



Licence Sciences et Techniques (LST)

# GENIE CHIMIQUE

## PROJET DE FIN D'ETUDE

Etude de l'évolution du taux de conversion du dioxyde en trioxyde de soufre en fonction de la cadence de production

Présenté par :

◆ NADAH Zakaria

Encadré par :

◆ Mr EL SOSSA Mouhsine (OCP)

◆ Pr MELIANI Abdeslem (FST)

**Soutenu Le 06 Juin 2017 devant le jury composé de:**

- Pr A. MELIANI

- Pr A. BOULAHNA

- Pr K. MOUGHAMIR

**Stage effectué à OCP JORF LASFAR**

**Année Universitaire 2016 / 2017**

*Dédicace*  
*Remerciements*

Liste des figures

Liste des tableaux

Glossaire

INTRODUCTION GENERALE : ..... 1

**CHAPITRE I : PRESENTATION D'ORGANISME D'ACCUEIL..... 2**

**Introduction : ..... 3**

**I. PRESENTATION DU GROUPE OCP : ..... 3**

1. HISTORIQUE DU GROUPE OCP : ..... 4

2. STATUT JURIDIQUE DE L'OCP : ..... 4

3. MISSIONS DU GROUPE OCP : ..... 5

4. FILIALES DU GROUPE OCP : ..... 6

**II. PRESENTATION DU COMPLEXE INDUSTRIEL DE JORF LASFAR : ..... 6**

**III. UNITE D'ACCUEIL JORF FERTILIZER COMPANY 2 (JFC2) : ..... 7**

1. PRESENTATION DES PROJETS JFC : ..... 7

2. DESCRIPTION GENERALE DES ATELIERS CONSTITUTIFS DE L'JFC 2 : ..... 7

**CHAPITRE II : DESCRIPTION DU PROCEDE DE FABRICATION D'ACIDE SULFURIQUE ..... 10**

**I. APERÇU GENERAL SUR L'ACIDE SULFURIQUE : ..... 11**

1. INTRODUCTION ..... 11

2. HISTORIQUE : ..... 11

3. UTILISATION DE L'ACIDE SULFURIQUE : ..... 11

4. PROPRIETES PHYSICO-CHIMIQUES : ..... 12

**II. PROCEDE DE FABRICATION D'ACIDE SULFURIQUE A JFC 2 : ..... 13**

RAPPEL : PROCEDE DE CONTACT ..... 13

1. FILTRATION DU SOUFRE ..... 14

2. SECHAGE DE L'AIR ..... 15

3. COMBUSTION DU SOUFRE ..... 16

4. CONVERSION DE SO<sub>2</sub> EN SO<sub>3</sub> : ..... 17

5. ABSORPTION DU GAZ SO<sub>3</sub> ET FORMATION DE H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> : ..... 20

6. DILUTION ET REFROIDISSEMENT DE L'ACIDE PRODUIT : ..... 22

**CHAPITRE III : ETUDE DE L'EVOLUTION DU TAUX DE CONVERSION EN FONCTION DE LA CADENCE .... 23**

**Introduction : ..... 24**

**I. METHODES D'ANALYSE DES GAZ SULFURIQUES : ..... 24**

**TEST DE REICH : ..... 24**

1. PRINCIPE : ..... 24

2. OBJECTIF : ..... 24

3. DOMAINE D'APPLICATION : ..... 24

4. APPAREILLAGES ..... 24

5. REACTIFS ..... 25

6. MODE OPERATOIRE : ..... 25

7. MONTAGE DE TEST DE REICH : ..... 26

8. EXPRESSION DES RESULTATS : ..... 27

**II. L'EVOLUTION DU TAUX DE CONVERSION : ..... 29**

1. GENERALITES : ..... 29

2.	COMMENT PEUT-ON AGIR SUR LA POSITION D'UN EQUILIBRE CHIMIQUE ?	29
A.	LA DIMINUTION DE LA TEMPERATURE :	30
B.	L'EXCES DE L'UN DES REACTIFS (EFFET DES CONCENTRATIONS):	30
III.	L'ETUDE DE L'EVOLUTION DU TAUX DE CONVERSION EN FONCTION DE LA CADENCE :	31
	<b>Introduction</b>	<b>31</b>
1.	LE TAUX DE CONVERSION POUR LA CADENCE 65% :	31
2.	LE TAUX DE CONVERSION A LA CADENCE 100 % :	32
3.	INTERPRETATION :	32
	<b>Conclusion générale</b> :	<b>33</b>
	<b>Bibliographie</b> :	<b>33</b>

# *Dédicace*

*A mes très chers parents,*

*A toute ma famille,*

*Je vous dédie cet humble travail*

## Remerciements

*Quelque soient les remerciements et les compléments présentés, il reste insuffisant de refléter mes remerciements à l'égard des personnes qui m'ont de loin ou de près aidé à la confection et à la concrétisation de ce modeste travail.*

*Avant d'entamer ce rapport que j'espère portera satisfaction à toute personne qui le feuillettera, je tiens à remercier **Mr. EL SOSSA MOUHSINE**, mon encadrant de stage, d'avoir accepté de m'accorder un stage au sein de la JFC2 ainsi que pour son encadrement, son aide précieuse, ses conseils et sa coopération.*

*Je remercie infiniment et tout particulièrement mon encadrant pédagogique **Mr. MELIANI ABDESLEM**, pour son encadrement, sa disponibilité, son orientation, son aide précieuse et ses précieux conseils.*

*Je remercie **Madame MOUGHAMIR KHADIJA** et **Mr. BOULAHNA AHMAD** qui me font l'honneur d'être le membre du jury.*

*Mes chaleureux remerciements s'adressent à **Monsieur Ahmad HARRACH**, responsable de la Licence Sciences et Techniques « Génie Chimique » pour ses efforts considérables pour le bon déroulement et la réussite de la formation.*

*. Je souhaiterais remercier infiniment **Monsieur Moulay Abdellah NAJI**, chef d'atelier sulfurique, pour son accueil, sa disponibilité, son aimable collaboration et pour son aide dans la rédaction de mon rapport.*

*Je remercie chaleureusement les membres du corps administratif et professoral de la FSTF et tout particulièrement les enseignants du département de Chimie.*

*Finalement, mes vifs remerciements s'adressent à tout le personnel de l'atelier SAP, pour leur chaleureux accueil et leur rôle dans mon intégration dans leur équipe.*

## Liste des figures

<b>Figure 1.</b> Zoning plateforme de JFC2 .....	7
<b>Figure 2.</b> Schéma générale du mode de fonctionnement de JFC2.....	8
<b>Figure 3.</b> Schéma générale de la production d'acide sulfurique.....	13
<b>Figure 4.</b> Schéma de circuit du soufre liquide .....	14
<b>Figure 5.</b> La conduite du soufre fondu.....	15
<b>Figure 6.</b> Schéma de la tour de séchage.....	16
<b>Figure 7.</b> Schéma de circuit Gaz (Combustion).....	17
<b>Figure 8.</b> Schéma représentatif du convertisseur .....	18
<b>Figure 9.</b> Schéma de circuit Gaz (Conversion).....	18
<b>Figure 10.</b> Les réactions produites au niveau du catalyseur .....	19
<b>Figure 11.</b> La réaction produite au niveau de l'absorption.....	20
<b>Figure 12.</b> Schéma de montage pour l'analyse de SO <sub>2</sub> dans les gaz sulfureux .....	26
<b>Figure 13.</b> Courbe d'évolution du taux de conversion en fonction de la cadence .....	33

## Liste des tableaux

<b>Tableau 1.</b> Propriétés physico-chimiques de l'acide sulfurique .....	12
<b>Tableau 2.</b> Les taux de conversion de chaque masse du réacteur catalytique .....	20
<b>Tableau 3.</b> Température d'entrée/Sortie de chaque masse de convertisseur.....	31
<b>Tableau 4.</b> Les taux de conversion pour la cadence 65% .....	32
<b>Tableau 5.</b> Les taux de conversion pour la cadence 100% .....	33



---

# Glossaire

**OCP** : Office Chérifien des Phosphates.

**JFC 2** : JORF FERTILZERS COMPANY 2.

**TED** : Unité de traitement des eaux douces.

**CTE** : Centrale Thermo-Electrique.

**SAP** : Atelier de production de l'acide sulfurique.

**PAP** : Atelier de production de l'acide phosphorique.

**DAP** : Atelier de production des engrais di ammonium phosphate

**HRS** : Heat Recovery System (système de récupération de chaleur).

## Introduction générale :

L'unité de production d'acide sulfurique est un atelier stratégique dans le processus de fabrication d'acide phosphorique. De sa bonne marche dépend la performance de toute l'usine. Le procédé de fabrication d'acide sulfurique est constitué de 4 étapes : stockage du soufre liquide ; sa combustion ; la conversion de  $\text{SO}_2$  produit en  $\text{SO}_3$  et l'absorption du gaz  $\text{SO}_3$  pour avoir Acide Sulfurique.

