

*Faculté des Sciences et Techniques de Fès*



*Département de Génie Industriel*



*LST de Génie Industriel*

## **Projet de Fin d'Etudes**

**Amélioration du rendement global de l'atelier de  
production d'acide sulfurique**

**Préparé par :**

**Asmae BOUCHARB**

**Lieu : Office Chérifien Des Phosphates**

**Référence : 20/16GI**

**Soutenu le 10 Juin 2016 devant le jury composé de :**

- Pr. D. SQALLI (Encadrant FST)
- Pr. B. RZINE (Examinateur)
- Pr. N. EL OUAZZANI (Examinateur)
- Mr. Z. CHOUBI (Encadrant de l'entreprise)

# Dédicaces

*Je dédie ce mémoire de fin d'étude*

*A*

*- Mes chers parents.*

*Tout ce que je peux vous offrir ne pourra exprimer l'amour et la reconnaissance que je vous porte*

*Que vous trouvez dans ce modeste travail l'expression de mon profond amour et respect*

*- Mon frère qui a été toujours présent pour moi*

*Je te souhaite, une vie pleine de succès avec beaucoup de bonheur et de joie*

*- Mon oncle Mohammed GUENNOUN et sa famille qui m'ont accueillie pendant la période de mon stage. merci pour votre merveilleuse hospitalité.*

*- Tous mes amis avec qui j'ai partagé des moments très agréables*

*- Ma tante Rachida GUENNOUN qui m'a aidée lors de la rédaction de ce mémoire*

*Et à tous ceux qui sont chères et proches de mon cœur que dieu vous gardent et vous accordent longue vie*

*Asmae BOUHAREB*

# Remerciements

*Avant tout je remercie DIEU de nous avoir appris ce que nous ne connaissons pas.*

*Dans le cadre de ce projet de fin d'études effectué au sein du Groupe Chérifien des Phosphates (OCP) et précisément au pôle chimie JORF LASFAR complexe Maroc Phosphore III et IV. Je tiens à remercier vivement M.CHOUBI Zakaria ingénieur PROCESS Entité Production Sulfurique et Centrale et parrain de mon stage pour son accueil, ses conseils, ses remarques et suggestions. Grâce à sa confiance et son aide j'ai pu accomplir ma mission.*

*Je tiens aussi à remercier mon professeur encadrant Pr. D. SQALLI d'avoir suivi et orienté ce travail. Son encouragement permanent, son dynamisme et son sens de l'organisation sont un exemple pour moi et m'ont énormément facilité la tâche.*

*Je remercie également tous les chefs d'équipe en particulier M.BOUSSIF Abdellatif et tous les opérateurs de l'atelier sulfurique à la salle de contrôle et au chantier pour leur merveilleuse hospitalité, leur esprit d'équipe et pour le partage de leurs expertises.*

*Mes sincères remerciements vont à tous les agents et les opérateurs des différents services qui se sont montrés coopératifs et serviables.*

*J'adresse mes remerciements à ma famille pour leur soutien, leur confiance et leurs sacrifices afin que je puisse poursuivre mes études et atteindre mes objectifs.*

*Je tiens à remercier toutes les personnes qui ont contribué au succès de mon stage et qui m'ont aidée lors de la rédaction de ce rapport.*

## Liste des figures :

<b>Figure 1:</b> Organigramme du groupe OCP [1].....	3
<b>Figure 2 :</b> Description des entités du complexe industriel JORF LASFAR [2] .....	4
<b>Figure 3 :</b> Vue aérienne du complexe industriel JORF LASFAR [2] .....	5
<b>Figure 4 :</b> Schéma du procédé de fabrication d'acide sulfurique .....	6
<b>Figure 5 :</b> les chicanes .....	6
<b>Figure 6 :</b> Four de combustion .....	6
<b>Figure 7 :</b> Schéma de séchage de l'air .....	7
<b>Figure 8 :</b> Le vanadium utilisé dans le convertisseur .....	8
<b>Figure 9 :</b> Le convertisseur .....	8
<b>Figure 10 :</b> Couche de galet avant de poser le vanadium .....	8
<b>Figure 11 :</b> Système de distribution d'acide sulfurique .....	10
<b>Figure 12 :</b> Eliminateur de brumes .....	10
<b>Figure 13:</b> Les tours d'absorption intermédiaire finale et de séchage [2].....	10
<b>Figure 14 :</b> Conduite de soufre liquide [2] .....	12
<b>Figure 15 :</b> Les différents états de figure de bouchage .....	14
<b>Figure 16 :</b> purgeur automatique bloqué fermé par la vapeur [6] .....	18
<b>Figure 17 :</b> Schéma de la contre pression dans un purgeur [6] .....	18
<b>Figure 18 :</b> détecteur ultrasonore [7] .....	20
<b>Figure 19 :</b> Exemple de conduite avec chemisage repartie .....	21
<b>Figure 20 :</b> le nouveau piquage de vapeur de traçage .....	22
<b>Figure 21 :</b> Les équipements de protection individuelle adéquats [8] .....	29

## **Liste des tableaux :**

<b>Tableau 1</b> : Méthode des 5 G .....	13
<b>Tableau 2</b> : Evaluation du danger étude Process Hazard Analysis (PHA).....	14
<b>Tableau 3</b> : Taille de conduite extérieure et intérieure [3] .....	14
<b>Tableau 4</b> : méthode des 5 Pourquoi .....	16
<b>Tableau 5</b> : Viscosité relative du soufre liquide (référence : eau à 17 °C) [5] .....	17
<b>Tableau 6</b> : les fiches à utiliser et les périodicités de surveillance pour chaque contre-mesure....	22
<b>Tableau 7</b> : Contre-mesure à vérifier dans de nouveaux projets .....	23
<b>Tableau 8</b> : Le volume d'acide occupé dans chaque refroidisseur .....	25

## **Liste des abréviations :**

**OCP** : Office Chérifien des Phosphates

**OPS** : OCP Production System

**EMAPHOS** : Euro Maroc Phosphore

**IMACID** : Indo Maroc Phosphore

**PACPHOS** : Pakistan Maroc Phosphore

**BUNGE** : Brésil Maroc Phosphore

**HP** : Haute Pression

**MP** : Moyenne Pression

**BP** : Basse Pression

**Qa** : Quantité d'électricité achetée de l'ONEP par semestre (en MWh)

**Pa** : Prix d'achat d'un MWh

**Qv** : Quantité d'électricité vendue à l'ONEP par semestre (en MWh)

**Pv** : Prix de vente d'un MWh

**PHA** : Process Hazard Analysis

**EPI** : Equipement de Protection Individuelle

**SC** : Salle de Contrôle

# Sommaire

<b>Introduction</b> .....	1
<b>CHAPITRE 1 PRESENTATION DE L'OFFICE CHERIFIEN DES PHOSPHATES</b>	
I) <b>PRESENTATION GENERALE DU GROUPE OCP</b> : .....	2
II) <b>HISTORIQUE</b> : .....	2
III) <b>ORGANIGRAMME</b> : .....	3
IV) <b>STATUT JURIDIQUE</b> : .....	4
V) <b>ENSEMBLE DES INDUSTRIES CHIMIQUES DU COMPLEXE INDUSTRIEL JORF LASFAR</b> : .....	4
VI) <b>DESCRIPTION DE L'ATELIER SULFURIQUE MAROC PHOSPHORE III ET IV JORF LASFAR</b> : .....	5
<b>CHAPITRE 2 DESCRIPTION DU PROCEDE DE FABRICATION D'ACIDE SULFURIQUE</b>	
I) <b>INTRODUCTION</b> : .....	6
II) <b>LES ETAPES DE PRODUCTION D'ACIDE SULFURIQUE</b> : .....	6
1) <b>La combustion du soufre</b> : .....	6
a) <b>Le séchage d'air</b> : .....	7
b) <b>Le brûlage du soufre</b> : .....	7
2) <b>La conversion de SO<sub>2</sub> en SO<sub>3</sub></b> : .....	8
3) <b>Absorption de SO<sub>3</sub></b> : .....	9
III) <b>STOCKAGE DE L'ACIDE</b> : .....	11
IV) <b>L'UTILISATION DE LA VAPEUR RECUPEREE</b> : .....	11
<b>CHAPITRE 3 ETUDE DU PHENOMENE DU BOUCHAGE DES CONDUITES DE SOUFRE PAR LA METHODE DE RESOLUTION DES PROBLEMES</b>	
I) <b>DESCRIPTION GENERALE DU PHENOMENE DE BOUCHAGE DES CONDUITES DE SOUFRE</b> : .....	12
II) <b>LES RAISONS POUR LESQUELLES LE PHENOMENE EST ETUDIE</b> : .....	12
III) <b>METHODE DE RESOLUTIONS DES PROBLEMES (OPS)</b> : .....	13
1) <b>Identification du phénomène</b> .....	13
2) <b>Comprendre le fonctionnement normal du système</b> .....	14
3) <b>Fixer les objectifs</b> .....	15
4) <b>Analyse des causes racines</b> .....	15
5) <b>Actions et contre-mesures</b> : .....	20

6) Vérification des résultats : .....	22
7) Verrouillage et généralisation : .....	23

## **CHAPITRE 4 STANDARD DE VIDANGE DE CIRCUIT D'ACIDE SULFURIQUE**

I) STANDARD DE VIDANGE DU CIRCUIT ACIDE : .....	24
1) Les objectifs de ce standard : .....	24
2) Domaine d'application : .....	24
3) Définitions : .....	24
4) Abréviations : .....	24
5) Résumé : .....	25
6) Caractéristique des équipements : .....	25
7) Calcule théorique de la durée de vidange du circuit acide : .....	26
8) Les équipements de protection individuelle (EPI) adéquats : .....	29
9) Les étapes de vidange des bacs R01 et R02 : .....	30
10) Les étapes de vidange des refroidisseurs E06/07/08/09/17 : .....	33
11) Les étapes de vidange de la conduite de production : .....	35
12) Les étapes de vidange de la conduite de renforcement : .....	37
<b>Conclusion</b> .....	<b>40</b>

### **Bibliographie**

### **Annexes**

# Introduction

Dans le cadre de mon stage de projet de fin d'étude effectué au sein de l'atelier sulfurique de l'usine Maroc phosphore 3 et 4 à JORF LASFAR au groupe OCP

Ma fonction était d'abord d'observer le procédé de fabrication d'acide sulfurique à partir du soufre brut après différentes étapes de transformation. La première étape consiste à transporter le soufre liquide des bacs de stockage au four de combustion par des conduites chemisées pour maintenir sa température entre 130°C et 150°C. Ces conduites sont exposées à avoir des bouchages, ce qui influence les durées des arrêts et démarrages des lignes de production. Ma mission était d'étudier ce phénomène et d'élaborer un plan d'action par la méthode de résolution des problèmes (OPS).

L'acide sulfurique produit est acheminé aux bacs de circulation pour qu'il soit refroidi et stocké dans des bacs de stockage. Pour des raisons des interventions durant les arrêts des lignes de production, il est indispensable de maîtriser la vidange du circuit acide. Le but de mon stage était d'élaborer un standard de vidange de ce circuit en détaillant les différentes étapes en termes de chronologie, moyens nécessaires et durée tolérée.

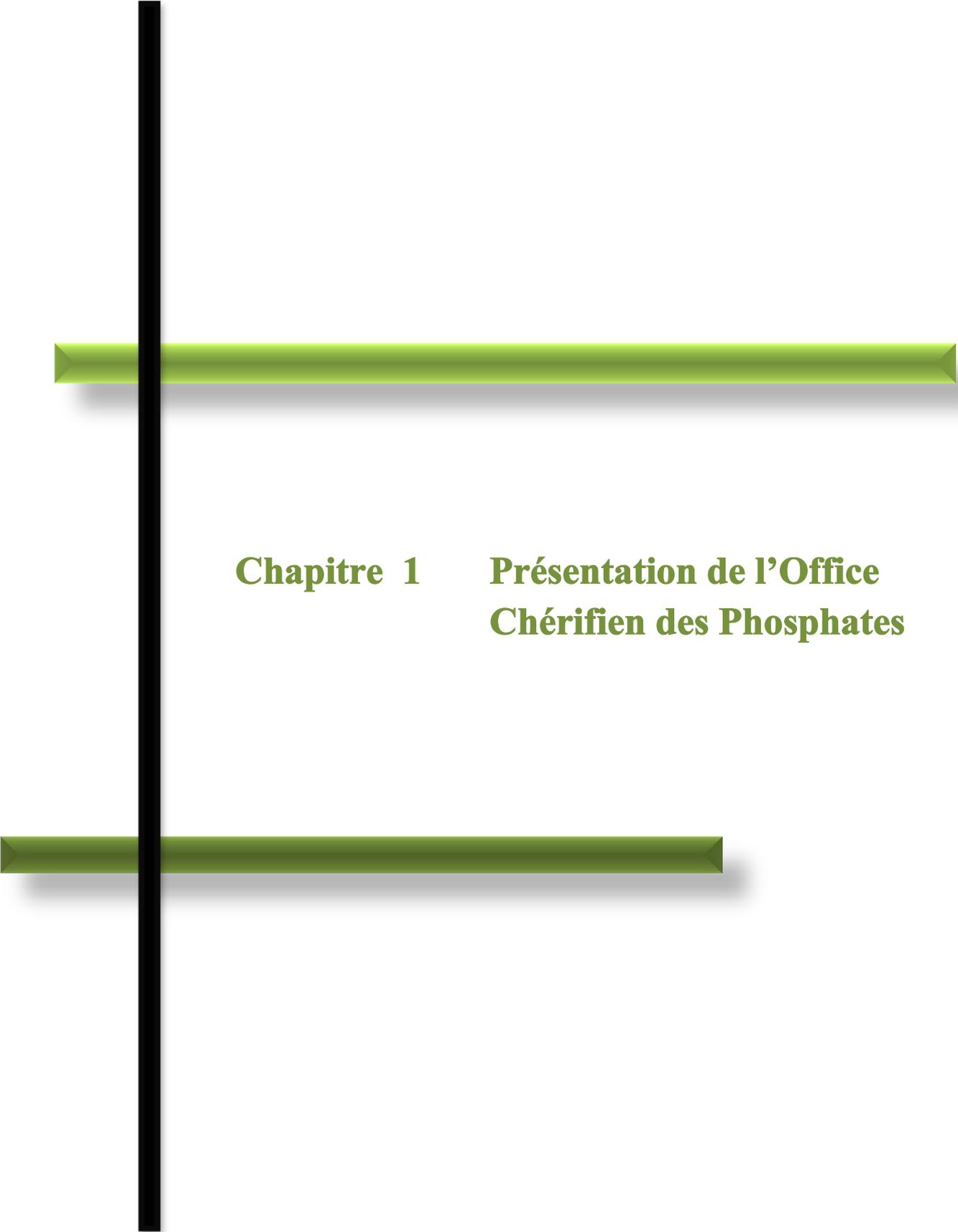
Dans ce mémoire je suivrai le plan suivant :

**Au premier chapitre :** présentation de l'Office Chérifien des Phosphates.

**Au deuxième chapitre :** description du procédé de fabrication d'acide sulfurique dans l'atelier sulfurique d'usine Maroc Phosphore 3 et 4.

