en termes de durée de pannes.

Pour les deux critères traités (fréquence et durée de panne) l'élément qui présente la majorité des pannes est :

- ✓ VIS S04

### 3.2.4.5. Analyse des pannes du système de la VIS S04

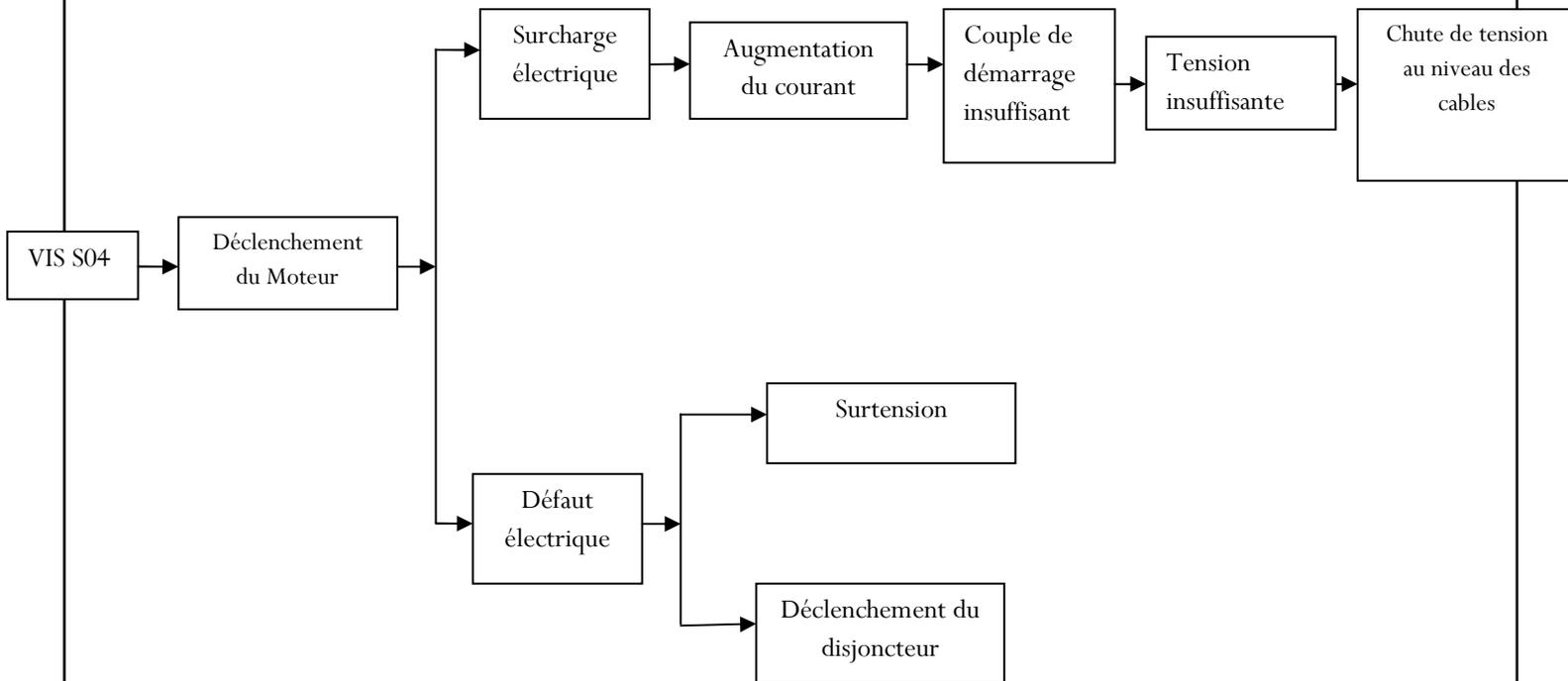
#### *a) La méthode des cinq pourquoi (why-why)*

##### **Définition de la méthode why-why**

C'est un outil d'analyse permet de chercher les causes d'un problème ou d'un dysfonctionnement. C'est un outil de questionnement systématique destiné à remonter aux causes premières possibles d'une situation, d'un phénomène observé. C'est une version simplifiée de l'arbre des causes qui consiste à se poser plusieurs fois la question " Pourquoi " et à répondre à chaque question en observant les phénomènes physiques.