Dans le cadre de mon stage de fin d'étude, mon sujet a pour but d'étudier l'impact de l'augmentation de la cadence de production d'acide sulfurique 98,6% sur les performances de la ligne, et en particulier sur le taux de conversion, ils ont procédé à des essais industriels d'augmentation de la cadence au niveau de la chambre de combustion par étapes : 65%, 100%, ... jusqu'à atteindre la limitation.

L'étude comporte sur le suivi d'analyses des gaz du taux de conversion avant et après l'augmentation de la cadence de production.

Ce rapport est structuré en trois parties :

- La première partie de ce mémoire sera consacrée à la présentation de l'organisme d'accueil.
- La deuxième partie sera dédiée à la description du procédé de fabrication d'acide sulfurique à l'atelier JFC2.
- La troisième partie sera réservée à l'étude de l'évolution du taux de conversion en fonction de la cadence.

Une conclusion générale sera présentée à la fin de ce rapport.



# Chapitre I :

**Présentation d'organisme d'accueil**

## **Introduction :**

Le Maroc est l'un des pays qui dispose d'une grande et importante réserve en minéraux du phosphate, ceci représente les trois quarts des mondiales. Pour profiter de ces ressources le Groupe OCP (office chérifien des phosphate) était crée au début pour l'extraction et l'exportation du phosphate, et après pour le valoriser et augmenter son cout du revient on a pensé à son exploitation et son traitement avant de l'exporter.

### **I. Présentation du groupe OCP :**

Le Maroc possède les réserves les plus importantes de phosphate dans le monde, elles sont de l'ordre de 51.8 Milliards de Tonnes de Minerai, ce qui représente 75% des réserves mondiales. Pour profiter de ces ressources le groupe OCP (Office Chérifien des Phosphates) était créé, le groupe est spécialisé dans l'extraction, la valorisation, et la commercialisation de Phosphate et de ses dérivées. Chaque année, plus de 23 millions de tonnes de minerais sont extraits du sous-sol marocain qui recèle les trois-quarts des réserves mondiales.

Principalement utilisé dans la fabrication des engrais, le phosphate provient des sites de Khouribga, Benguerir, 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 livré aux industries chimiques du Groupe, à Jorf Lasfar ou à Safi, pour être transformé en produits commercialisables : acide phosphorique de base, acide phosphorique purifié, engrais solides.

Moteur de l'économie nationale, le Groupe OCP joue pleinement son rôle d'entreprise citoyenne. Cette volonté se traduit par la promotion de nombreuses initiatives, notamment en faveur du développement régional et de la création d'entreprise.

Dans un contexte de concurrence accrue, le Groupe OCP poursuit la politique de consolidation de ses positions traditionnelles et développe de nouveaux embouchés.

Avec une exigence sans cesse réaffirmée : améliorer la qualité de ses produits tout en maintenant un niveau élevé en matière de sécurité et de protection de l'environnement.

## 1. Historique du groupe OCP :

Le Groupe OCP depuis **1975** a évolué sur le plan juridique, pour devenir en **2008** une société anonyme dénommée « OCP S.A ».Voici des étapes marquantes dans l'histoire de ce groupe :

- **1920** : Création de l'Office Chérifien des phosphates.
- **1921** : Début d'exploitation du 1<sup>er</sup> site d'extraction à Khouribga.
- **1931** : Début d'exploitation du gisement des Gantour à Youssoufia.
- **1975** : Prise en charge des exploitations des phosphates à Boucrâa.
- **1979** : Début d'exploitation de la zone minière de Benguérir.
- **1981** : Démarrage à Safi des installations de Maroc-Phosphore I - II.
- **1986** : Démarrage à Jorf Lasfar des installations de Maroc-Phosphore III – IV.
- **1997** : Démarrage d'Emaphos.
- **1999** : Démarrage d'Imacid.
- **2000** : Démarrage de l'unité de flottation de phosphate à Khouribga.
- **2002** : Prise de participation, dans le cadre d'une joint-venture Groupe OCP Groupe BIRLA, dans la Société PPL (**Inde**).
- **2006** : Construction de l'usine PMP (**Pakistan Maroc Phosphore**) d'une ligne pour la fabrication d'acide phosphorique en partenariat avec le Pakistan.
- **2007** : Construction de l'usine BMP (**Brésil Maroc Phosphore**) d'une ligne pour la fabrication d'acide phosphorique en partenariat avec le Brésil.
- **2011** : Démarrage de plusieurs unités industrielles (**Laverie MerahLahrach, STEP**).
- **2015** : Démarrage de la 1<sup>ère</sup> unité JFC pour la production d'engrais (**JFC1**).
- **2016** : Démarrage de la 2<sup>ème</sup> unité JFC pour la production d'engrais (**JFC2**).

## 2. Statut juridique de l'OCP :

L'**OCP** a été constitué sous forme d'organisme semi-public sous le 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 directeur et contrôlé par un conseil d'administration présidé par le Premier ministre.

**Sur le plan fiscal**, il est inscrit sur le registre de commerce et donc soumis à la même obligation que d'autres entreprises privées.

**Sur le plan financier**, l'office est entièrement indépendant de l'état. Chaque année, le groupe établit son bilan, son compte d'exploitation et ses prix de revient, et le groupe, participe au budget de l'état par le versement de dividendes.

Toutefois, cet organisme connaît ces dernières années, une certaine tendance vers des partenariats étrangers (**IMACID**, **EMAPHOS** et **PAKPHOS**).

### 3. Missions du groupe OCP :

OCP maîtrise toute la chaîne de création de valeur de l'industrie phosphatée : extraction et traitement du minerai, transformation de cette matière première en un produit liquide intermédiaire, l'acide phosphorique, et fabrication des produits finis par concentration et granulation de cet acide ou par purification : engrais, acide phosphorique purifié.

Les principales activités de l'OCP sont :

- **La prospection** : Elle consiste à faire le forage pour délimiter le gisement, s'informer sur l'épaisseur des couches et leur teneur.
- **La production** :
  - **L'extraction** : Elle s'effectue de deux manières qui dépendent du site, puisque le phosphate se présente sous forme de couches quasi-horizontales séparés par des intercalaires stériles) soit par voie souterraine.
  - **Le Traitement** : Le phosphate extrait subit un enrichissement de façon à éliminer la gangue et réduire la teneur de certaines impuretés.
- **La valorisation** : Suivant l'évolution du continu du marché mondial des phosphates de la matière brut vers l'acide phosphorique et les engrais, le groupe OCP a Concentré ses efforts sur la transformation sur place des phosphates en produit semi-fini (acide phosphorique) ou fini (les engrais).
- **La commercialisation** : Le phosphate est vendu selon la demande des clients aux cinq continents de la planète soit brut soit après traitement, les exportations représentent 15 à 30% du commerce international du phosphate et de ses dérivés.

#### 4. Filiales du groupe OCP :

Dans le but de diversification de son activité et afin de bénéficier d'une meilleure gestion de la richesse que l'office a l'obligation de fructifier pour l'intérêt public, ce dernier a créé plusieurs filiales qui forme à ce jour le groupe OCP, à savoir :

- **CERPHOS** : Centre d'Etudes et de Recherche des Phosphates minéraux, sa mission est d'organiser et exécuter toute activité d'analyse, d'étude et de recherche scientifique et technique.
- **MARPHOCEAN** : Il est spécialisé dans le transport maritime de l'acide phosphorique, les engrais et d'autres produits chimiques.
- **SOTREG** : Société de Transport Régional, est chargée du transport du personnel du groupe OCP.
- **PHOSBUCRAÄ** : Sa mission est l'extraction, le traitement et l'expédition du phosphate

## II. Présentation du complexe industriel de JORF LASFAR :

Le complexe des industries chimiques de JORF LASFAR a été mis en exploitation en 1986. Il est situé à 24 Km au sud de la ville d'El Jadida avec une superficie globale de 1 835 ha. Le site a l'avantage de la proximité de l'un des plus importants ports du Royaume. Le site de JORF LASFAR regroupe les industries Chimiques de valorisation de minerais de phosphates et de production des engrais phosphatés et /ou azotés. Les produits commercialisés par le site sont :

- L'acide phosphorique ordinaire qualité engrais ;
- L'acide phosphorique purifié qualité alimentaire ;
- Les engrais.