**Au troisième chapitre :** étude du phénomène du bouchage des conduites de soufre par la méthode de résolution des problèmes.

**Au quatrième chapitre :** élaboration d'un standard de vidange de circuit d'acide sulfurique dans l'atelier sulfurique d'usine Maroc Phosphore 3 et 4.



**Chapitre 1    Présentation de l'Office  
Chérifien des Phosphates**

## **I) Présentation générale du groupe OCP :**

L'Office Chérifien des Phosphates (OCP) a été créé en 1920, alors que les premières exploitations effectives ont commencé en février 1921 dans la région d'OuedZem Khouribga. Le groupe OCP a été créé en 1975, il joue un rôle important sur le plan économique et social du royaume en participant hautement de 18 à 20% environ dans la valeur des exportations du royaume

L'OCP est spécialisé dans l'extraction, la valorisation et la commercialisation des phosphates et des produits dérivés. Chaque année, plus de 23 millions de tonnes de minerais sont extraites du sous-sol marocain qui recèle les trois-quarts des réserves mondiales. Principalement utilisé dans la fabrication des engrais, de l'acide phosphorique, le phosphate provient des sites de Khouribga, Ben guérir, Youssoufia et Boucraâ-Laâyoune.

Selon les cas, le minerai subit une ou plusieurs opérations de traitement (criblage, séchage, calcination, flottation, enrichissement à sec...). Une fois traité, il est exporté tel quel ou bien livré aux industries chimiques du Groupe, à **Jorf Lasfar** (Lieu de mon stage de fin d'étude) ou à Safi, pour être transformé en produits dérivés commercialisables tels que l'acide phosphorique de base ou purifié, engrais solides et acide sulfurique.

## **II) Historique :**

L'Office Chérifien des Phosphates s'est développé depuis sa création en créant de nouveaux sites de production et de transformation dont voici les principales dates :

1921 : Extraction souterraine au pôle mine Khouribga.

1931 : Ouverture du centre minier de Youssoufia.

1952 : Mise en œuvre de l'extraction à découvert à Khouribga.

1965 : Démarrage de Maroc chimie I qui fut la première unité de valorisation pour la fabrication d'acide phosphorique et d'engrais à Safi.

1975 : Création du groupe OCP intégrant les filiales.

1976 : Intégration d'un nouveau centre minier Phosboukrâa.

1976 : Démarrage de Maroc chimie II et Maroc Phosphore I.

1980 : Ouverture de la mine de Benguerir.

1981 : Démarrage de Maroc Phosphore II à Safi.

**1986 : Démarrage du site de valorisation de phosphate à Jorf Lasfar (El Jadida).**

1998 : Réalisation de l'usine EMAPHOS pour l'acide phosphorique purifié entre le Maroc, la Belgique, et l'Allemagne.

1999 : Réalisation de l'usine IMACID en partenariat avec l'Inde.

2006 : Réalisation de l'usine PACPHOS (Pakistan Maroc Phosphore) d'une ligne pour la fabrication d'acide phosphorique en partenariat avec le Pakistan

2007 : Réalisation de l'usine BUNGE (Brésil Maroc Phosphore) d'une ligne pour la fabrication d'acide phosphorique en partenariat avec le Brésil.

### III) Organigramme :

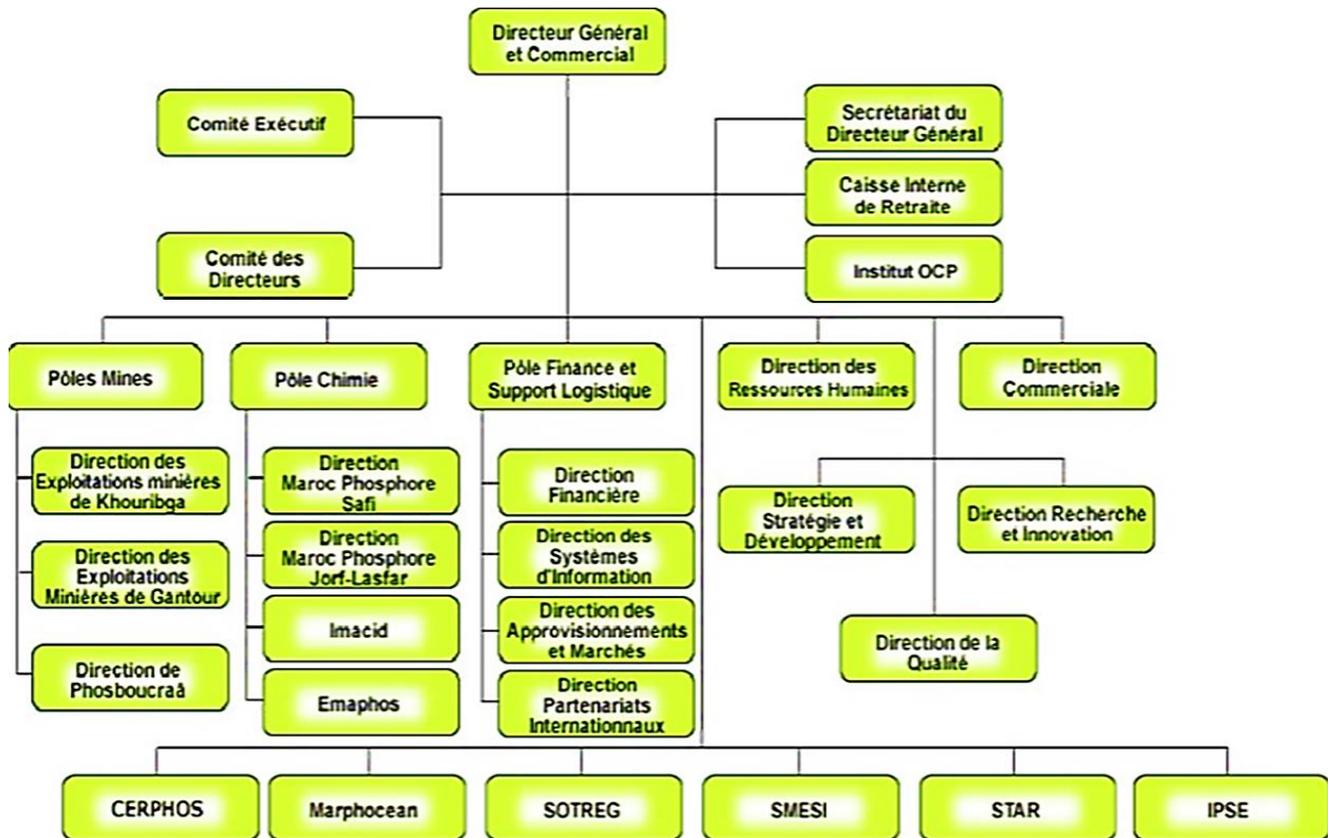


Figure 1 : Organigramme du groupe OCP [1]

#### IV) Statut juridique :

Le groupe OCP a été constitué sous la forme d'un organisme semi-public sous contrôle de L'état. Il fonctionne ainsi comme une société dont le seul actionnaire est l'état Marocain, appliquant les méthodes de gestion privée, dynamique, souple et efficace vu le caractère de ses activités industrielles et commerciales, il est dirigé par un Président Directeur Général nommé par DAHIR.

Sur le plan fiscal, l'OCP est inscrit sur le registre de commerce soumis à la même obligation que d'autres entreprises privées.

Sur le plan financier, l'OCP est indépendant de L'état. Chaque année, le groupe établit son bilan, son compte d'exploitation et ses prix de revient, et participe au budget de l'Etat par le versement des dividendes. La gestion du personnel est régie par le statut du mineur du 1er janvier 1973. Ce statut a été élaboré en conformité avec le DAHIR n° 16007 du 24 décembre 1960 sur le statut des entreprises minières au MAROC. Les structures actuelles ont été modifiées par le document 716 du 1/1/1971 signé par le Directeur Général du Groupe OCP et d'environ 22677 personnes travaillent à l'OCP dont 725 ingénieurs.

#### V) Ensemble des industries chimiques du complexe industriel JORF LASFAR :

Le complexe industriel de la Direction Pôle Chimie de JORF LASFAR s'étend sur 1700ha et comporte cinq entités interdépendantes. La description de chaque entité, ainsi que les différentes relations qui les lient est présentée dans la **figure 2**.

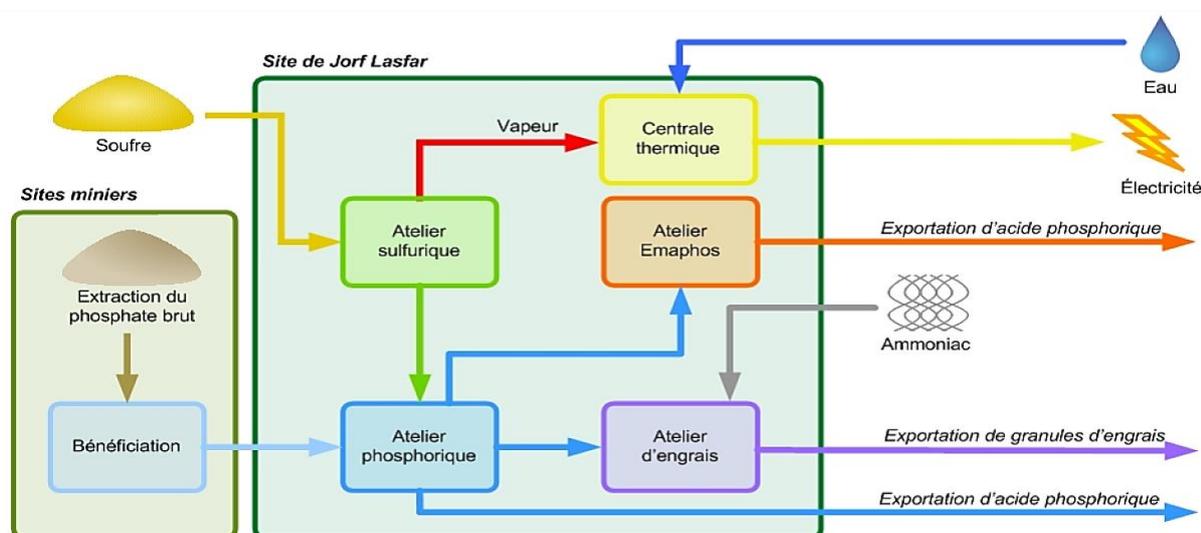


Figure 2 : Description des entités du complexe industriel JORF LASFAR [2]

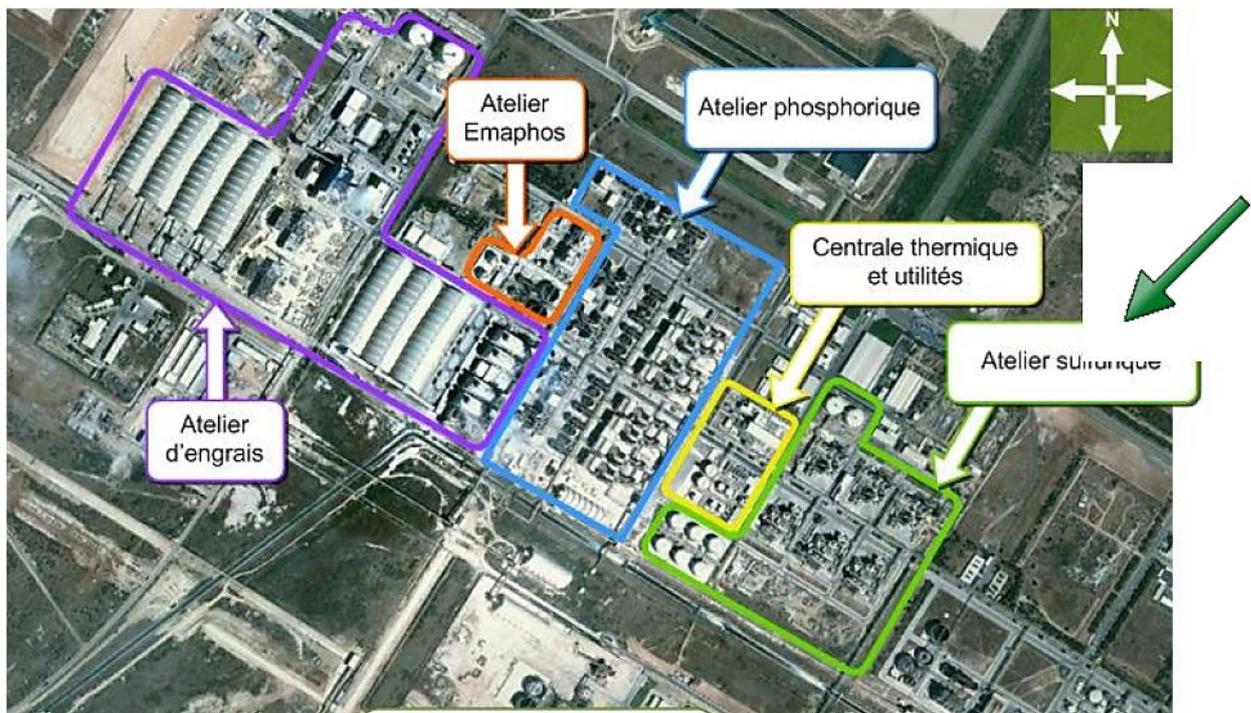
## VI) Description de l'atelier sulfurique MAROC PHOSPHORE III et IV JORF