##### **Analyses Why-Why de la VIS S04:**

L'arbre des causes qui font tomber la VIS S04 en panne est la suivante :



**Figure 20: L'arbre des causes de la VIS S04**

D'après le diagramme Why-Why fait pour la VIS S04, on peut conclure que la plupart des arrêts sont causés par :

- Chute de tension au niveau du câble.

#### 4. Proposition des actions d'amélioration

L'étude critique relative au système m'a permis d'identifier les anomalies qui handicapent le bon fonctionnement des instruments de l'atelier phosphorique. Pour assurer un fonctionnement stable de ces instruments on va proposer des actions pour améliorer le système de fonctionnement des instruments de mesure.

##### 4.1. Proposition des actions d'amélioration des bascules intégratrices

Pour faire face aux différents problèmes et anomalies relatifs au système actuel de la bascule intégratrice, je propose les solutions suivantes :

- **Vérifier l'état des rouleaux et les remplacer si nécessaire ;**
- **Vérifier l'état de la bande et la remplacer si nécessaire ;**
- **Mesurer la bande avant le montage**
- **Assurer un bon montage Installation d'un dispositif contrôlant le glissement.**

#### 4.2. Proposition des actions d'amélioration des doseurs à bande

L'étude l'AMDEC m'a permis de tirer quelques actions d'amélioration du doseur à bande. Ces actions sont :

- **Vérifier le câble d'alimentation ;**
- **Contrôler la température du moteur électrique et la circulation de l'air ;**
- **Nettoyer le moteur ;**
- **Mesurer l'intensité du moteur.**

#### 4.3. Proposition des actions d'amélioration des doseurs à perte de poids

La méthode du cinq pourquoi nous a montré que le couple de démarrage du moteur est insuffisant à cause d'une chute de tension au niveau des câbles ayant pour origine une impédance câble élevée.

Pour calculer la chute de tension ( $\Delta U$ ) on utilise la loi d'Ohms :

$$[\Delta U = R.I]$$

La résistance (R) d'un câble est faible mais non nul, elle est influencée par :

**La résistivité des matériaux :** utilisés, qui s'exprime en  $\Omega \text{ mm}^2/\text{m}$ . Les différents matériaux utilisés comme le cuivre ou l'aluminium ne présentent pas les mêmes caractéristiques conductrices.

**La section :** exprimée en  $\text{mm}^2$ , Plus la section est importante plus les électrons circuleront librement.

**La longueur :** Plus la distance parcourue est longue plus il y aura d'énergie de dissipée.

$$[R = \rho.L/S]$$

D'où la chute de tension est calculé par :

$$[\Delta U = I.\rho.L/S]$$

Donc parmi les solutions d'amélioration que j'ai proposée :

- **Augmentation de la section du câble.**
- **Diminution de la longueur du câble.**

# *Conclusion général*

---

Le projet de fin d'étude, était pour moi l'opportunité de mes confrontés à la réalité industrielle au sein de l'OCP el Jadida. J'été amenées lors de la durée du projet, à enrichir l'atelier phosphorique OCP d'une nouvelle brique pour la fiabilisation des instruments de mesure.

Ces instruments ont un impact sur la production, la gestion des flux et de stocks dans l'atelier phosphorique, d'où l'importance de la tâche qui m'a été confié.

Au terme de mon étude, j'ai pu atteindre les objectifs fixées à savoir la fiabilisation j'ai fait intervenir un ensemble de méthodologie(s) industrielle(s) à savoir l'AMDEC, Pareto et la méthode des cinq pourquoi.

En effet, j'ai été amené dès les premières phases du projet, de faire une étude critique analytique des équipements phosphoriques.

Cette étude m'a permis de dégager un ensemble d'actions d'amélioration pour augmenter le taux de disponibilité et de fiabilité des équipements de l'atelier phosphorique.

## Bibliographie

1. Documents formation à l'OCP.

## Webographie

1. [www.wikipédia.com](http://www.wikipédia.com).
2. [www.ocpgroup.ma](http://www.ocpgroup.ma)
3. <http://www.logistiqueconseil.org/Articles/Methodes-optimisation/5-pourquoi.htm>.