### III. Unité d'accueil JORF FERTILIZER COMPANY 2 (JFC2) :

#### 1. Présentation des projets JFC :

Les projets « JFC », abréviation de « JORF FERTILIZER COMPANY » s'inscrivent dans le cadre d'une ambitieuse stratégie industrielle mise en œuvre par le Groupe Office Chérifien des Phosphates « OCP » dès 2010. Ces projets en cours de réalisation sur le complexe de Jorf Lasfar, visent à construire dix nouvelles plateformes industrielles intégrées de production des engrais phosphatés destinés aux investisseurs étrangers. L'ensemble des projets JFC constitue le futur plus grand complexe de production d'engrais phosphatés au monde. Il est l'une des réalisations les plus emblématiques dans le secteur industriel marocain. L'objectif majeur de ces projets est d'accroître la capacité de production chimique du groupe OCP pour conquérir de nouveaux marchés à l'échelle internationale ainsi qu'accompagner la demande mondiale en fertilisants.

Le projet **JFC2** est un ensemble chimique de production, son activité principale est la fabrication et la commercialisation d'acide phosphorique (**PAP**) et les engrais (**DAP**).

Il est composé des ateliers suivants :

- Atelier Acide sulfurique (**SAP**) et Utilités (**CTE et TED**).
- Atelier Acide phosphorique (**PAP**).
- Atelier Engrais (**DAP**).

#### 2. Description générale des ateliers constitutifs de l'JFC 2 :

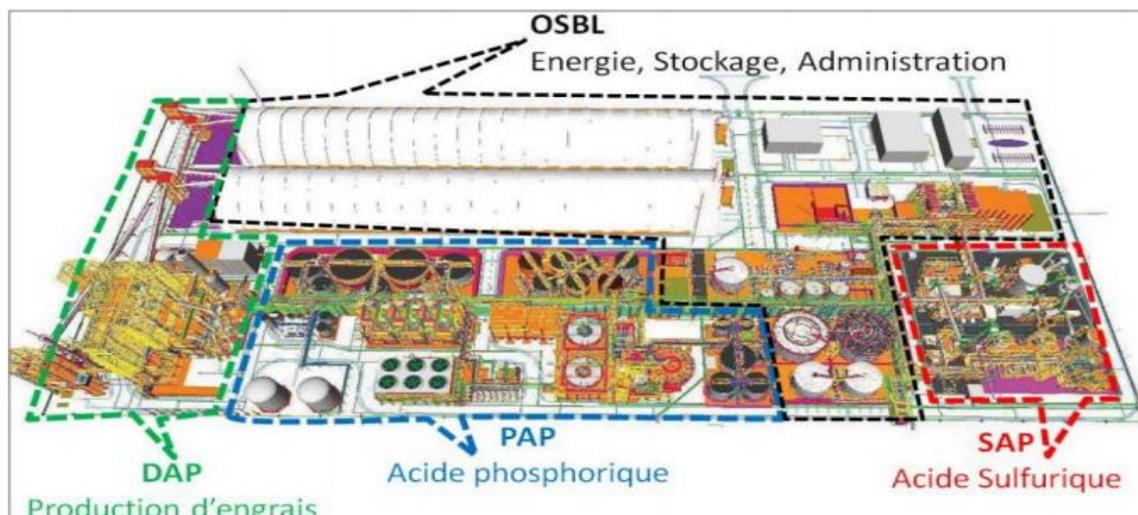


Figure 1: Zoning plateforme de JFC2

Les ateliers de JFC2 décrits précédemment fonctionnent en série : ils sont donc liés entre eux et leur interaction est représentée sur la figure suivante :



Figure 2: Schéma générale du mode de fonctionnement de JFC2

### Unité 1 : Sulfuric Acid Plant (SAP)

L'unité sulfurique de JFC est conçue pour produire de l'acide sulfurique, qui entre dans la fabrication de l'acide phosphorique. Les étapes d'oxydation et d'absorption qui rentrent dans la fabrication de l'acide sulfurique à partir du soufre comme matière première sont hautement exothermiques. Ces excès de chaleur générés à chaque étape du procédé sont récupérés par le système de récupération de la chaleur HRS, permettant ainsi de produire de l'électricité.

### Unité 2 : Outside Battery Limits (OSBL)

L'unité OSBL se divise en deux unités Centrale Thermique Électrique (CTE) et Traitement des Eaux Douce (TED) ; elle permet d'alimenter les unités SAP, PAP et DAP par toutes les utilités nécessaires pour leur fonctionnement. Ce lot est composé de :

- Stockage de soufre liquide, d'acide sulfurique et du diesel
- Distribution de vapeur (HP, MP, BP)
- Compresseurs d'air comprimé
- Eau brute, traitement des eaux, eau de mer
- Bâtiments électrique/contrôle (SAP, PAP, DAP, eau, secours)

### Unité 3 : Phosphoric Acid Plant (PAP)

L'usine de l'acide phosphorique est destinée pour produire 450,000 t/an en P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> de concentration de 28% et de 54% en acide phosphorique.



#### **Unité 4 : Di-Ammonium Phosphat (DAP)**

L'unité d'engrais est conçue pour la fabrication du DAP (Di-ammonium des phosphates) avec une capacité annuelle de 950.000 tonnes. Le DAP contient les éléments

fertilisant principaux que nécessite la croissance des plantes. Ce type d'engrais est commercialisé dans le marché international.

# Chapitre II :

## Description du procédé de fabrication d'acide Sulfurique

## I. Aperçu général sur l'acide Sulfurique (1) :

### 1. Introduction

L'acide sulfurique est un liquide incolore, inodore, visqueux .C'est un produit oxydant et déshydratant.il réagit vivement avec de nombreuses matières organiques, les métaux en poudre, les carbures, les chlorates, les chromates, les nitrates etc...., en produisant une très grande quantité de chaleur .la réaction peut être explosive.

### 2. Historique :

La première référence à l'acide sulfurique peut être attribuée à Jabir Ibn Hayan au VIII<sup>e</sup> siècle, à propos de la distillation du vitriol Vert. En 1570, Dornaeus établissait certaines de ses propriétés. Libavius présentait différentes méthodes de préparation en 1595. L'utilisation du salpêtre dans la fabrication fut considérée comme un progrès (1666). En 1740, Ward commençait une production à grande échelle en Angleterre en brûlant du soufre en présence de salpêtre.

### 3. Utilisation de l'acide Sulfurique :

Parmi les utilisations de l'acide sulfurique, on peut citer :

- Fabrication d'acide phosphorique par attaque du phosphate de calcium.
- Fabrication d'engrais tels que les superphosphates, le sulfate d'ammonium.
- Industrie des textiles artificiels.
- Traitement des minerais.
- Synthèse de composés chimiques (colorants, explosifs, détergents, divers sels, autres acides...).
- Raffinage du pétrole.
- Batteries au plomb ( $H_2SO_4$  est alors connu sous le nom d'« acide de batterie »).
- Industrie du traitement de surface des matériaux etc.

#### 4. Propriétés Physico-chimiques :

Les propriétés physico-chimiques et thermodynamiques de l'acide sulfurique sont consignées dans le tableau ci-dessous :

Tableau 1: propriétés physico-chimiques de l'acide sulfurique.

Formule brute	H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>
Masse molaire (g.mol <sup>-1</sup> )	98,078
PKa	-3,0 et 1,9
Moment dipolaire (D)	2,72
Diamètre moléculaire (nm)	0,487
T° fusion (°C)	100 % : 10,31 98 % : 3 93 % : -32 78 % : -38 74 % : -44 65 % : -64
T° ébullition (°C)	340
Solubilité	Miscible avec l'eau et l'alcool (réaction exothermique)
Masse volumique (g.cm <sup>-3</sup> )	1,8302
S <sup>0</sup> <sub>(liquide,1bar)</sub> (J/mol K)	19
Δ <sub>f</sub> H <sup>0</sup> <sub>(liquide)</sub> (kJ/mol)	- 814

## II. Procédé de fabrication d'acide sulfurique à JFC 2 :

L'atelier sulfurique de **JFC2** a pour but la production de l'acide sulfurique et la vapeur HP et BP. La préparation industrielle de l'acide sulfurique à JFC 2 se fait selon le procédé de contact « MONSANTO ».