### LASFAR :

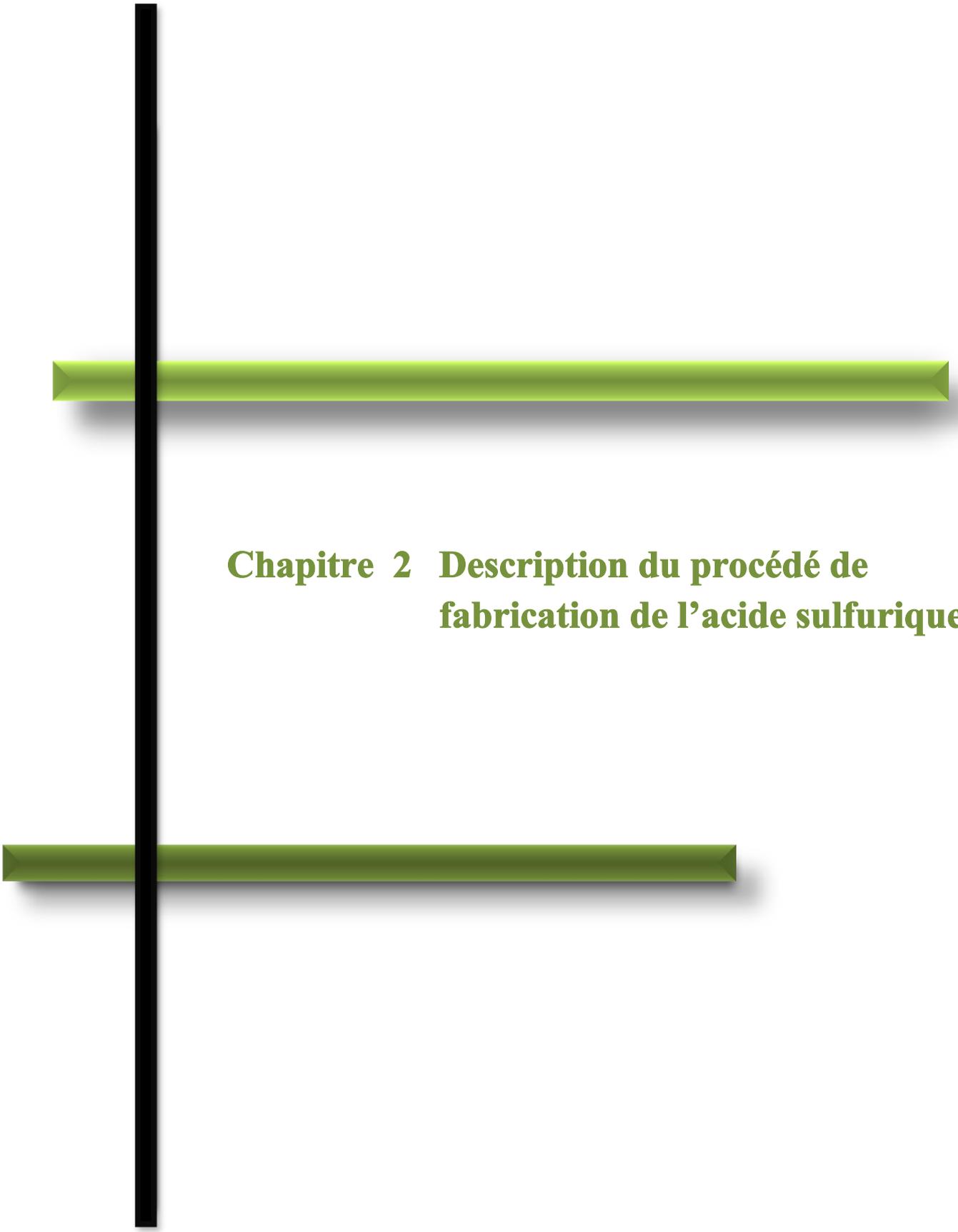
L'atelier sulfurique transforme le soufre en acide sulfurique qui est par la suite acheminé à l'atelier phosphorique. Il génère aussi de la vapeur dont 1/3 est utilisé pour l'atelier sulfurique et les 2/3 dans la centrale thermique. L'atelier sulfurique de JORF LASFAR est situé dans la portion Est de l'usine de procédé, à côté de la centrale thermique comme il est montré dans la **figure 3**.

L'atelier sulfurique est constitué de :

- Six unités d'acide sulfurique : unités A, B, C, X, Y et Z. Ces unités possèdent des procédés similaires et un principe de fonctionnement identique, chaque unité a une production nominale de 2650 tonnes par jour. Ces unités sont de type **double absorption** : une absorption intermédiaire avant la conversion complète du dioxyde de soufre  $SO_2$ , et une absorption finale après la conversion complète du  $SO_2$ .
- Deux bacs de stockage de soufre liquide, une fosse de pompage.
- Six bacs de stockage d'acide sulfurique produit.



**Figure 3** : Vue aérienne du complexe industriel JORF LASFAR [2]



## **Chapitre 2 Description du procédé de fabrication de l'acide sulfurique**

## I) Introduction :

La formule chimique de L'acide sulfurique est :  $H_2SO_4$ . Sa fabrication à partir du soufre liquide se fait en trois étapes principales : combustion, conversion et absorption. Le procédé de fabrication d'acide sulfurique est résumé dans la **figure 4**

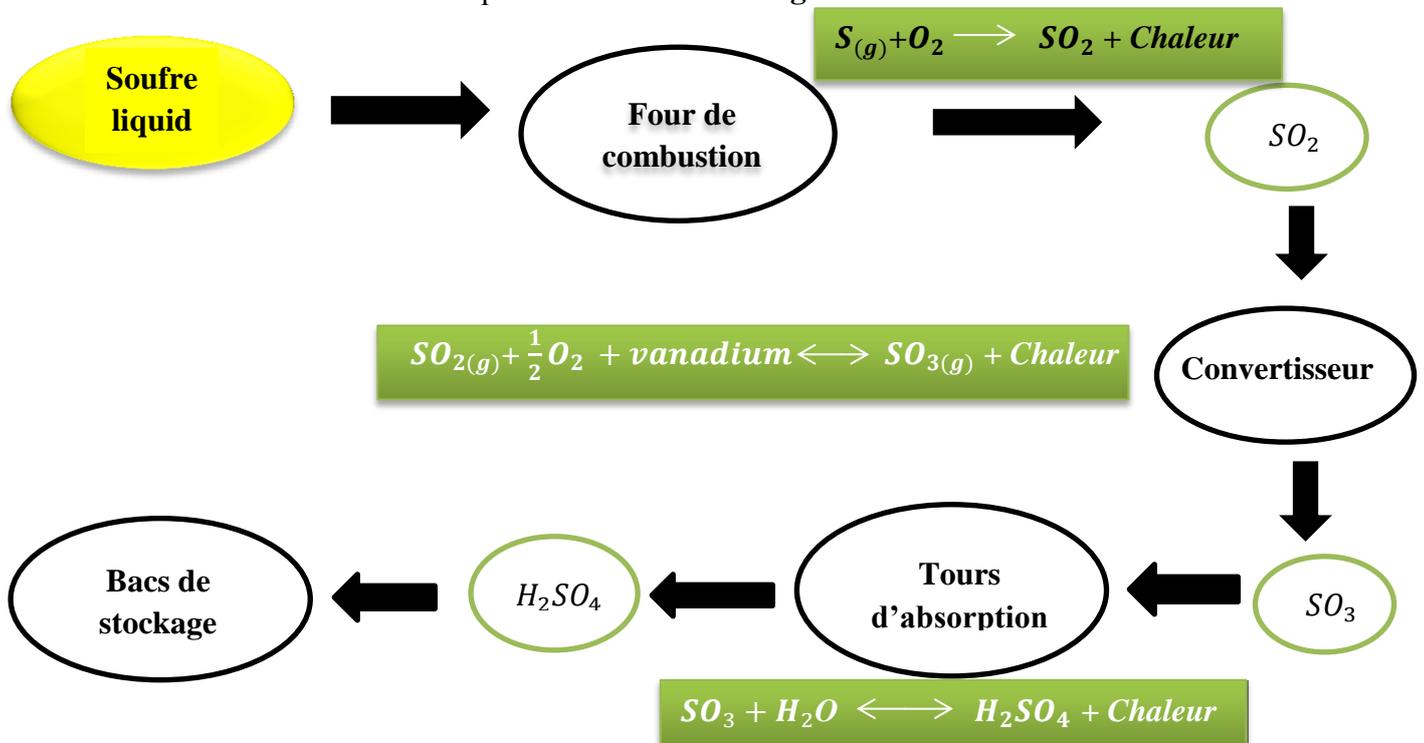


Figure 4 : Schéma du procédé de fabrication d'acide sulfurique

## II) Les étapes de production d'acide sulfurique :

### 1) La combustion du soufre :

Le soufre liquide stocké à  $138^\circ C$  dans l'unité de stockage principale alimente les 2 bacs de stockage de l'atelier sulfurique est transporté à l'aide des pompes vers un four de combustion (voir **figure 5**), à l'intérieur du four on trouve les chicanes présentées dans la **figure 6**, elles sont principalement placées pour augmenter le temps de séjour du soufre au four.

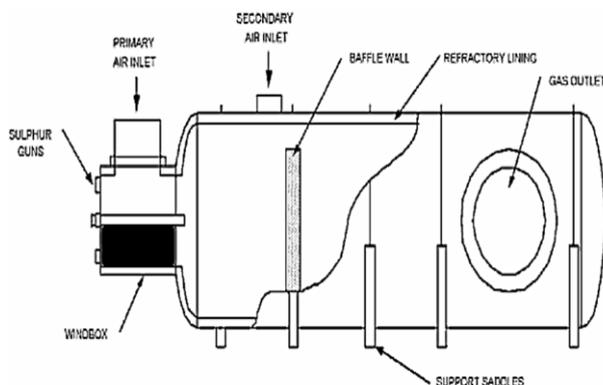


Figure 5 : Four de combustion



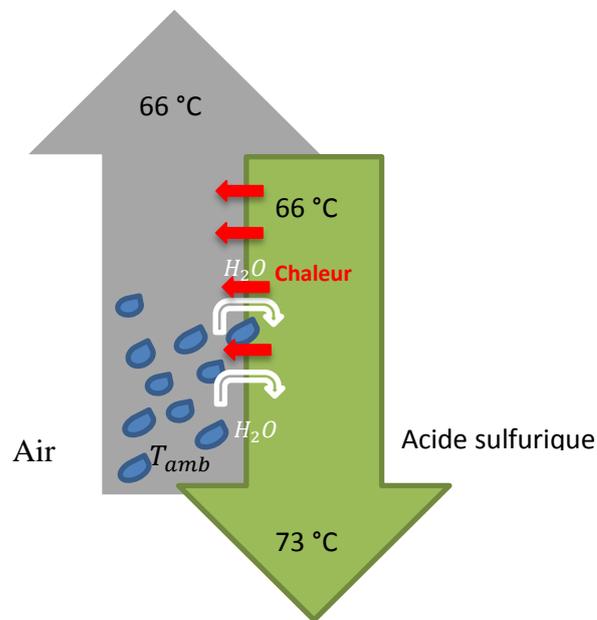
Figure 6 : les chicanes

Le four de la combustion du soufre est une chambre horizontale de 16490 mm de longueur, il est construit en acier, avec un revêtement intérieur de deux couches de briques, une couche de briques d'isolation de 115 mm d'épaisseur et une couche de briques réfractaires de 230mm. Le four contient deux chicanes internes construites en briques pour assurer un bon mélange des gaz et une combustion complète.

L'oxygène  $O_2$  nécessaire à la combustion est obtenu après filtrage et séchage de l'air aspiré par une turbosoufflante. Le séchage sert à enlever l'humidité pour éviter la corrosion des équipements ou la dégradation du catalyseur de conversion.

**a) Le séchage d'air :**

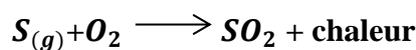
L'air et l'acide sulfurique circulent à contre-courant dans la tour de séchage (**D01**) comme il est montré dans le schéma de la **figure 7**. Comme l'acide sulfurique est hygroscopique (c'est-à-dire que l'acide attire l'eau), il absorbe l'eau contenue dans l'air. L'air sortant de la tour est donc sec. Cette étape libère de la chaleur. L'acide sortant de la tour est donc plus chaud que le flux entrant.



**Figure 7** : Schéma de séchage de l'air

**b) Le brûlage du soufre :**

Le soufre liquide filtré est brûlé avec l'air pour former le dioxyde de soufre  $SO_2$  suivant la réaction chimique :



## 2) La conversion de SO<sub>2</sub> en SO<sub>3</sub> :

Le dioxyde de soufre SO<sub>2</sub> obtenu à la sortie du four est à 1160 °C, pour une meilleure conversion de SO<sub>2</sub> vers SO<sub>3</sub> il faut maintenir la température de SO<sub>2</sub> à ≈ 420 °C et cela est réalisé en faisant passer le SO<sub>2</sub> obtenu par une chaudière de récupération de chaleur (V01), puis il passe par le filtre à gaz (S02) pour éliminer les poussières véhiculées afin d'empêcher l'encrassement de la première couche catalytique du convertisseur. Le filtre à gaz possède deux couches de matière filtrante composées de briques réfractaires concassées en parallèle par lesquelles passe le gaz de procédé pour assurer une faible perte de charge et une accumulation élevée des cendres, ensuite le SO<sub>2</sub> est transporté au surchauffeur (E16) pour être refroidi jusqu'à 420 °C.

Le convertisseur présenté dans la **figure 8** est divisé en 4 couches séparées et dans chaque couche le vanadium (voir **figure 9**) est placé sur des supports entre deux couches de galet pour qu'il soit protégé comme il est présenté dans la **figure 10**.



**Figure 8** : Le convertisseur

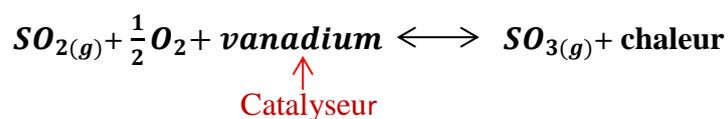


**Figure 9** : Le vanadium utilisé dans le convertisseur



**Figure 10**: Couche de galet avant de poser le vanadium

Le dioxyde de soufre est converti en trioxyde de soufre selon la réaction exothermique :



**La première couche** permet de transformée **56%** de dioxyde de soufre. Cette transformation permet d'augmenter la température des gaz à **600°C**. Pour les refroidir ils subissent des échanges avec la vapeur dans le surchauffeur (**E01**) puis ils passent vers la 2ème couche à **454°C**.

Dans **la 2ème couche**, **82%** de dioxyde de soufre est transformé en trioxyde de soufre. A nouveau la chaleur est libérée, la température des gaz augmente jusqu'à **545°C** est ils se refroidissent par des échanges gaz-gaz à l'aide de l'échangeur de chaleur à chaud (**E02**).

Dans **la 3ème couche**, **93%** de dioxyde de soufre est transformé en trioxyde de soufre et la température des gaz augmente à **484°C** et ils se refroidissent par l'échangeur de chaleur à froid (**E03**) et par l'économiseur (**E04**). Les gaz refroidis sont alimentés à la tour d'absorption intermédiaire pour absorber le trioxyde de soufre **SO<sub>3</sub>**.

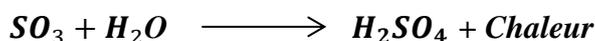
Les gaz retournent de la tour d'absorption intermédiaire à une température de **79°C** inférieure à 420°C (420°C et la température optimale pour une meilleure conversion), ils se réchauffent par échangeur de chaleur à chaud et à froid à l'aide des gaz sortant de la 2ème et 3ème couche.

La dernière réaction se fait au niveau de la **4ème couche** toujours avec libération de chaleur, les gaz obtenus se refroidissent par le surchauffeur/économiseur (**E05**) et passe à la tour d'absorption finale.

### 3) Absorption de SO<sub>3</sub> :

La dernière étape de fabrication d'acide sulfurique est **l'absorption**. Elle se fait en deux phases : 1- absorption intermédiaire dans la tour d'absorption intermédiaire puis 2- absorption finale dans la tour d'absorption finale. Ces deux tours sont présentées dans la **figure 13**

L'absorption selon l'équation :



La première absorption se fait au **SO<sub>3</sub>** sortant de la 3ème couche par l'alimentation à contre-courant d'acide sulfurique de densité 98.5% par un système de distribution montré dans la **figure 11**, le **SO<sub>3</sub>** réagit avec le **H<sub>2</sub>O** de l'acide sulfurique **H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>** pour produire plus d'acide, les gaz à faible quantité de **SO<sub>3</sub>** retournent pour alimenter la 4ème couche du convertisseur.