### Rappel : Procédé de contact (2)

Découvert en 1831 en Angleterre, il s'agissait de l'oxydation de l'anhydride sulfureux ( $\text{SO}_2$ ) en anhydride sulfurique ( $\text{SO}_3$ ) sur un catalyseur au platine. Cette réaction n'a été adoptée par l'industrie, qu'en 1872, début du développement du procédé de contact.

Le catalyseur au pentoxyde de vanadium apparaît en 1913 et remplace progressivement le catalyseur au platine pour son insensibilité aux poisons. C'est le procédé universellement utilisé de nos jours dans la production de l'acide sulfurique.

Ce qui suit est donc la description du procédé de contact utilisant comme catalyseur le pentoxyde de vanadium, pour l'obtention de l'acide sulfurique concentré.

Le procédé par contact est basé sur trois étapes principales pour la transformation du soufre en acide sulfurique. **Le schéma suivant résume tout le procédé :**

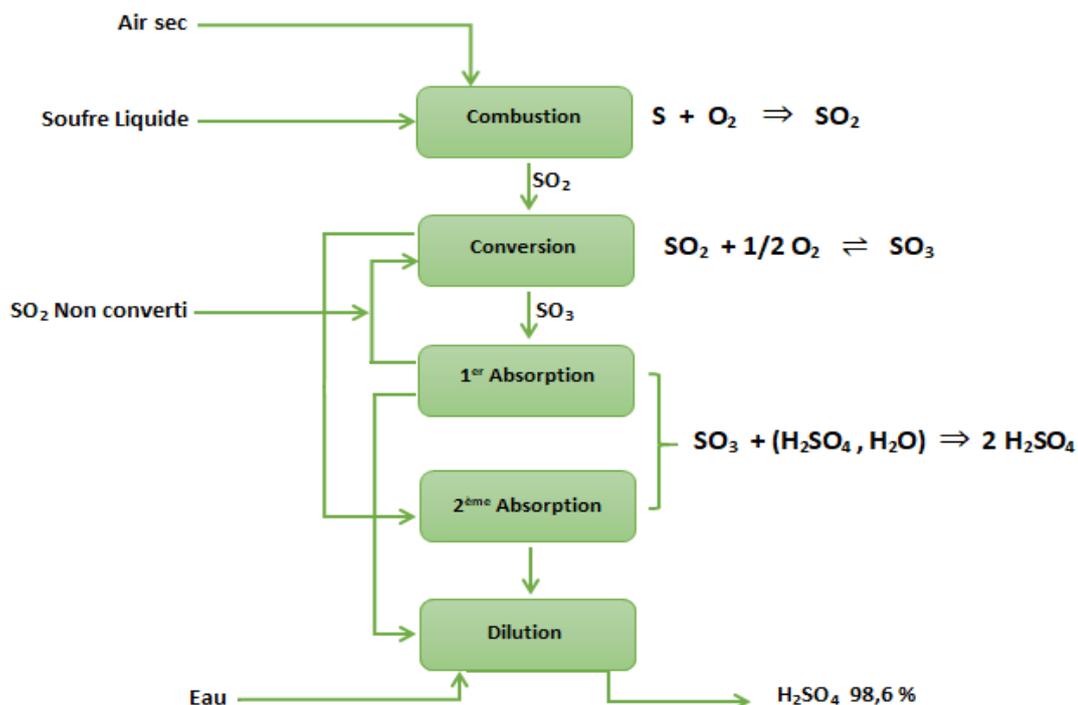


Figure 3: Schéma générale de la production d'acide sulfurique.

## 1. Filtration du soufre :

Ce procédé emploie comme matière première le soufre élémentaire, d'une pureté de 99,5%, livré à l'usine en morceaux transformés en soufre liquide dans l'unité 51 au port. Ce liquide est stocké dans un bac de grande capacité (Bac de Stockage A). Le soufre liquide non filtré est acheminé par gravité à la fosse 1. À l'aide des pompes immergées dans la fosse le soufre subit une filtration par deux filtres parallèle avant d'alimenter vers le bac de stockage B, puis le soufre liquide filtré est acheminé par gravité à la fosse 2 où à l'aide des pompes le soufre liquide filtré est alimenté vers le four.

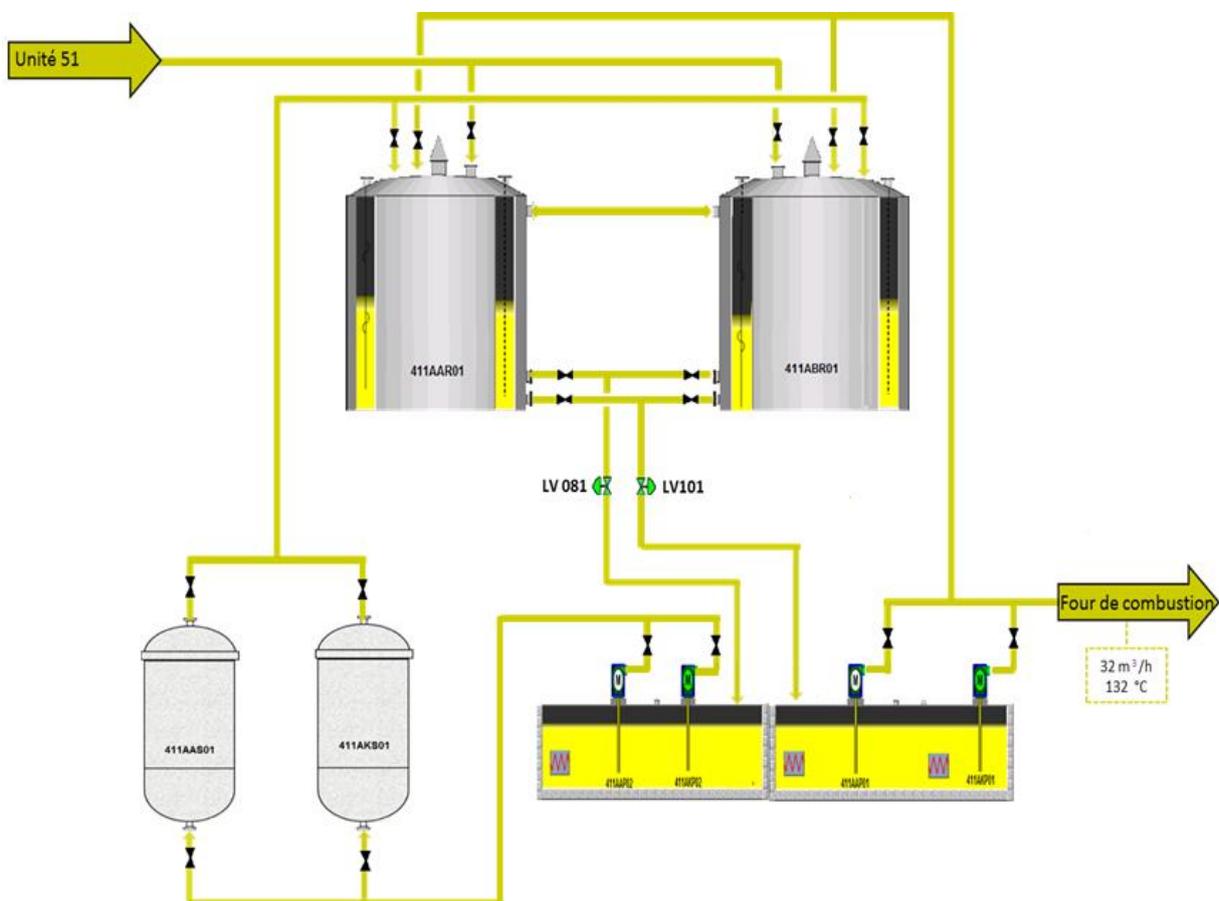


Figure 4: Schéma de circuit du soufre liquide.

### Remarques :

- Pour empêcher la solidification du soufre liquide dans les conduites, toutes les conduites transportant du soufre liquide sont maintenues à haute température. À cette fin, elles possèdent un chemisage de vapeur alimentée en vapeur BP (4,5 bar) à 145°C. Le condensat est récupéré par des purgeurs de vapeur situés sur ces conduites.