**Figure 11 :** Système de distribution d'acide sulfurique



**Figure 12:** Eliminateur de brumes

L'acide sulfurique sort de la tour intermédiaire **D02** à une concentration de **99.5%**. Pour diminuer cette concentration à la concentration voulue (**98.5%**), l'acide sulfurique est dilué dans le bac de circulation 1.



**Figure 13:** Les tours d'absorption intermédiaire finale et de séchage [2]

La même démarche est suivie dans la tour d'absorption finale **D03** et les gaz de la 4<sup>ème</sup> couche sont absorbés.

Pour empêcher la sortie des gouttelettes d'acide sulfurique de la tour d'absorption intermédiaire avec les gaz qui retournent vers la 4<sup>ème</sup> masse du convertisseur, des éliminateurs de brumes d'acide sont placés à la sortie de la tour d'absorption intermédiaire (voir **figure 12**)

Une partie des gaz qui restent subit **un lavage gaz** à l'aide de 3 réacteurs à charbon actif et avec l'injection de l'eau. Cette opération permet d'obtenir un acide à faible concentration utilisé pour la dilution. La partie qui reste sans traitement (lavage gaz) est évacuée à l'atmosphère par la cheminée (ppm 842 de **SO<sub>2</sub>**).

### **III) Stockage de l'acide :**

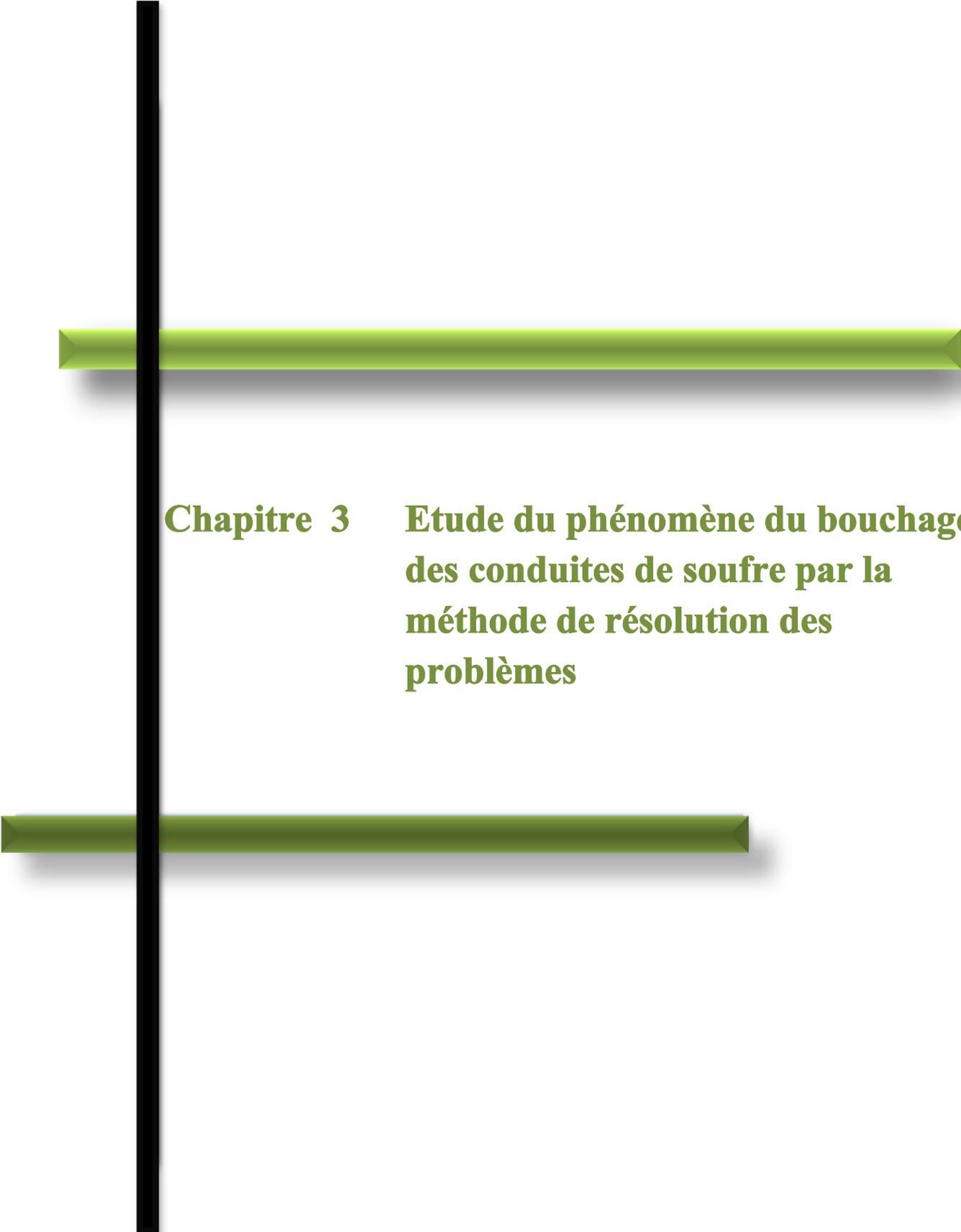
L'acide obtenu est refroidis à **80°C** par quatre refroidisseurs à l'aide de l'eau de mer. Il est ensuite acheminé vers la tour de séchage ou la tour d'absorption intermédiaire ou à la tour d'absorption finale. Une partie de l'acide sulfurique obtenu est stockée dans les bacs de stockages pour être distribué après vers l'atelier phosphorique.

### **IV) L'utilisation de la vapeur récupérée :**

La combustion du soufre et la conversion du dioxyde de soufre en trioxyde de soufre sont des réactions exothermiques qui dégagent de la chaleur. Le système de récupération de chaleur sert à produire de la vapeur surchauffée à haute pression à partir de cette chaleur dégagée. La vapeur produite est utilisée :

**Dans l'atelier d'acide sulfurique :** une partie de la vapeur surchauffée à haute pression (HP) sortant du surchauffeur (E01) est utilisée pour entraîner la turbine de la turbosoufflante qui alimente l'air au four de combustion. En passant par la turbine, cette vapeur HP est transformée en vapeur moyenne pression (MP - 9,3 bar).

**Dans la centrale thermique :** la vapeur à MP sortante de la turbine est acheminée au collecteur de vapeur MP. Le surplus de vapeur à haute pression (57 bar) est dirigé au collecteur de vapeur HP.



**Chapitre 3 Etude du phénomène du bouchage  
des conduites de soufre par la  
méthode de résolution des  
problèmes**

### I) Description générale du phénomène de bouchage des conduites de soufre :

Le soufre liquide stocké dans les bacs de stockages de l'atelier de production d'acide sulfurique est transporté au four de combustion à l'aide des conduites chemisées montrées dans la **figure 14**, ces conduites peuvent avoir un bouchage de temps en temps et ce phénomène a un impact majeur sur les durées d'arrêt et de démarrage de ligne de production.

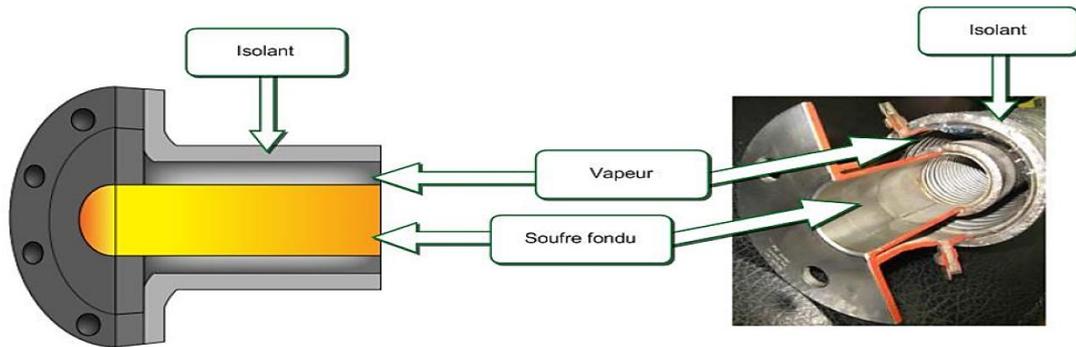


Figure 14: Conduite de soufre liquide [2]

### II) Les raisons pour lesquelles le phénomène est étudié :

La durée d'un arrêt dû au bouchage des conduites de soufre peut varier de 2 heures jusqu'à 15 heures (lorsqu'il y a un changement de tronçon).

Une ligne de production d'acide sulfurique peut produire environ : **2650 tonnes d'acide sulfurique par jour (24 H)**.

- Donc un arrêt de 2h correspond à une perte de production :

- En termes d'acide sulfurique de

$$\frac{2 \times 2650}{24} = 220.83 \text{ t}$$

Durant la production d'une tonne d'acide sulfurique on peut récupérer jusqu'à 1.19 Tonne de vapeur (MP et HP)

- En termes de vapeur récupérée de

$$220.83 \times 1.19 = 262.79 \text{ t}$$

Dans la centrale 4.7 Tonnes de vapeur génère 1 mégawattheure d'énergie électrique donc

- En termes d'énergie produite de :

$$\frac{262.79}{4.7} = 55.91 \text{ MW}$$

Le taux de conversion d'1 MWH en dirhams est : 659.73 DH d'après les résultats de l'année 2015. (Il est obtenu par la relation  $\tau = \frac{Qa \cdot Pa + Qv \cdot Pv}{Qa + Qv}$ )

- En termes de Dirhams

$$55.91 \times 659.73 = 36\,885,5 \text{ DH}$$

- Un arrêt de 15H correspond à une perte de production :

- En termes d'acide sulfurique de
- En termes de vapeur récupérée de
- En termes d'énergie produite de
- En termes de Dirhams

$$\frac{15 \times 2650}{24} = 1\ 656.25\ t$$

$$1656.25 \times 1.19 = 1970.94\ t$$

$$\frac{1970.94}{4.7} = 419.35\ MW$$

$$419.35 \times 659,73 = 276\ 659,75\ DH$$

4 arrêts chauds par semaine de l'un des 6 unités de production d'acide sulfurique donc

$\frac{4 \times 12 \times 4}{6} = 32$  arrêt chaud par an pour une unité.  $\frac{1}{4}$  des arrêts chauds sont dû au bouchage des conduites de soufre donc les pertes en dirhams calculé précédemment sont multipliés par

$$\frac{32}{4} = 8$$

$$2\ H : 36\ 885,5 \times 8 = 295\ 084\ DH/an$$

$$15\ H : 276\ 659,75 \times 8 = 2\ 213\ 278\ DH/an$$

### III) Méthode de résolutions des problèmes (OPS) :

C'est l'ensemble des techniques structurées pour éliminer définitivement les problèmes en supprimant les causes racines (pas les symptômes) par application en groupes de travail [4].

#### 1) Identification du phénomène

Pour identifier le phénomène de bouchage des conduites de soufre il y a plusieurs méthodes à appliquer :

##### a) Méthode des 5 G :

<b>Gemba</b>	Le lieu réel	Se rendre sur place : U11 et le circuit de soufre vers les fours
<b>Gembutsu</b>	La pièce réelle	Examiner l'objet : Les conduites dédoublées de soufre ( <b>figure 15</b> )
<b>Genjitsu</b>	Les faits réels	Vérifier les chiffres : plus de 10 tronçons bouchés et enlevés sont trouvés sur chantier
<b>Genri</b>	La théorie	Se référer à la théorie : Colmatage du soufre après la diminution de sa température
<b>Gensoku</b>	Le Standard	Suivre les standards

**Tableau 1** : Méthode des 5 G

##### b) Méthode de QQQPC :

**Quoi** : bouchage des conduites de soufre

**Quand** : durant les arrêts à froid/chaud/forcé, le démarrage

**Où** : conduite de soufre

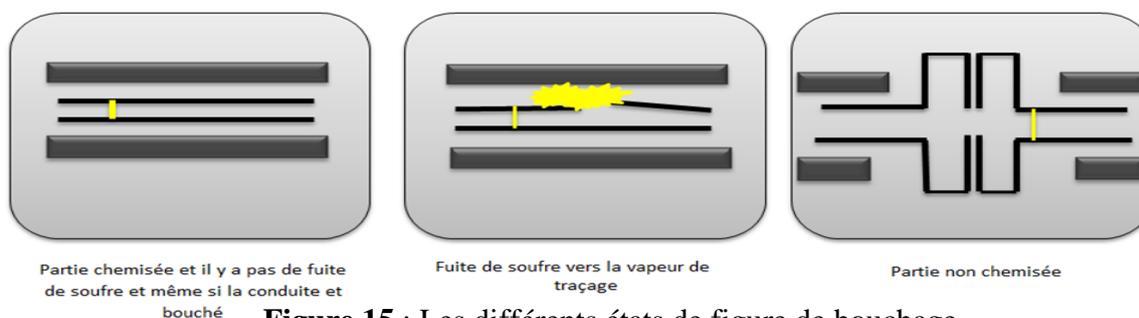
**Qui :** l'agent de surveillance du circuit de soufre liquide

**Par quel :** d'après l'étude Process Hazard Analysis (PHA) les problèmes sont classés par criticité (de C-1 le moins critique à C-4 le plus critique) et par fréquence (de F-1 le moins fréquent à F-4 le plus fréquent). Le bouchage de conduite de soufre liquide est considéré comme un problème non fréquent (F-1) mais critique à la production (C-3), donc il est classé dans la catégorie IV (voir tableau 2)

Process Hazard Analysis				
	C-1	C-2	C-3	C-4
F-4	IV	II	I	I
F-3	IV	III	II	I
F-2	IV	IV	III	II
F-1	IV	IV	IV	III

**Tableau 2 :** Evaluation du danger étude Process Hazard Analysis (PHA)

**Comment :** on distingue entre trois états de figure (voir figure 15)



**Figure 15 :** Les différents états de figure de bouchage

## 2) Comprendre le fonctionnement normal du système

Le soufre liquide utilisé par les six lignes de production d'acide sulfurique est transporté par des conduites de soufre liquide chemisé et isolé thermiquement.

Ces conduites sont de forme cylindrique en acier non-allié d'usage général (tuyau: A53-S-B coude : A234-WPB) d'après le manuel de constructeur MITSUI ENGINEERING & SHIPBUILDING CO.LTD. Dans le cylindre intérieur circule le soufre liquide et dans le cylindre extérieur circule la vapeur base pression (BP) à 155°C et 4.5 bar. Ces deux cylindres sont calorifugés par un isolant (la laine de verre ou de roche) et entourés par un cylindre en acier pour protéger l'isolant.

Le **tableau 3** donne la taille de la tuyauterie chemisée :

Le diamètre intérieur (mm)	20	40	50	80	100	150	200	300	350	400	500
Le diamètre extérieur (mm)	40	80	80	100	150	200	250	400	400	450	550

**Tableau 3 :** Taille de conduite extérieure et intérieure [3]

Le soufre liquide se présente sous différents états, en fonction de la température : liquide jaune fluide (119,5 °C), état visqueux rouge (160 °C), nouvel état fluide (250 °C), puis ébullition avec vapeurs jaunes (445 °C).