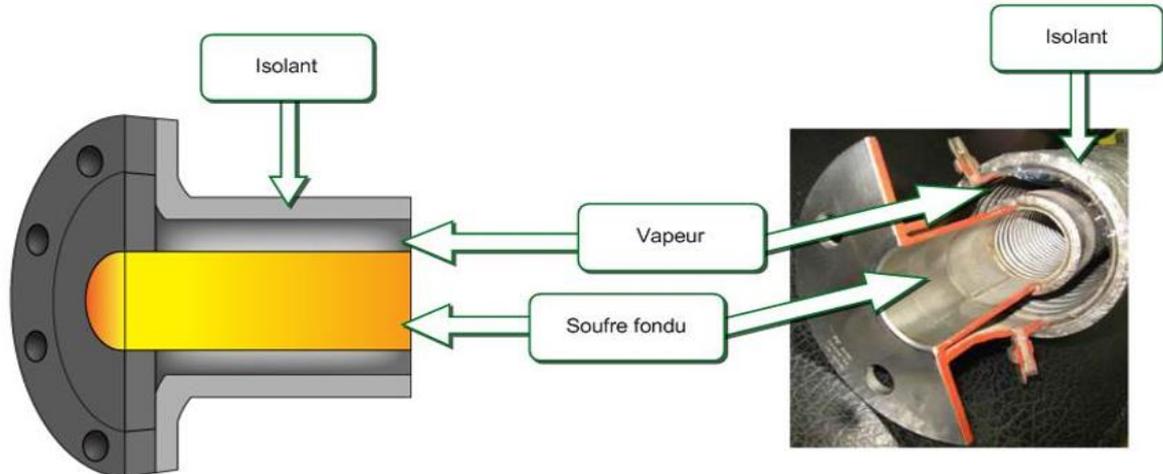


Figure 5: La conduite du soufre fondu

- Chaque bac de stockage est muni de 36 serpentins à vapeur qui maintiennent le soufre liquide à environ 132°C pour éviter sa solidification dans le bac. Les serpentins sont chauffés avec de la vapeur basse pression (BP) à 4,5 bar et 145°C.
- Le soufre liquide s'enflamme et brûle facilement en présence d'une source de chaleur. Pour étouffer tout début d'incendie, de la vapeur d'étouffement est alimentée dans les fosses et les bacs de stockage lorsqu'un incendie est détecté.

## 2. Séchage de l'air :

L'air est d'abord alimenté à un filtre à air qui élimine la majorité des impuretés solides entraînées par l'air avant d'être alimenté à la tour de séchage. Ces impuretés peuvent causer l'encrassement du catalyseur du convertisseur situé en aval.

L'air est ensuite alimenté à la tour de séchage qui élimine l'humidité de l'air ambiant avant son alimentation au four de combustion. Toute humidité présente dans les gaz alimentés au convertisseur réagirait avec le trioxyde de soufre ( $\text{SO}_3$ ) produit dans les équipements en aval de la conversion, créant des vapeurs d'acide qui endommageraient le catalyseur et qui entraîneraient la corrosion des équipements et des conduites.

L'acide sulfurique à 98,5% (produit en aval des équipements de combustion et de conversion) alimente la tour de séchage et circule à contre-courant de l'air ambiant propre. L'acide sulfurique étant hygroscopique, il absorbe toute l'humidité présente dans l'air. L'acide sulfurique sortant de la tour à 98,1% est dirigé vers le bac de circulation d'acide.

L'air filtré, asséché par l'acide sulfurique circulant dans la tour de séchage, est aspiré par la motosoufflante située en aval de la tour de séchage.

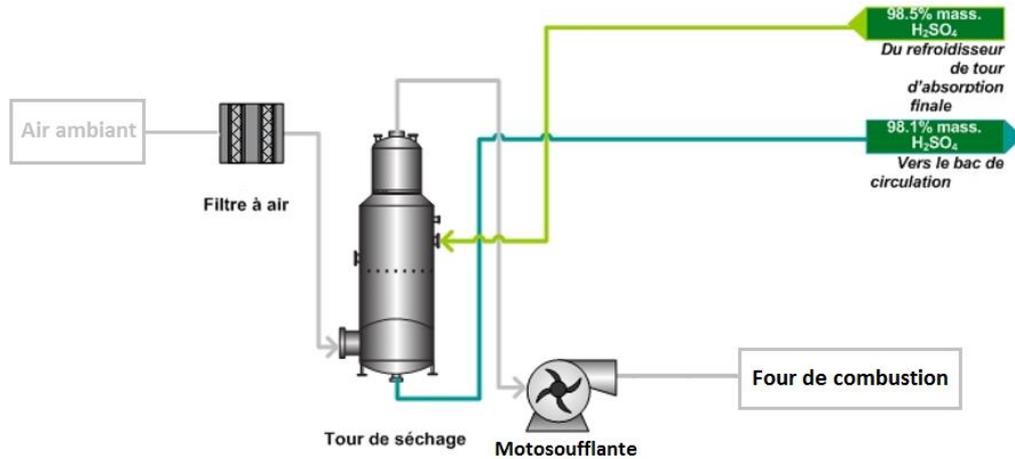


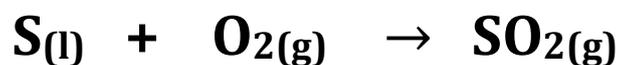
Figure 6: Schéma de la tour de séchage

### 3. Combustion du soufre :

Le soufre liquide bien filtré est alimenté vers les 7 brûleurs qui pulvérisent le soufre liquide dans le four où la température dépasse la température d'inflammation du soufre 420°C, les gouttelettes du soufre brûlent avec l'air (en excès) pour former l'anhydride sulfureux.

La réaction de combustion du soufre est illustrée ci-dessous. Cette réaction étant exothermique, elle produit une quantité importante de chaleur.

**La réaction qui se produit à l'intérieur du four est la suivante :**



Le soufre et l'air sont donc alimentés au four où la réaction de combustion du soufre a lieu pour produire du SO<sub>2</sub>. Cette réaction étant exothermique, les gaz de combustion (aussi appelés << gaz de procédé >> sont très chauds (près de 1 070°C). Une partie de cette importante quantité de chaleur est récupérée par la chaudière de récupération de chaleur afin de produire de la vapeur HP (environ 60 bar).

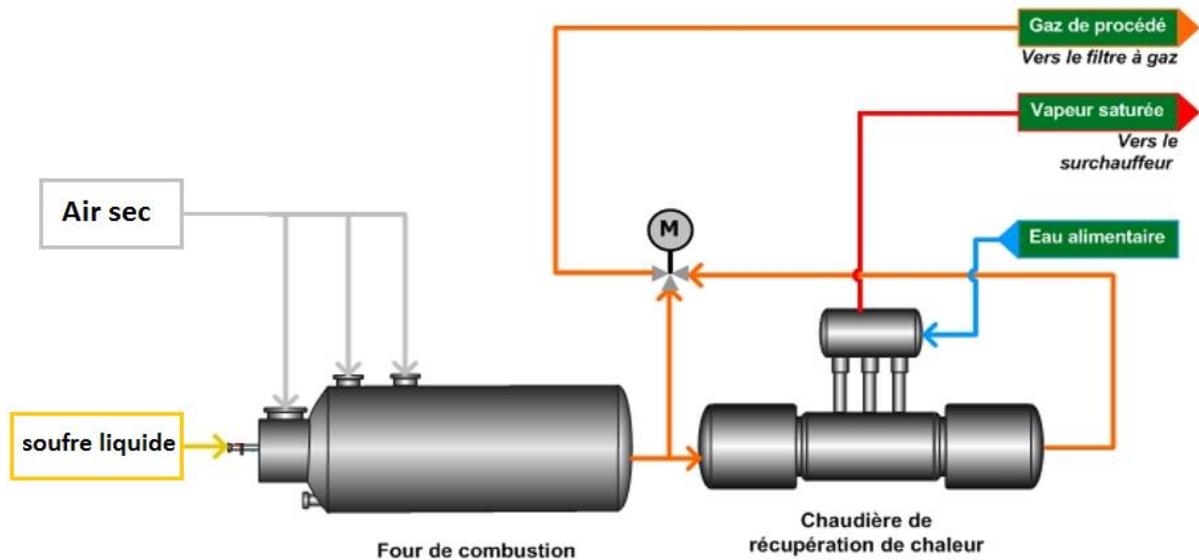


Figure 7: Schéma de circuit Gaz (Combustion).