### 3) Fixer les objectifs :

Un objectif doit être **SMART** c'est-à-dire : **Spécifique / Mesurable / Atteignable / Réalisable** / dans un **Temps**. Les objectifs fixés pour notre problème :

- Elaborer un plan d'action préventif pour empêcher le bouchage des conduites de soufre liquide
- Réduire le temps de détection du bouchage des conduites de soufre liquide
- Minimiser la durée des interventions de débouchage des conduites de soufre

### 4) Analyse des causes racines :

Pour identifier tous les facteurs qui ont généré les écarts qui ont causé le problème: les causes racines. Nous allons procéder par la méthode de 5 Pourquoi et en parallèle chaque hypothèse donnée par cette méthode on va la vérifier par la méthode de vérification.

#### a) Méthode de 5 pourquoi :

Pour construire le tableau de la méthode de 5 Pourquoi nous avons posés les questions suivantes :

Pourquoi 1 : pourquoi la température du soufre devienne inférieure à 150°C ?

Pourquoi 2 :

1) pourquoi il peut y avoir des défauts dans la température ou la pression de la vapeur ?

2) pourquoi la vapeur BP peut être interrompue ?

3) pourquoi il peut y avoir un faible échange entre la vapeur BP et le soufre ?

Pourquoi 3 :

1) pourquoi il peut y avoir du condensât dans le chemisage ?

2) pourquoi il peut y avoir une fuite interne du soufre liquide vers le circuit du vapeur ?

Pourquoi 4 : pourquoi il peut y avoir de la corrosion ou de l'érosion dans les conduites intérieures ?

Pourquoi 5 : pourquoi il peut y avoir du condensât dans le chemisage de la conduite ?

**Le tableau 4** rassemble les résultats trouvés par la méthode de 5 Pourquoi

Phénomène	v	Pourquoi 1	v	Pourquoi 2	v	Pourquoi 3	v	Pourquoi 4	v	Pourquoi 5	v	
					→	1) Présence du condensât dans le chemisage	→	Blocage du purgeur				
					→	Dégradation de calorifuge des tuyaux d'alimentation de la vapeur BP						
			→	1) Défaut des caractéristique de la vapeur (T,P)	→	Paramètre de conditionnement non convenable (vapeur épuisé de la source)			→	Corrosion à cause du condensât	→	Blocage du purgeur
	→	Qualité du soufre			→	2) Fuite interne du soufre liquide bloque les tuyaux de vapeur	→	Corrosion/érosion des conduites intérieures	→	Erosion dûe au piquage d'entrée de la vapeur BP		
			→	2) Interruption de la vapeur BP	→	Coupure du vapeur par la source			→	Réaction du soufre avec le fer		
Bouchage de conduite de soufre	→	Température du soufre < 130°C										
			→	Les parties de conduite non chemisée								
	→	Température du soufre > 150 °C			→	Purgeur qui laisse passer la vapeur avec excès						
			→	3) Faible échange thermique soufre/vapeu	→	Dégradation de calorifuge des conduites le flux de chaleur passe à l'extérieur au lieu qui passe au soufre						

v : vérification

■ : Cause racine

✓ : Vrais ✗ : Faux

**Tableau4** : méthode des 5 Pourquoi

**b) Méthode de vérification :**

Les outils utilisés dans la méthode de vérification sont :

- Les comparaisons pratiques entre l'état de la pièce avant le problème est après le problème par la vue, le toucher, l'odeur et le bruit
- Les faits et les données des contrôles et des mesures
- L'expérience, les standards et documentation

**i) Qualité du soufre :**

La qualité de soufre (taux des impuretés, taux de cendre...) est très importante au niveau de la production d'acide sulfurique mais par rapport au phénomène du bouchage de conduite de soufre liquide elle n'a aucune influence car la taille de ces impuretés est trop faible par rapport à la section du tuyau de conduite de soufre.

Des échantillons sont toujours pris à des périodes prédéfinies pour s'assurer de la bonne qualité du soufre qui peut bloquer les filtres à soufre placés juste avant les fours de combustion, les brûleurs du soufre.

**ii) Température du soufre > 150°C :**

La fourchette de températures dans laquelle le soufre doit être maintenu est : [130°C, 150°C]. Si la température du soufre dépasse 150°C, le soufre devient plus visqueux (**voir tableau 5**) donc sa transmission devient plus difficile ce qui influence sur le débit de soufre fourni au four.

Température (°C)	120	150	170	187	200	230	250	320	420
Viscosité relative (sans unité)	11	8	30000	52000	46000	18000	9600	1040	105

**Tableau 5** : Viscosité relative du soufre liquide (référence : eau à 17 °C) [5]

**iii) Les parties de conduite non chemisées :**

Les parties de conduites non chemisées sont les parties de contacts entre deux conduites de soufre liquide. Ils ne sont pas chemisées c'est-à-dire la vapeur BP ne circule pas dans cette partie et ils ne sont pas isolés thermiquement. En pratique la probabilité du bouchage à ce niveau est grande par rapport aux autres parties surtout quand il y a un arrêt de production. Le soufre dans ces zones, subit des échanges thermiques avec le milieu extérieur. Sa température diminue, il se solidifie, et lors du démarrage on se trouve avec une conduite bouchée.

**iv) Dégradation du calorifuge des conduites du soufre ou des tuyaux d'alimentation de la vapeur BP :**

L'épaisseur de l'isolation thermique pour les conduites de diamètre inférieur à 100 mm est : 30mm. Les matériaux d'isolations thermiques sont constitués de matelas en laine de roche (grillagé du côté extérieur), de Marque ROCKWOOL ou ROCKLAINE ayant une meilleure stabilité chimique et inaltérable à la température d'emploi.

**Caractéristiques techniques d'après le descriptif technique des travaux de calorifugeage au site de Jorf Lasfar années 2015 :**

**Epaisseur** : entre 50 mm et 150 mm ; **Densité** : supérieure ou égal à 125 kg/m<sup>3</sup>

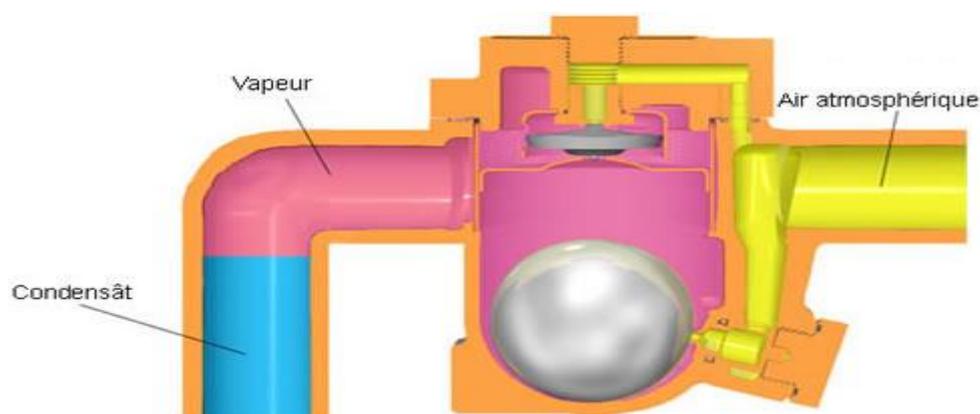
**Température** de service allant jusqu'à 700°C ; **Conductivité thermique** : 0,09 W/m°C (à 600°C)

La dégradation de l'isolant augmente le flux de chaleur qui passe vers l'extérieur ce qui diminue le flux de chaleur vers le soufre

### v) Fonctionnement du purgeur :

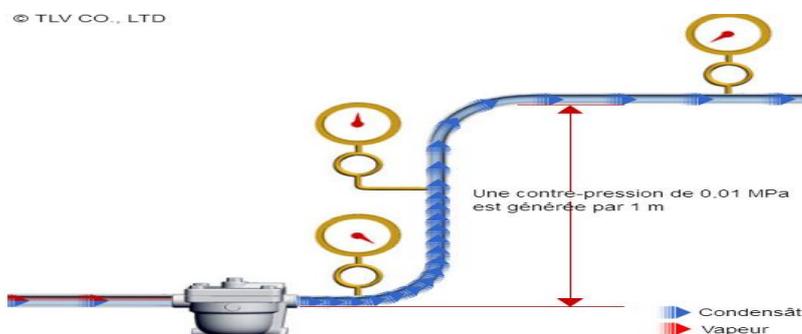
Un purgeur de vapeur est une sorte de vanne autonome qui évacue le condensat (c.-à-d. la vapeur d'eau condensée) et autres gaz, non condensables sans laisser échapper de vapeur. Le purgeur de vapeur est un appareil utilisé pour minimiser les pertes inutiles de vapeur dans ces procédés.

La vanne dans le purgeur se ferme dès qu'elle perçoit l'arrivée de vapeur. Cette action indique un fonctionnement correct du purgeur. Toutefois, comme le démontre l'illustration dans la **figure 16**, le condensat ne peut pas pénétrer dans le purgeur lorsque la vanne est fermée et l'expulsion de condensat est retardée. Le système dans son ensemble ne fonctionne donc pas correctement.



**Figure 16** : purgeur automatique bloqué fermé par la vapeur [6]

**Contre-pression dans un purgeur :** La contre-pression est la pression juste après le purgeur. Autrement dit, la contre-pression est la pression en aval ou secondaire d'un purgeur (voir **figure 17**). La différence entre la pression en amont (primaire) d'un purgeur et la contre-pression est la pression différentielle.



**Figure 17** : Schéma de la contre pression dans un purgeur [6]

Si la pression amont (primaire) demeure stable, la pression différentielle à l'intérieur du purgeur diminue lorsque la contre-pression augmente. Dans ce même purgeur, le débit du purgeur augmente lorsque la pression différentielle augmente.

## Que se passe-t-il exactement au niveau du fonctionnement du purgeur lorsque la contre-pression augmente?

Dans de nombreux purgeurs, la contre-pression exerce une force sur la soupape dans le sens d'ouverture de la soupape. Elle agit donc comme la force d'ouverture de la soupape. Si la pression amont (primaire) demeure constante et que seule la contre-pression augmente, la force d'ouverture de la soupape augmente. Dans certains types de purgeurs, la soupape ne peut alors plus être maintenue en position fermée et, par conséquent, elle reste en position ouverte.

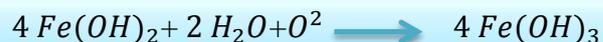
### vi) Corrosion en présence du condensât :

La corrosion de l'acier (fer) en présence de l'eau ou la formation de la rouille se fait en 3 étapes :

La formation d'hydroxyde de fer II ( $Fe(OH)_2$ ) par action sur le fer (Fe) des ions hydroxydes ( $OH^-$ ) conjointement formés par réaction du dioxygène de l'air ( $O^2$ ) avec l'eau  $H_2O$  (réaction d'oxydo-réduction)



L'oxydation des ions fer II ( $Fe(OH)_2$ ) en hydroxyde de fer III  $Fe(OH)_3$  sous l'action du dioxygène de l'air



La transformation spontanée d'hydroxyde de fer III  $Fe(OH)_3$  en oxyde de fer III hydraté



La corrosion des conduites est présente surtout au piquage de sortie du condensât où la condensât peut s'accumuler

### vii) Erosion due au piquage d'entrée de la vapeur BP :

Le piquage d'entrée de la vapeur BP est placé perpendiculairement aux conduites du soufre. La pression de la vapeur BP (4.5 bar) cause de l'érosion au niveau du tuyau interne de la conduite de soufre. Comme la pression du soufre (13 bar) est supérieure à la pression de la vapeur BP (4.5 bar) (valeurs de pression données par les paramètres de marche des lignes sulfurique) cela entraîne une fuite de soufre vers la chemise. Ce qui bloque le circuit du vapeur de traçage.

### viii) Réaction du soufre avec le fer :

Le soufre réagit avec les métaux comme le cuivre, l'argent, le mercure, les alcalins et les alcalinoterreux pour donner des sulfures. Des réactions lentes sont observées avec le fer, le chrome, le tungstène, le nickel et le cobalt.

L'acide sulfurique ( $H_2SO_4$ ) produit par action de l'eau sur le soufre est susceptible d'attaquer les métaux les plus résistants. Comme le milieu intérieur de la conduite (tuyau de soufre) et non humide la réaction de fer avec le soufre est faible.

#### 5) Actions et contre-mesures :

Pour chaque cause racine trouvée nous avons élaboré des actions appropriées :

- Pendant les arrêts : vidanger les conduites de soufre liquide qui relie la fosse de pompage et le four de la ligne qui est en arrêt en suivant le mode opératoire de vidange (voir **Annexe [6]**). Il faut s'assurer du vidange effectué car même des petits gouttelettes de soufre qui s'accumulent peuvent causer un bouchage et pour cela il est recommandé de placer un bridge dans une conduite au milieu et injecter un courant d'air sec.
- Lors d'un bouchage des conduites les premières parties à vérifier sont les parties non chemisées
- S'assurer que la vapeur BP circule dans toutes les conduites

Comment : pour s'assurer de l'existence de la vapeur BP utiliser des détecteurs ultrasonores un exemple est illustré dans la **figure 18**

- S'assurer que la pression de la vapeur est entre 3 et 5 bars, et sa température et dans les environs de  $150^{\circ}C$

Comment : s'assurer du bon fonctionnement des manomètres et des thermomètres existant et dans les zones non équipées de ces appareils il faut les mettre en place pour mesurer la pression et la température de la vapeur entrante à la conduite



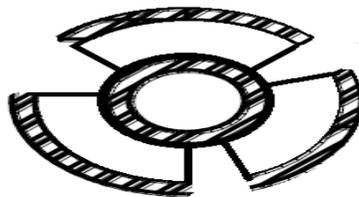
**Figure 18** : détecteur ultrasonore [7]

- Mettre en place des détecteurs ultrasonores (voir **figure 18**) du mauvais fonctionnement de purgeur qui détecte est ce que le purgeur se débarrasse effectivement du condensat ou non en entendant le bruit produit lors de l'ouverture du purgeur et l'écoulement du condensat

- S'assurer que la pression à la sortie du purgeur est tolérable, dans le purgeur à flotteur la pression amont et la pression aval (la contre pression) agissent en sens opposé la contre pression autorisée est supérieure à 90% (Si la pression amont est de 1,0 MPaG, un purgeur à flotteur fermé libre peut être utilisé sans problème avec une contre-pression d'environ 0,9 MPaG)

Comment : s'assurer du bon fonctionnement des manomètres et des thermomètres existants et dans les zones non équipées de ces appareil il faut les mettre en place pour mesurer la pression du condensat à la sortie du purgeur

- Remplacer les anciennes conduites de soufre par des conduites avec un chemisage en parties un exemple est montré dans la **figure 19**. Si l'une des parties est bloquée les autres marchent pour garder toujours l'échange thermique entre le soufre et la vapeur.



**Figure 19:** Exemple de conduite avec chemisage repartie

- Evaluer l'état des parois externes de la tuyauterie et du calorifuge à partir des résultats des examens visuels et des contrôles réalisés. En cas de détection d'anomalies rédiger un bon de travail et le transmettre au bureau de méthode pour élaborer un plan pour mettre en état le calorifuge.

Comment : utiliser les fiches d'inspection préparées pendant les contrôles systématiques des conduites (voir Annexe [2] et [3]).

- Modifier la forme des piquages de vapeur. Pour cela on rajoute un coude à l'extrémité du tube et on modifie l'entrée de la vapeur pour qu'elle soit dès le début du tronçon (**figure 20**) pour résoudre le problème d'érosion des conduites intérieure

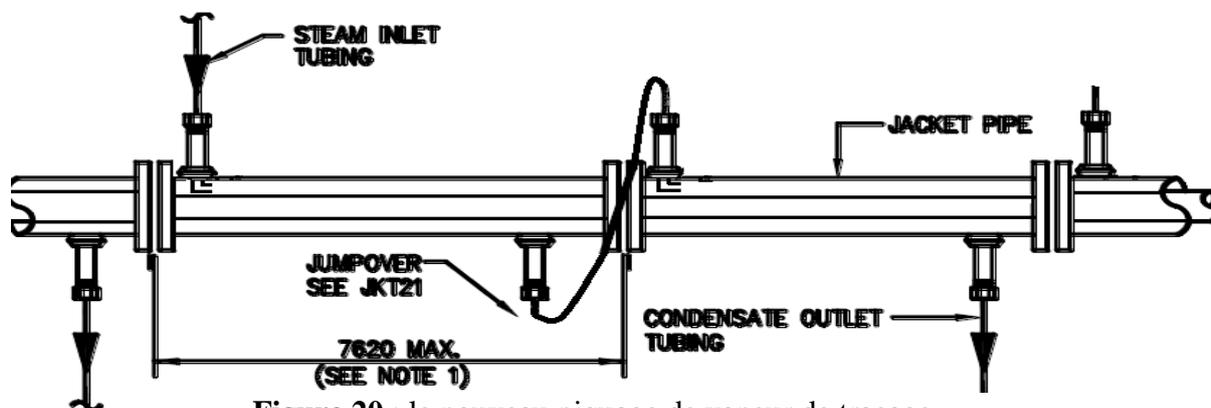


Figure 20 : le nouveau piquage de vapeur de traçage

Les conduites de soufre les plus utilisées sont de diamètre intérieur de 100 mm ou 40 mm et de diamètre extérieur respectivement de 150 mm et 80 mm donc l'espace qui reste entre le tuyau interne et le chemisage est 40 à 50 mm. Les tuyaux d'alimentation de vapeur BP sont en générale de 15 à 20 mm donc l'installation d'un coude à l'extrémité du tuyau d'alimentation de vapeur BP en gardent le même débit de vapeur entrante aux conduites de soufre est possible.

- Etudier la possibilité de produire la vapeur BP (en quantité suffisante) à l'atelier de production d'acide sulfurique.

#### 6) Vérification des résultats :

Pour vérifier les résultats des contre-mesures déjà citées, nous avons élaboré des fiches et des check listes pour montrer avec un suivi dynamique en temps réel l'évolution des indicateurs du phénomène observé. Les périodicités pendant lesquelles les contre-mesures doivent être surveillées et les fiches à utiliser sont montrées dans le **tableau 6**

Cause racine	Actions à surveillée	Fiche à utiliser	périodicité
Mauvais fonctionnement du purgeur	Détecteur ultrasonore	Fiche technique de contrôle des tuyauteries pour l'atelier de production <b>Annexe [2]</b>	Hebdomadaire
Dégradation de calorifuge	Evaluation de l'état des parois externes de la tuyauterie	Fiche d'inspection tuyauterie pour l'atelier de production <b>Annexe [2]</b>	Mensuellement
Les parties de conduite non chemisée	Vidange	Check liste vidange circuit soufre	Chaque arrêt
Erosion dûe au piquage d'entrée de la vapeur BP	Evaluation de l'état des parois interne de la tuyauterie	Fiche d'inspection tuyauterie pour le bureau de méthode <b>Annexe [3]</b>	Mensuellement

**Tableau 6** : les fiches à utiliser et les périodicités de surveillance pour chaque contre-mesure

Les contre-mesures qui nécessitent plus d'étude et de moyens sont des recommandations à appliquer dans des projets à moyen terme ou dans les nouvelles lignes de production d'acide sulfurique (voir **tableau 7**).

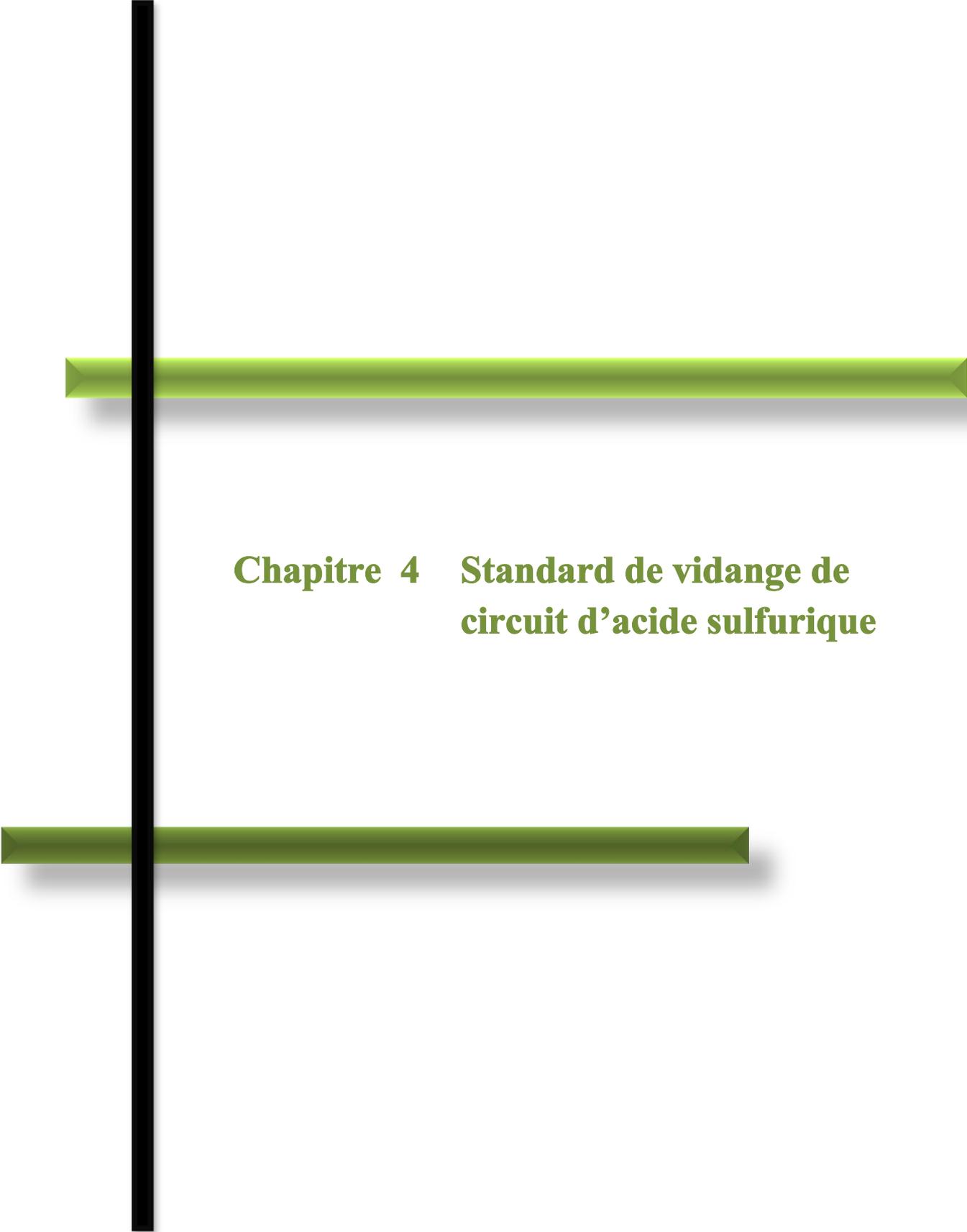
Cause racine	Recommandations
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Coupure de vapeur par la source</li> <li>• Paramètre de conditionnement non convenable (vapeur épuisée à la source)</li> </ul>	produire une quantité suffisante de la vapeur BP
Erosion dûe au piquage d'entrée de la vapeur BP	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Modifier la forme des piquages d'entrée de la vapeur</li> <li>• conduites avec un chemisage en parties</li> </ul>

**Tableau7** : Contre-mesure à vérifier dans de nouveaux projets

#### 7) Verrouillage et généralisation :

Après la collection des résultats de contrôle des purgeurs et de l'état des conduites et du calorifuge et de la vidange il faut :

- Mettre en place un tableau d'affichage pour suivre les résultats obtenus
- Auditer les fiches de contrôle et évaluer l'état actuel des purgeurs et conduites et formaliser un plan d'actions pour remplacer ou réparer les anomalies trouvées
- Adopter les nouvelles pratiques : les fiches d'inspection, les check listes, les standards
- Généraliser les contres mesures élaborées sur toutes les lignes de production d'acide sulfurique



**Chapitre 4 Standard de vidange de  
circuit d'acide sulfurique**

## **D) Standard de vidange du circuit acide :**

### **1) Les objectifs de ce standard :**

- Maitriser et réduire le temps de vidange de circuit acide.
- Eviter le temps d'attente.
- Standardiser et généraliser une procédure de vidange des bacs d'acide R01/R02, des refroidisseurs d'acide, de la conduite de production et la conduite de renforcement.

### **2) Domaine d'application :**

Ce standard est applicable dans toutes les unités de production de l'atelier sulfurique.

### **3) Définitions :**

Système de vidange : Un système de pompe et de tuyauterie est prévu pour vidanger les refroidisseurs, les réservoirs et les boucles d'étanchéité. Une vanne de vidange est aussi prévue sur chaque courant et ces vannes ne doivent être ouvertes que pour la vidange d'une pièce d'équipement en particulier.

Consignation : c'est l'ensemble des dispositions (séparation, condamnation, signalisation, vérification/ test et dissipation) permettant de mettre et de maintenir en sécurité une machine, un appareil ou une installation de façon qu'un changement d'état (remise en marche de la machine, fermeture du circuit électrique, ouverture de la vanne....) soit impossible sans l'action volontaire de tous les intervenants

AMINE : est le nom générique des composés organiques possédant le groupement R-CO-N (R'RR''), R' et R'' pouvant être l'atome d'hydrogène H. L'amine est donc une molécule qui est dérivée de l'ammoniac.

ESTER : désigne un groupement caractéristique formé d'un atome lié simultanément à un atome d'oxygène par une double liaison et à un groupement alkoxy du type -O-R'. Quand cet atome est un atome de carbone, on parle d'esters carboxyliques.

### **4) Abréviations :**

**EPI** : équipement de protection individuelle

**PV** : porte visite

**SC** : Salle de Contrôle

## 5) Résumé :

Le présent standard décrit les différentes étapes à suivre pour assurer une vidange aux deux bacs de circulation, aux refroidisseurs, à la conduite de production ou à la conduite de renforcement en détaillant les différentes étapes en termes de chronologie, moyens nécessaire et durée tolérée.

## 6) Caractéristique des équipements :

Le circuit d'acide est équipé des deux bacs et cinq refroidisseurs d'acide :

Le bac R01 c'est un bac vertical, cylindrique à base arrondie revêtu par du brique antiacide, la capacité nominale du réservoir est de 115 m<sup>3</sup>, il est équipé de deux pompes P01/P02 : pompes de tours de séchage / absorption intermédiaire de types verticale, centrifuge et immergée avec une capacité unitaire de 1020 m<sup>3</sup>/h chacune.

De même caractéristique le bac R02 avec une capacité nominale de 43 m<sup>3</sup>, équipé d'une pompe P03 : pompe de tour d'absorption finale de type verticale, centrifuge et immergée avec une capacité unitaire de 680 m<sup>3</sup>/h

Les refroidisseurs d'acide sont de type calendrier et tubes conçu par Chemetics à l'exception de E17 conçu par MECS, protégé anodiquement côté acide et par des plaques de zinc côté eau de mer. [13]

Le volume occupé par l'acide dans les refroidisseurs E06, E07, E08, E09 et E17 est rassemblé dans **le tableau 8**

Refroidisseurs	E06	E07	E08	E09	E17
Volume d'acide m <sup>3</sup>	5.47	5.47	4.44	1.00	4.5

**Tableau 8** : Le volume d'acide occupé dans chaque refroidisseur

LV-201 : Vanne pneumatique de régulation de bac de circulation (R01), elle est asservie au niveau de bac de circulation. Lors de la production normale la consigne d'ouverture de cette vanne est que le niveau de bac de circulation (R01) dépasse 65%

## 7) Calcul théorique de la durée de vidange du circuit acide :

### • Durée de vidange des bacs de circulation R01 et R02 :

Pour réduire le niveau des bacs de 65% à 50% le volume des bacs se réduit de  $109.9 \text{ m}^3$  à  $82.7 \text{ m}^3$ . La différence entre ces deux niveaux est :  $27.2 \text{ m}^3$

Le débit envoyé par la conduite de production vers l'unité 12 est de  $70 \text{ m}^3/\text{h}$

Donc la durée nécessaire pour réduire le niveau est  $\frac{60 \cdot 27.2}{70} = 23.31 \text{ min}$

Quand les pompes P01 et P02 s'arrêtent l'acide retourne des tours d'absorption intermédiaire et de séchage le niveau des bacs augmente à 65%. La vidange se poursuit par la pompe P03 jusqu'au niveau 30%. La différence entre ces deux niveaux est :  $63.6 \text{ m}^3$

La durée nécessaire pour envoyer  $63.6 \text{ m}^3$  est  $\frac{60 \cdot 63.6}{70} = 54.5 \text{ min}$

L'arrêt de la pompe P03 entraîne un retour d'acide de la tour d'absorption finale. Le niveau d'acide dans les bacs de circulation augmente de 30% à 40%. La vidange se poursuit par la pompe 4 jusqu'au niveau 0%. La différence entre ces deux niveaux est :  $64.5 \text{ m}^3$

Le débit envoyé par la conduite de production vers l'unité 12 par la pompe P04 est de  $50 \text{ m}^3/\text{h}$

Donc la durée nécessaire pour envoyer  $64.5 \text{ m}^3$  est :  $\frac{60 \cdot 64.5}{50} = 77.4 \text{ min}$

### • Durée de vidange des refroidisseurs :

Le volume occupé par l'acide dans les refroidisseurs c'est le volume intérieur de la calandre moins le volume des tubes d'eau de mer.