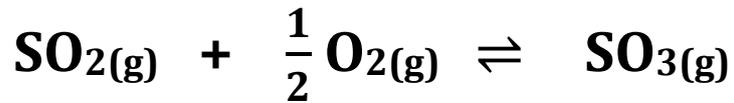
La température du dioxyde de soufre gazeux provenant du four est supérieure au minimum requis pour l'entrée dans le système de conversion (420 °C). En conséquence, le gaz de procédé est refroidi dans deux chaudières de récupération de chaleur parallèles qui récupèrent le surplus de chaleur sous forme de vapeur saturée à haute pression.

Afin de maintenir la température appropriée à l'entrée du convertisseur, une autre stratégie est utilisée. Une petite portion des gaz de procédé sortant du four de combustion est by-passée afin de maintenir une température de 420 °C à l'entrée du convertisseur. La température de ce flux est réglée par la vanne de by-pass.

Les gaz sortant de la chaudière sont acheminés au filtre à gaz. Ce filtre est muni de deux couches et élimine toutes les impuretés du gaz afin d'éviter l'encrassement du catalyseur du convertisseur situé en aval. Par la suite, les gaz sont acheminés vers le convertisseur.

#### 4. Conversion de $\text{SO}_2$ en $\text{SO}_3$ :

La transformation du  $\text{SO}_2$  en  $\text{SO}_3$  a lieu dans un convertisseur à quatre masses, en présence d'oxygène et du catalyseur soit au vanadium  $\text{V}_2\text{O}_5$  (pour les masses 1,2 et 3) soit au Césium (pour la masse 4) pour activer la cinétique de la conversion du  $\text{SO}_2$  en  $\text{SO}_3$ . La réaction de transformation consomme de l'oxygène et produit de la chaleur.



L'ampleur de la réaction dans chaque étage est limitée par la quantité d'oxygène disponible et par la hausse de la température. Pour rétablir la capacité de transformation après chaque masse, la température du gaz de procédé est réduite avant l'entrée dans la masse suivante.

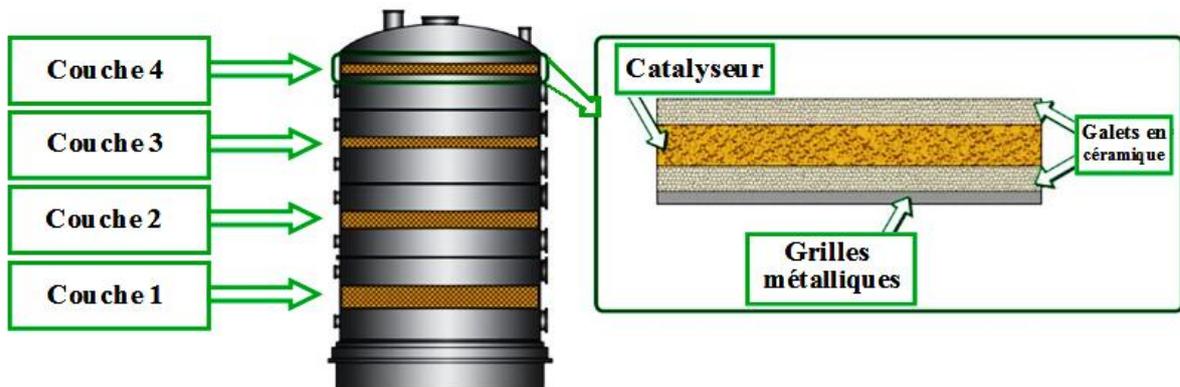


Figure 8: schéma représentatif du convertisseur.

Les conditions de réaction : T = 450 °C , P = 5 à 20 bar , catalyseur V<sub>2</sub>O<sub>5</sub>

T = 390 °C , P = 5 à 20 bar , catalyseur Cs

Le catalyseur déposé sur un support solide → procédé en lit fixe

### Le circuit de gaz au niveau du convertisseur

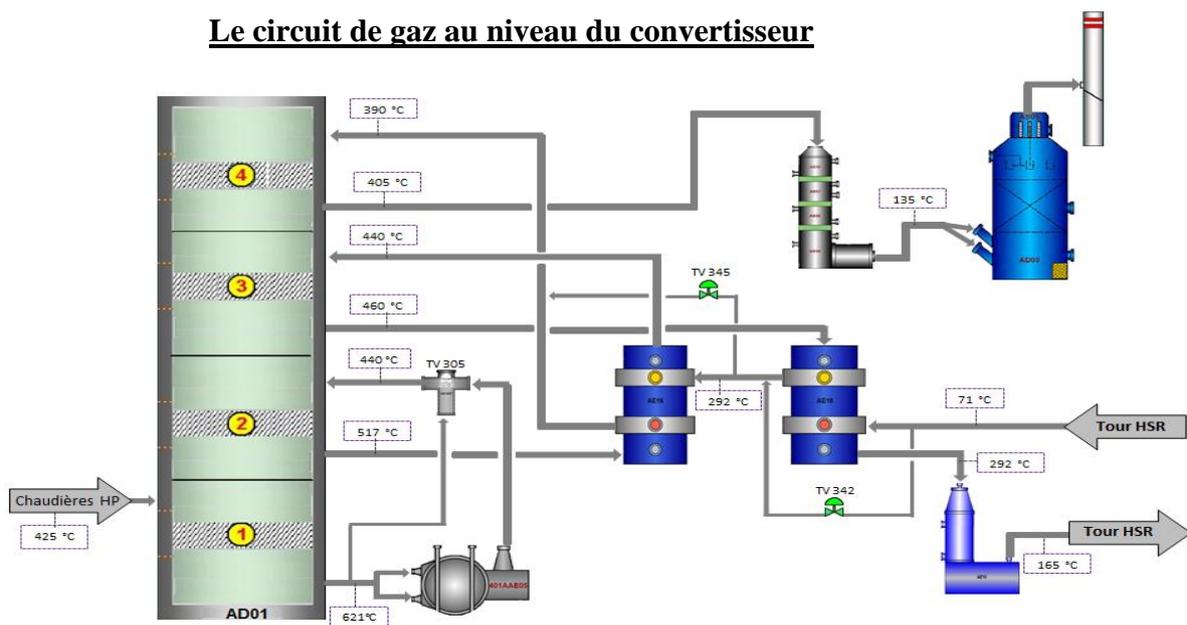


Figure 9: Schéma de circuit Gaz (Conversion).

Le surchauffeur 1B refroidit le gaz partiellement transformé sortant de la première masse du convertisseur en récupérant la chaleur de la réaction sous forme de vapeur surchauffée à haute pression. Le gaz de procédé sort du surchauffeur et entre dans la deuxième masse du convertisseur, où a lieu une nouvelle transformation du dioxyde de soufre en trioxyde de soufre, ce qui produit à nouveau de la chaleur. L'échangeur de chaleur gaz à gaz chaud refroidit le gaz chaud sortant de la deuxième masse du convertisseur. Le gaz de procédé refroidi sortant de l'échangeur de chaleur gaz à gaz chaud entre dans la troisième masse du convertisseur où une conversion supplémentaire a lieu.

Les gaz chauds sortant de la troisième masse du convertisseur sont refroidis dans l'échangeur de chaleur gaz à gaz froid. L'économiseur 3B fournit un refroidissement supplémentaire en chauffant l'eau d'alimentation désaérée de la chaudière sortant de l'économiseur 4A. Ensuite le gaz de procédé entre dans la tour HRS, où le SO<sub>3</sub> est éliminé pour former de l'acide sulfurique.

Le gaz de procédé sortant de la tour de récupération de chaleur passe dans les éliminateurs de brumes, qui éliminent les brumes fines risquant d'endommager le catalyseur ou l'équipement en aval. Le gaz froid sortant de la tour de récupération de chaleur, contenant du SO<sub>2</sub>, est réchauffé dans les échangeurs de chaleur gaz à gaz chaud et froid avant d'entrer dans la quatrième et dernière masse du convertisseur.

**Le mécanisme de conversion :**

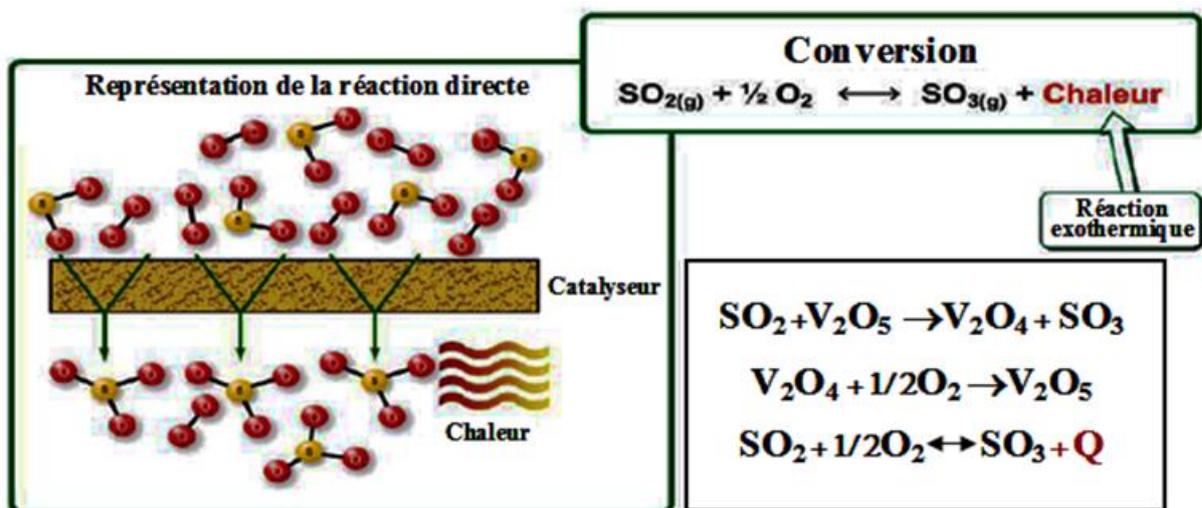


Figure 10: Les réactions produites au niveau du catalyseur.

Le tableau suivant récupère les taux de conversion au niveau de chaque masse :

Tableau 2: Les taux de conversion de chaque masse du réacteur catalytique.

N° de la masse	1 <sup>ère</sup> masse	2 <sup>ème</sup> masse	3 <sup>ème</sup> masse	4 <sup>ème</sup> masse	Total
Taux de conversion	64.25 %	25.24 %	6.57 %	3.8 %	<b>99,86 %</b>

### 5. Absorption du gaz SO<sub>3</sub> et formation de H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> :

La réaction d'absorption consiste à absorber le trioxyde de soufre SO<sub>3</sub>, Le SO<sub>3</sub> gazeux produit dans le convertisseur, même s'il est correctement refroidi, ne se combine pas directement avec l'eau mais se combine en milieu acide par absorption (ou dissolution) dans l'acide sulfurique à 98.6% - 99%. Afin de produire de l'Oléum selon la réaction ci-après :

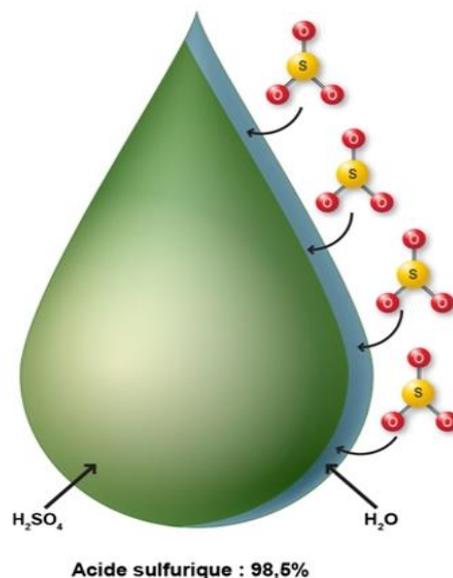
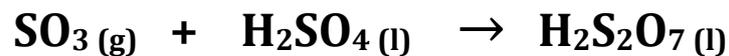
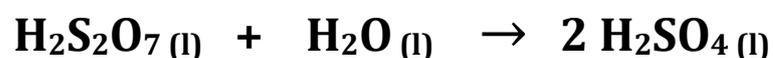


Figure 11: Réaction produite au niveau de l'absorption.

L'Oléum est ensuite hydraté pour libérer l'acide Sulfurique selon l'équation suivante :



L'opération d'absorption a lieu dans 2 tours d'absorption (Double absorption), la première phase ayant lieu après la 3<sup>ème</sup> masse du convertisseur. Cette phase se fait dans une tour d'absorption HRS. Le fait de retirer le SO<sub>3</sub> du gaz avant qu'il retourne vers la 4<sup>ème</sup> masse de conversion est de déplacer l'équilibre réactionnel de la conversion vers le sens formation de SO<sub>3</sub> qui nous permet d'obtenir un rendement global meilleur.

Environ 96% de SO<sub>2</sub> passant par les trois premières masses de catalyseur est converti en SO<sub>3</sub> et absorbé dans la tour d'absorption HRS. Les 4% restant (approximativement) est absorbé dans la tour d'absorption finale après conversion dans la quatrième masse du convertisseur.

La température de l'acide à la sortie de la tour augmente suite à l'apport de chaleur sensible du gaz et de la chaleur dégagée par la réaction d'absorption. L'acide de circulation dans la tour d'absorption HRS est récupéré dans un bac de circulation (Bac commun) après sa dilution et refroidissement dans deux chaudières HRS.

Le gaz à la sortie de la tour HRS, refroidi et contenant le dioxyde de soufre SO<sub>2</sub> non converti passe à travers l'échangeur gaz/gaz froid et l'échangeur gaz/gaz chaud pour être réchauffé pour atteindre la température d'activation (390°C) du catalyseur (Césium Cs) de la 4<sup>ème</sup> masse catalytique, sa température d'entrée est contrôlée par le by-pass coté calandre de 2 échangeurs gaz/gaz froid et chaud. Le gaz complètement converti passe alors dans un surchauffeur économiseur où il est refroidi respectivement par la vapeur HP sortie chaudières et par l'eau alimentaire. Le gaz traverse ensuite la tour finale pour compléter l'absorption de SO<sub>3</sub> converti dans la 4<sup>ème</sup> masse avant de s'échapper par la cheminée.

Dans la tour d'absorption finale, le SO<sub>3</sub> dans le gaz réagit avec l'eau contenue dans l'acide 98,6%, la température et la concentration de l'acide augmentent. Dans le bac de circulation la concentration est ajustée par l'addition de l'eau pour garder une concentration proche que possible de 98,6% H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>. Les deux bacs de circulation sont liés et par régulation de niveau le surplus d'acide produit est refroidi dans un refroidisseur de production. Tous les refroidisseurs (E01 et E02) sont refroidis à l'eau de mer côté tube à contre-courant avec l'acide sulfurique.



## 6. Dilution et refroidissement de l'acide produit :

La concentration en acide sulfurique désirée est de 98,6%  $H_2SO_4$ . Cependant, la production d'acide augmente la quantité de  $H_2SO_4$  tout en diminuant la quantité de  $H_2O$  dans la tour HRS, donc l'acide alimenté au bac adjacent est plus concentré. Afin d'obtenir la concentration de 98,6%  $H_2SO_4$ , de l'eau est ajoutée à l'acide sortant de la tour d'absorption HRS.

# Chapitre III :

**Etude de l'évolution du taux de conversion en  
fonction de la cadence**

## Introduction :

Cette partie est consacrée à l'élaboration de la démarche de travail pour la réalisation de ce projet. Ce travail rentre dans le cadre d'une politique visant l'amélioration globale de l'activité opérationnelle des unités de production. En vue de déployer et pérenniser les recommandations mises en œuvre par cette politique, il m'est demandé de mener une étude de l'évolution du taux de conversion total en fonction de la cadence de production d'acide sulfurique, suivant la méthodologie suivante :

- Description des méthodes d'analyses des gaz.
- Étude de l'évolution du taux de conversion en fonction de la cadence

## I. Méthodes d'analyse des gaz sulfuriques (3):

### TEST DE REICH :

#### Dosage de SO<sub>2</sub>

##### 1. Principe :

L'analyse consiste à l'absorption de SO<sub>2</sub> des gaz par un volume déterminé de solution titrée de l'iode.

##### 2. Objectif :

Détermination du pourcentage de SO<sub>2</sub> % dans le flux gazeux

##### 3. Domaine d'application :

- Gaz sulfureux

##### 4. Appareillages

- Sonde
- Thermomètre 0 – 40 °C
- Robinet en verre à trois voix
- Matériel courant de laboratoire

## 5. Réactifs

- Solution titrée de l'iode 0.1 N
- Solution titrée de l'iode 0.01 N
- Solution d'amidon à 0.5 %
- Liquide de l'absorption, l'eau distillée, solution aqueuse de NaCl.