Le volume d'un tube d'eau de mer de diamètre de  $D_t = 19 \text{ mm}$  donc de rayon  $R_t = 9.5 \text{ mm}$  et de longueur  $L = 9144 \text{ mm}$ :

$$V_t = \Pi \cdot R_t^2 \cdot L = \Pi \cdot (9.5 \cdot 10^{-3})^2 \cdot 9144 \cdot 10^{-3} = 0.0026 \text{ m}^3$$

### ❖ Le volume des refroidisseurs E06 et E07 :

Le diamètre intérieur de la calandre  $D_i = 991 \text{ mm}$  donc son rayon intérieur est  $R_i = 495.5 \text{ mm}$  sa longueur  $L = 9144 \text{ mm}$  [12]

$$V_{E06} = V_{E07} = \Pi \cdot R_i^2 \cdot L = \Pi \cdot (495.5 \cdot 10^{-3})^2 \cdot 9144 \cdot 10^{-3} = 7.04 \text{ m}^3$$

Le nombre des tubes d'eau de mer dans les refroidisseurs E06 et E07 est : 612 tubes

Donc Le volume occupé par l'acide dans E06 et E07 est :

$$V_a = V_{E06} - 612 * V_t = V_{E07} - 612 * V_t = 7.04 - 612 * 0.0026 = 5.47 \text{ m}^3$$

Avec un débit de 30 m<sup>3</sup>/h la durée nécessaire pour vidanger le refroidisseur E06 ou E07 est :

$$d_{E06} = d_{E07} = \frac{60 * 5.47}{30} = 10.94 \text{ min}$$

❖ Le volume des refroidisseurs E08 :

Le diamètre intérieur de la calandre  $D_i = 787 \text{ mm}$  donc son rayon intérieur est  $R_i = 393.5 \text{ mm}$  sa longueur  $L = 9144 \text{ mm}$  [12]

$$V_{E08} = \Pi * R^2 * L = \Pi * (393.5 * 10^{-3})^2 * 9144 * 10^{-3} = 4.44 \text{ m}^3$$

Le nombre des tubes d'eau de mer dans les refroidisseurs E08 est : 236 tubes

Donc le volume occupé par l'acide dans E08 est :

$$V_a = V_{E08} - 236 * V_t = 4.44 - 236 * 0.0026 = 3.83 \text{ m}^3$$

Avec un débit de 30 m<sup>3</sup>/h la durée nécessaire pour vidanger le refroidisseur E08 est :

$$d_{E08} = \frac{60 * 3.83}{30} = 7.66 \text{ min}$$

❖ Estimation du volume des refroidisseurs E09 :

Le diamètre extérieur de la calandre  $D_e = 457 \text{ mm}$  donc son rayon extérieur est  $R_e = 228.5 \text{ mm}$  sa longueur  $L = 9144 \text{ mm}$  [12]

$$V_{E09} = \Pi * R^2 * L = \Pi * (228.5 * 10^{-3})^2 * 9144 * 10^{-3} = 1.5 \text{ m}^3$$

Le nombre des tubes d'eau de mer dans les refroidisseurs E09 est : 191 tubes

Donc le volume occupé par l'acide dans E09 est :

$$V_a = V_{E09} - 191 * V_t = 1.5 - 191 * 0.0026 = 1.0004 \text{ m}^3$$

Avec un débit de 30 m<sup>3</sup>/h la durée nécessaire pour vidanger le refroidisseur E09 est :

$$d_{E09} = \frac{60 * 1.0004}{30} = 2 \text{ min}$$

❖ Estimation du volume des refroidisseurs E17 :

Le diamètre extérieur de la calandre  $D_e = 889$  mm donc son rayon extérieur est  $R_e = 444.5$  mm sa longueur  $L = 8839$  mm [9]

$$V_{E17} = \Pi * R^2 * L = \Pi * (444.5 * 10^{-3})^2 * 8839 * 10^{-3} = 5.48 \text{ m}^3$$

Le nombre des tubes d'eau de mer dans les refroidisseurs E09 est : 370 tubes

Donc le volume occupé par l'acide dans E17 est :

$$V_a = V_{E17} - 370 * V_t = 5.48 - 370 * 0.0026 = 4.51 \text{ m}^3$$

Avec un débit de  $30 \text{ m}^3/\text{h}$  la durée nécessaire pour vidanger le refroidisseur E17 est :

$$d_{E17} = \frac{60 * 4.51}{30} = 9.02 \text{ min}$$

• **Durée de vidange de la conduite de production :**

Le diamètre intérieur de la conduite de production est  $D = 150$  mm donc son rayon est  $R = 75$  mm, sa longueur varie d'une ligne à l'autre, la plus proche à l'unité 12 est la ligne (X) la longueur de la conduite de production de cette ligne est environs de  $L_{\min} = 430$  m, la plus loin est la ligne (C) avec une longueur de conduite dans les environs de  $L_{\max} = 700$  m.

❖ Estimation du volume minimum de la conduite de production :

$$V_{\min} = \Pi * R^2 * L = \Pi * (75 * 10^{-3})^2 * 430 = 7.59 \text{ m}^3$$

❖ Estimation du volume maximum de la conduite de production :

$$V_{\max} = \Pi * R^2 * L = \Pi * (75 * 10^{-3})^2 * 700 = 12.73 \text{ m}^3$$

Avec un débit de  $40 \text{ m}^3/\text{h}$  la durée minimale pour vidanger la conduite de production est :

$$D_{\min} = \frac{60 * 7.59}{40} = 11.38 \text{ min}$$

Avec un débit de  $40 \text{ m}^3/\text{h}$  la durée maximale pour vidanger la conduite de production est :

$$D_{\min} = \frac{60 * 12.73}{40} = 19.09 \text{ min}$$

Les mêmes résultats sont valables pour les conduites de renforcement elles ont les mêmes caractéristiques et le même trajet.

## 8) Les équipements de protection individuelle (EPI) adéquats :



Ecran facial (préparation acide 10% et dépotage acide 54%) :

EN 166 : 3-1,2-5-AT-K-N-3



Casque de sécurité

EN 397

Gants contre brûlure chimique (Risques chimiques, pénétration de produits chimiques liquides).

EN 374

Masque anti-gaz complet : (Préparation AMINE et ESTER 10% et contrôle interne CF)

EN 136

Filtre combiné: EN 14387, EN 143

Combinaison de protection chimique : NF EN 463 (jet liquide: EN 14387, EN 143)

La combinaison doit être serrée

Botte de sécurité (milieu acide) :

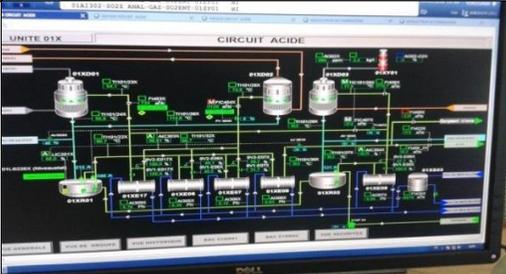
EN 20345 S5 CR HRO SRC EN 13832-3

Figure 21 : Les équipements de protection individuelle adéquats [8]

### 9) Les étapes de vidange des bacs R01 et R02 :

Opérations	Durée (min)	Resource humaine	Illustration
Vérifier que le filtre d'aspiration est nettoyé le jour J-1			
S'assurer du débouchage des vannes de vidange des refroidisseurs et des bacs le jour J			
Vérifier la mise sous tension et la disponibilité de la pompe de vidange P04 le jour J			
Réduire le niveau des bacs R01 et R02 avant l'arrêt de l'unité par la vanne LV201 de 65% à 50% manuellement et en tenant compte que le débit dans la conduite de production ne dépasse pas 70 m <sup>3</sup>			
Procéder à l'arrêt de l'unité			
Faire un soufflage de l'unité avec l'air de procédé			
Le calcul de la durée de vidange commence			
Refroidir l'acide à une température < 50°C	15	Chef d'équipe+opérateur sc	

Arrêter les pompes d'acide P01/02	5	2 Agents de chantier +opérateur sc	
Suivre la vidange par la pompe P03 jusqu'au niveau de 30% et selon l'état de cavitation de la dite pompe	54	Agent U12 + chef d'équipe	
Demander la disposition du circuit de renforcement au surveillant de l'unité de stockage :			
Ouvrir la vanne de renforcement d'U12 Ouvrir la vanne de renforcement côté Nord ou côté sud d'U12 Ouvrir les vannes de renforcement dans l'un des bacs de stockage R01/02/03/04/05/06 d'U12			
Ouvrir la vanne de vidange d'E08			
Fermer partiellement les vannes de by pass et de sortie de E08	10	2 Agents chantier	
Arrêter la pompe d'acide P03			
Ouvrir les vannes de vidange des bacs de circulation R01 et R02			
Ouvrir la vanne d'aspiration de la pompe P04			
Démarrer la pompe de vidange P04			
Ouvrir la vanne de refoulement de la pompe P04 progressivement			

Maintenir l'ampérage de la pompe de vidange à 20 A sur l'ampèremètre de la boîte à commande	77	2 Agents chantier	
Suivre le niveau des bacs d'acide en communiquant avec la salle de contrôle		2 Agents chantier + opérateur sc	
consignation électrique des pompes P01 P02 P03		Chef d'équipe	
Arrêter la pompe de vidange P04 à la chute d'ampérage (risque de cavitation de la pompe)	3	2 Agents chantier	
Fermer la vanne de refoulement de la pompe P04 pour éviter tout retour d'acide			
S'assurer de la vidange des bacs d'acide à travers les PV	10	chef d'équipe	
Ouvrir la vanne d'extrémité du collecteur de vidange			
Consigner les vannes nécessaires selon le plan de consignation	15		
Totale 3 h 9 min	189		

**10) Les étapes de vidange des refroidisseurs E06/07/08/09/17 :**

Opérations	Durée (min)	Ressource humaine	Illustration
Vérifier que le filtre d'aspiration est nettoyé le jour J-1			
Vérifier la mise sous tension et la disponibilité de la pompe de vidange P04			
S'assurer du débouchage des vannes de vidange des refroidisseurs et des bacs			
Réduire le niveau des bacs R01 et R02 avant l'arrêt de l'unité par la vanne LV201 de 65% à 50% manuellement et en tenant compte que le débit dans la conduite de production ne dépasse pas 70 m <sup>3</sup>			
Le calcul de la durée de vidange commence			
Refroidir l'acide à une température < 50°C	15	Chef d'équipe+ opérateur sc	
Arrêter les pompes d'acide P01/02 et P03 + consignation électrique	15	2 Agents chantier + Chef d'équipe	
Démontage de l'un des manomètres refoulement PI061 OU PI062 ET PI063 Ouvrir la vanne d'isolement du manomètre (pour crée la prise d'air)	10	Agent de régulation	

Ouvrir les vannes de vidange de E06/07/17/08/09	5	Agent chantier	
Ouvrir la vanne d'aspiration P04	5		
Démarrer la pompe de vidange P04			
Maintenir l'ampérage de la pompe de vidange à 20 A sur l'ampèremètre de la boîte à commande et suivre le vidange	32		
Arrêter la pompe de vidange P04 à la chute d'ampérage (risque d'une cavitation de la pompe)			
Fermer la vanne de refoulement de la pompe P04 pour éviter tout retour d'acide	5		
Ouvrir la vanne d'extrémité du collecteur de vidange	5	chef d'équipe	
Consigner les vannes nécessaires selon le plan de consignation	15		
Totale 1h 37min	107		

**11) Les étapes de vidange de la conduite de production :**

Opérations	Durée (min)	Ressources humaine	Illustration
<p>Demander la disposition du circuit de renforcement au surveillant de l'unité de stockage :</p> <p>Ouvrir la vanne de renforcement d'U12</p> <p>Ouvrir la vanne de renforcement côté Nord ou côté sud d'U12</p> <p>Ouvrir les vannes de renforcement dans l'un des bacs de stockage R01/02/03/04/05/06 d'U12</p>			
<p>(*) Renvoyez l'acide de production par la conduite de renforcement par ouverture de la vanne de vidange de E09 vers le collecteur , et ouverture de vanne d'aspiration de P04 et vanne de liaison entre aspiration et conduite de renforcement</p>			
<p>Le calcul de la durée de vidange commence</p>			
<p>Fermer les vannes d'isolement LV201</p>	<p>5</p>	<p>2 Agents chantier</p>	

Fermer les vannes des conduites de production des 6 bacs de stockage de l'unité U12 de la ligne à vidanger	20	Agent U12	
Demander la vidange côté production de l'unité de stockage Ouvrir vanne de vidange vers 12R09 ou 12R12	5		
Réduire le niveau des bacs de circulation de 65% à 50%	15	opérateur sc	
Vérifier la mise sous tension et la disponibilité de la pompe de vidange P04			
Arrêter le transfert par renforcement à l'unité 12 par fermeture de vanne de vidange E09 et vanne de liaison renforcement // aspiration	10	2 Agents chantier	
Ouvrir la vanne de vidange conduite de production			
Démarrer la pompe de vidange P04			
Ouvrir la vanne de refoulement vers R02			
Maintenir l'ampérage de la pompe de vidange à 20 A sur l'ampèremètre de la boîte à commande et suivre le vidange	15/20		
Arrêter la pompe de vidange P04 quand le niveau des bacs atteint 70%	5	2 Agents chantier + opérateur sc	
Fermer la vanne de vidange de la conduite de production		2 Agents chantier	

**12) Les étapes de vidange de la conduite de renforcement :**

Renvoyé de nouveau l'acide par conduite de renforcement jusqu'à 50% (voir étape *)	15/20	2 Agents chantier + opérateur sc	
Arrêter le transfert par renforcement à l'unité 12 par fermeture de vanne de vidange E09 et vanne de liaison renforcement // aspiration	5	2 Agents chantier	
Ouvrir la vanne de vidange conduite de production	5		
Démarrer la pompe de vidange P04	10		
Ouvrir la vanne de refoulement vers R02			
Vérifier la vidange de la conduite par le son de la conduite frappé par un morceau de fer avec la cavitation de la pompe	5		
Fermer la vanne de vidange de conduite de production pour éviter tout retour d'acide	5		
Fermer la vanne de refoulement vers R02 de la pompe P04	5	chef d'équipe	
Consigner les vannes nécessaires selon le plan de consignation	15		
Totale 2 h 25 min	145		

Opérations	Durée (min)	Ressource humain	Illustration
Vérifier que le filtre d'aspiration de la pompe de vidange P04 est nettoyé le jour J-1			
Vérifier la mise sous tension et la disponibilité de la pompe de vidange P04			
Le calcul de la durée de vidange commence			
Fermer les vannes de renforcement dans les 6 bacs de U12	20	Agnat U12	
S'assurer que les vannes de renforcement dans les autres unités sont fermées	5	2 Agents chantier	
Ouvrir les vannes de vidange de conduites de renforcement dans 12R09 ou 12R12	5	Agent U12	

Ouvrir la vanne d'aspiration liée à la conduite de renforcement (conduite en inox)	5	2 Agents chantier	
Démarrer la pompe de vidange P04			
Ouvrir la vanne de refoulement vers R02			
Maintenir l'ampérage de la pompe de vidange à 20 A sur l'ampèremètre de la boîte à commande et suivre le vidange	15/20		
Arrêter la pompe de vidange P04 indique une chute d'ampérage suivi d'une cavitation de la pompe	15		
Consigner les vannes nécessaires selon le plan de consignation		chef d'équipe	
Total	70		

La structure du standard que nous avons préparé est donnée par [11]

# Conclusion

Le travail présenté dans ce projet de fin d'études porte sur l'approche d'amélioration du rendement global de l'atelier sulfurique

Premièrement nous avons commencé par une description du procédé de fabrication d'acide sulfurique afin de mieux connaître le système de production

Ensuite nous avons attaqué le phénomène de bouchage de conduite de soufre on utilisant la méthode de résolution des problèmes qui consiste à :

- **Identifier le problème** : en utilisant la méthode de 5G et de *QQOQPC*
- **Comprendre le fonctionnement normal du système** : par l'identification des différents états de soufre et des caractéristiques des conduites qui le transporte ainsi que les caractéristiques de la vapeur de traçage alimenté à ces conduites
- **Fixer les objectifs** : les objectifs fixés pour éviter/résoudre notre problème sont : 1) éviter le bouchage des conduites; 2) si le bouchage intervient, le détecte le plus tôt possible; 3) réduire la durée des interventions de débouchage afin de limiter au minimum d'arrêt de production et éviter ainsi les pertes de production liées à l'arrêt
- **chercher les causes racines** : Concernant notre problème, les causes racines majeures sont : le mauvais fonctionnement des purgeurs, l'érosion et la corrosion des conduites, les parties des conduites sans chemisage.
- **Elaborer un plan d'action pour chaque cause racine**
- **Mis en place un plan de vérification des résultats de chaque action** : les fiches de contrôle, les check listes...
- **Pour enfin généraliser tous ces actions sur toutes les lignes sulfuriques.**

Concernent le circuit d'acide le tableau suivant montre une comparaison entre les durées de vidange avant et après le standard

Equipements	Les bacs de circulation R01 et R02	Les refroidisseurs E06 E07 E08 E09 E17	La conduite de production	La conduite de renforcement
Durée moyenne de vidange avant le standard	4h	3h	5h	1h
Durée de vidange après le standard	3 h 9 min	1h 37min	2 h 25 min	70 min

En conclusion, notre travail nous a permis de bien maîtriser les durées des arrêts et de démarrage afin de contribuer dans l'amélioration de rendement globale de l'atelier sulfurique.

## Bibliographie

[1] : Google Image

[2] : SNC LAVALIN. (2013, 02 07). Survol de procédé - Atelier sulfurique.

[3] : Manuel de constructeur MITSUI ENGINEERING & SHIPBUILDING CO.LTD

[4] : L'Institut des Savoirs; Centrale Paris. (2011). RCPS Résolution de problèmes.

[5] : A. JANES. Rubrique 1523 : Soufre Fabrication industrielle, fusion et distillation, emploi et stockage. 2003

[6] : [www.tlv.com](http://www.tlv.com)

[7] : [www.sdt.eu](http://www.sdt.eu)

[8] : Table des Leçons ponctuelles 31/03/2015

[9] : Chemetics. (s.d.). Manuel mode opératoire échangeur E17.

[10] : L'Union des Industries Chimiques; l'Union Française des Industries Pétrolières; l'Association Française des Gaz Comprimés;. (2012). Guide Technique Professionnel pour l'inspection des tuyauteries en exploitation.

[11] : M.AYAD. (2013). *STANDARD Pénétration dans les Espace Confiné.*

[12] : MECS. (s.d.). Manuel mode opératoire échangeurs E06 E07 E08 E09.

[13] : SNC LAVALIN. (2013, 02 06). Circuit acide - Procédé détaillé.

## Annexes

Annexe [1]: Diagramme de phase de soufre

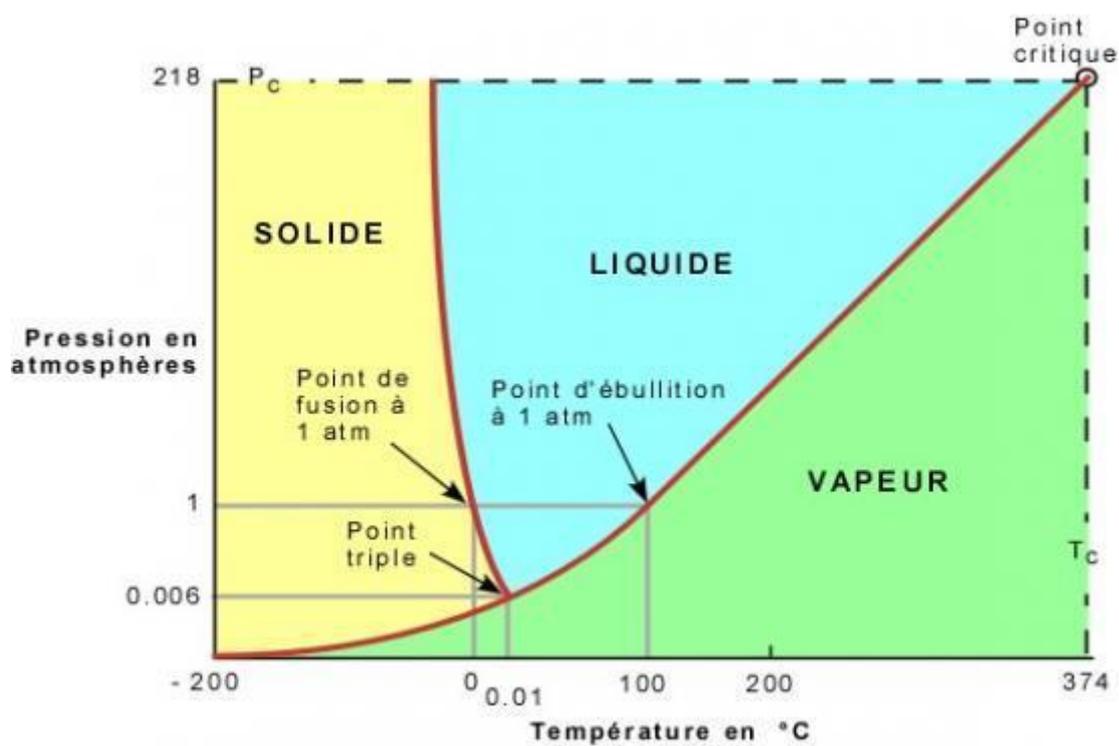
Annexe [2]: Fiche d'inspection des conduites de soufre pour l'atelier de production d'acide sulfurique [10]

Annexe [3]: Fiche d'inspection des conduites de soufre pour bureau de méthode [10]

Annexe [4]: Volume hauteur et poids en fonction de niveau de liquide des bacs de circulation

Annexe [5]: Check liste vidange du circuit soufre

# Annexe [1]: Diagramme de phase de soufre



Annexe [2]: Fiche d'inspection des conduites de soufre pour l'atelier de production d'acide

<b>Repère tuyauterie :</b>	<b>N° Rapport :</b>
<b>Localisation</b> (Venant de ..... Allant vers.....)	
<b>Statut réglementaire :</b>	Visité par : _____ Date : _____ Signature : _____
	Validé par : _____ Date : _____ Signature : _____

<b>Inspection :</b> Repérer anomalies rencontrées sur schémas	Les faits	Plan d'action	
		oui	non
<b>Aspect général externe de la tuyauterie :</b> Aspect / état apparent / déformations du calorifuge :	..... ..... ..... .....		
<b>Supportage :</b> Etat général pour tous types de supports	..... ..... .....		
<b>Accessoires - boulonnerie – robinetterie :</b> Etat général des accessoires installés sur la tuyauterie les purgeurs en particulier	..... ..... ..... .....		

CONCLUSIONS ET RECOMMANDATIONS	COMMENTAIRES
<b>Conclusions :</b> Evaluation de l'état de la tuyauterie à partir des résultats des examens visuels  Autorisation de maintien / remise en service	..... ..... ..... .....
<b>Recommandations :</b> Contrôles complémentaires Travaux de remise en état Adaptation des conditions de service Modification du programme de contrôle (plan d'inspection)	..... ..... ..... ..... .....

Annexe [3]: Fiche d'inspection des conduites de soufre pour bureau de méthode

<b>Repère tuyauterie :</b> <b>Localisation</b> (Venant de ..... Allant vers.....)		<b>N° Rapport :</b>
<b>Pièce joint :</b> Schémas avec détail des constatations .....		Visité par :      Date : Signature :
PV CND .....		Validé par :      Date : Signature :
Autre (préciser) .....		

<b>Inspection :</b> Repérer anomalies rencontrées sur schémas	Les faits	Plan d'action	
		oui	non
<b>CND réalisés - préciser référence des rapports :</b>  mesures US radiographies ressuage autres : préciser	..... ..... ..... ..... .....		

CONCLUSIONS ET RECOMMANDATIONS	COMMENTAIRES
<b>Conclusions :</b>  Evaluation de l'état de la tuyauterie à partir des résultats des examens des CND  Autorisation de maintien / remise en service	..... ..... ..... .....
<b>Recommandations :</b>  Contrôles complémentaires Travaux de remise en état Adaptation des conditions de service Modification du programme de contrôle (plan d'inspection)	..... ..... ..... .....

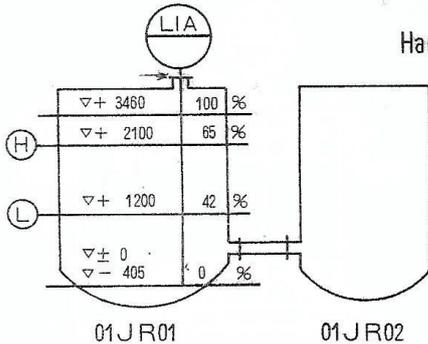
# Annexe [4]: Volume hauteur et poids en fonction de niveau de liquide des bacs de circulation

SALLE DE  
CONTROLE

## NIVEAU DU LIQUIDE DES BAC DE CIRCULATION

ITEM NO. : 01JR01/01JR02

POURCENTAGE (%)	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
0	HAUTEUR									
	VOLUME									
	POIDS									
10	HAUTEUR					175	213	252	291	329
	VOLUME					19.1	20.9	22.7	24.5	26.3
	POIDS					33.6	36.8	40	43.2	46.4
20	HAUTEUR	368	407	445	484	523	561	600	639	678
	VOLUME	28.2	30	31.8	33.6	35.4	37.2	39.1	40.9	42.7
	POIDS	49.6	52.8	56	59.2	62.4	65.5	68.7	71.9	75.1
30	HAUTEUR	754	793	832	870	909	948	986	1025	1064
	VOLUME	46.3	48.1	50	51.8	53.6	55.4	57.2	59	60.9
	POIDS	81.5	84.7	87.9	91.1	94.3	97.5	100.7	103.9	107.1
40	HAUTEUR	1141	1180	1218	1257	1296	1334	1373	1412	1450
	VOLUME	64.5	66.3	68.1	69.9	71.8	73.6	75.4	77.2	79
	POIDS	113.5	116.7	119.9	123.1	126.3	129.5	132.7	135.9	139.1
50	HAUTEUR	1527	1566	1605	1643	1682	1721	1759	1798	1837
	VOLUME	82.7	84.5	86.3	88.1	89.9	91.7	93.6	95.4	97.2
	POIDS	145.5	148.7	151.9	155.1	158.3	161.5	164.7	167.8	171
60	HAUTEUR	1914	1953	1991	2030	2069	2107	2146	2185	2223
	VOLUME	100.8	102.6	104.5	106.3	108.1	109.9	111.7	113.5	115.3
	POIDS	177.4	180.6	183.8	187	190.2	193.4	196.6	199.8	203
70	HAUTEUR	2301	2339	2378	2416	2455	2494	2532	2571	2610
	VOLUME	119	120.8	122.6	124.4	126.2	128.1	129.9	131.7	133.5
	POIDS	209.4	212.6	215.8	219	222.2	225.4	228.6	231.8	235
80	HAUTEUR	2687	2726	2764	2803	2842	2880	2919	2958	2996
	VOLUME	137.1	139	140.8	142.6	144.4	146.2	148	149.9	151.7
	POIDS	241.4	244.6	247.8	251	254.2	257.4	260.6	263.8	267
90	HAUTEUR	3074	3112	3151	3189	3228	3267	3305	3344	3383
	VOLUME	155.3	157.1	158.9	160.8	162.6	164.4	166.2	168.0	169.8
	POIDS	273.3	276.5	279.7	282.9	286.1	289.3	292.5	295.7	298.9
100	HAUTEUR	3460								
	VOLUME	173.5								
	POIDS	305.3								



$$\text{Hauteur du Liquide (MM)} = \frac{3460 + 405}{100} \times \text{Pourcentage}(\%) - 405$$

$$= (38.65 \times \%) - 405$$

$$\text{Volume (M}^3\text{)} = 19.10 + \frac{\pi(D_1^2 + D_2^2)}{4} \times \frac{(\text{Hauteur d liquide} - 174.75)}{100}$$

$$= 19.10 + 46.93 \times (H - 174.75) / 100$$

$$= 0.04693H + 27.3$$

Points d'alarme

Point Haut : 65% (▽ + 2100MM)

Point Bas : 42% (▽ + 1200MM)

Gamme de Veritication

100% Position: ▽ + 3460MM

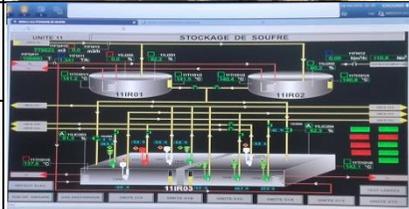
0% Position: ▽ - 405MM

$$\text{Poids (Tonne)} = 1.76(T/M^3) \times \text{Volume}(M^3)$$

(107°C, H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>)

1.35

### Annexe [5]: Check liste de vidange circuit soufre

Phases	Opérations	Vérification	Photos
débouchage du piquage de vidange de filtre à soufre	Mettre un fut de récupération au niveau du piquage de vidange de filtre à soufre		
	Mettre à disposition la bouteille de butane et le flambard		
	Ouvrir la vanne d'isolement du drain du filtre à soufre		
	Utiliser éventuellement le flambard pour chauffer les gorges non chemisées de la conduite du drain du filtre à soufre		
	S'assurer du passage de soufre à travers le drain du filtre à soufre		
	Refermer la vanne d'isolement de drain du filtre à soufre		
réduction de cadence pour arrêt	Réduire la cadence jusqu'à 9 m3/h de soufre		
	Arrêter la pompe de soufre		
	Ouvrir les vannes des 5 bruleurs de soufre pendant la phase de soufflage		
	Garder la vanne de refoulement de la pompe de soufre ouverte		
	Continuer le soufflage de l'unité pendant 15 min		
vidanger le circuit de filtre à soufre	Maintenir le circuit de vapeur de traçage		
	Garder ouvertes les vannes des bruleurs à soufre		

	<p>Garder ouvert la deuxième vanne d'isolement du filtre à soufre</p>		
	<p>Garder ouvert la vanne de by passe de TV113</p>		
	<p>Fermer la première vanne d'isolement du filtre à soufre</p>		
	<p>Ouvrir la vanne de drain du filtre à soufre</p>		
	<p>Contrôler le passage du soufre à travers le drain du filtre à soufre</p>		
	<p>Utiliser le flambard pour chauffer les gorges non chemisées de la conduite de piquage de vidange du filtre à soufre si nécessaire</p>		