## 6. Mode opératoire :

L'échantillon du gaz à analyser est aspiré à l'aide d'une sonde en verre nettoyée et séchée montée horizontalement et introduite dans le tuyau des gaz. L'extrémité de la sonde est à placer à une distance de 30-40 cm de la paroi intérieure du tuyau pour assurer la composition moyenne de l'échantillon aspiré. La sonde communique au moyen d'une valve triple avec un tuyau polyéthylène un orifice de la valve est introduit par le bouchon étanche dans le laveur. Il faut éviter l'utilisation des tubes de caoutchouc entre le laveur et le tuyau des gaz par l'assemblage direct des tubes de verre. Le contact de  $\text{SO}_3$  avec les matières organiques avec le caoutchouc en particulier peut provoquer sa réduction à l'état de  $\text{SO}_2$ , ce qui peut fausser le résultat de l'analyse. La réduction est accélérée par la température du gaz aspiré.

Dans le bouchon est fixé un tube de verre pour évacuer les gaz non absorbés. Ce tube est raccordé au moyen d'un tuyau de caoutchouc à l'aspirateur en verre muni d'une échelle de division de 2 ml.

Un tuyau polyéthylène raccorde l'aspirateur avec la bouteille qui recueille le volume du liquide refoulé de l'aspirateur par le gaz analysé.

Un thermomètre mesure la température du liquide dans l'aspirateur

Saturez l'eau dans l'aspirateur par NaCl

Avant d'effectuer le test, purgez complètement la conduite d'échantillon au gaz de procédé, afin d'obtenir un échantillon représentatif du fonctionnement au moment du test

Introduire dans le laveur d'analyse le volume nécessaire d'iode à l'aide d'une pipette de précision.

Pour les gaz de 10 %  $\text{SO}_2$  introduire dans le laveur 10 ml de la solution d'iode 0.1 N

Pour les gaz de 0.03 %  $\text{SO}_2$  introduire dans le laveur 1 ml de la solution d'iode 0.01 N

Vérifier l'étanchéité du système aspirateur – laveur

Après avoir fermé toutes les pinces et les crans d'arrêt

Faire circuler les gaz à une telle vitesse que par la solution iodique de laveur passent les bulles gazeuses singulières.

Arrêtez le gaz une fois que la couleur de la solution passe du bleu foncé au bleu vif, mélanger la solution du laveur et faire passer les gaz à une vitesse moindre jusqu'à décoloration complète de la solution iodique.

Dans la phase finale de l'analyse, il faut mélanger continuellement pour éviter l'erreur d'excès.

Lire le volume de gaz aspiré en égalisant les niveaux dans l'aspirateur et la bouteille.

Notez la température indiquée sur le thermomètre.

### 7. Montage de TEST DE REICH :

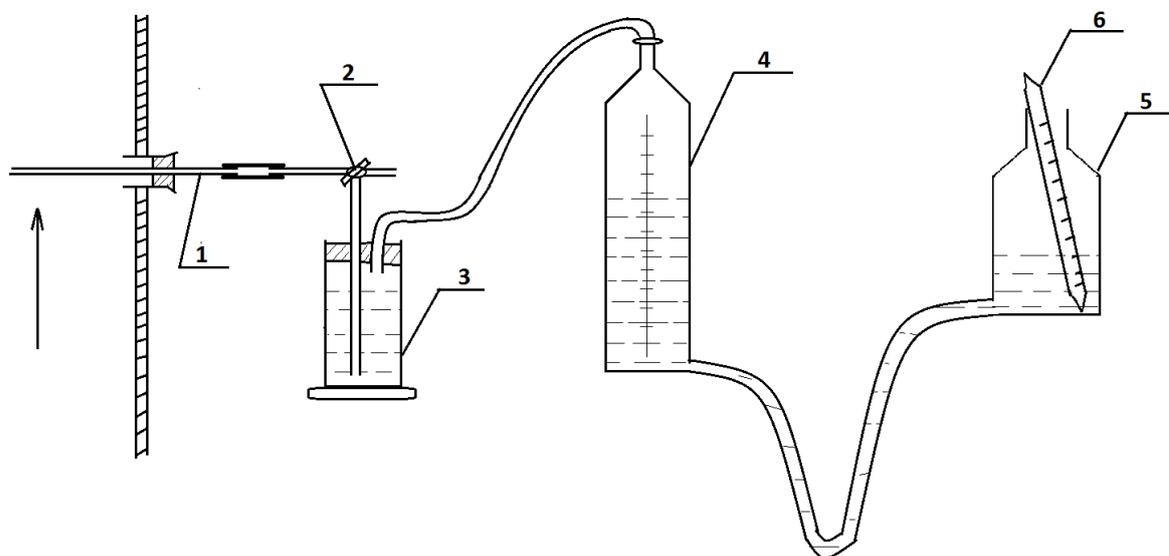


Figure 12: Schéma de montage pour l'analyse de  $\text{SO}_2$  dans les gaz sulfureux

**1 : Sonde en verre**

**5 : Flacon à tube de 1000 ml**

**2 : Robinet en verre à trois voies**

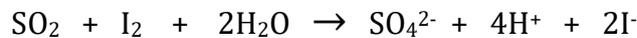
**6 : Thermomètre de 0 à 40 °C**

**3 : Laveur de 100 ml**

**4 : Aspirateur des gaz de 250 ml, diamètre max 50 mm**

## 8. Expression des résultats :

- Détermination de l'expression du pourcentage du SO<sub>2</sub> :



$$n(\text{SO}_2) = n(\text{I}_2)$$

$$\frac{V(\text{SO}_2)}{V_M(\text{SO}_2)} = 1/2 \cdot N(\text{I}_2) \cdot V(\text{I}_2) \quad \text{avec: } C(\text{I}_2) = 1/2 \cdot N(\text{I}_2)$$

$$V(\text{SO}_2) = N(\text{I}_2) \cdot 1/2 \cdot V(\text{I}_2) \cdot V_M(\text{SO}_2)$$

Avec SO<sub>2</sub> est un gaz réel :

$$V_M(\text{SO}_2) = 21.89 \text{ l/mole}$$

$$V(\text{SO}_2) = N(\text{I}_2) \cdot V(\text{I}_2) \cdot 10,945$$

Alors  $\text{SO}_2 \text{ \%} = \frac{V(\text{SO}_2)}{V_T}$

Avec  $V_T = V(\text{SO}_2) + V_c$

Et  $V_c = T_B \cdot \frac{P_{at} - P(\text{H}_2\text{O})}{760} \times \frac{273}{273 + T \text{ } ^\circ\text{C}}$

Donc 
$$\text{SO}_2 \text{ \%} = \frac{N(\text{I}_2) \cdot V(\text{I}_2) \cdot 10,945}{N(\text{I}_2) \cdot V(\text{I}_2) \cdot 10,945 + T_B \times \frac{P_{at} - P(\text{H}_2\text{O})}{760} \times \frac{273}{273 + T \text{ } ^\circ\text{C}}}$$

V<sub>c</sub> : Volume du gaz mesuré dans l'aspirateur et corrigé pour les conditions normales

T<sub>B</sub> : Tomber de burette (volume du gaz mesuré dans l'aspirateur en ml)

P<sub>at</sub> : Pression atmosphérique en mm Hg

P(H<sub>2</sub>O) : Pression de la vapeur d'eau en mm Hg donnée par le tableau en fonction de la température

T °C : Température du liquide au cours de l'analyse en °C

V(I<sub>2</sub>) : Volume d'iode utilisé pour analyse en ml

N(I<sub>2</sub>) : Normalité de la solution d'iode utilisé pour l'analyse

- L'expression du taux de conversion :

**Relatif :**

$$T_{Cr} = \frac{(Em_i - Sm_i) \times 100}{Em_i - Em_i \times Sm_i \times \frac{3}{200}}$$

$Em_i$  : SO<sub>2</sub> % à l'entrée de la masse catalytique

$Sm_i$  : SO<sub>2</sub> % à la sortie de la masse catalytique

**Global :**

$$T_{Cg} = \frac{(Et - St) \times 100}{Et - Et \times St \times \frac{3}{200}}$$

$Et$  : SO<sub>2</sub> % à l'entrée du convertisseur

$St$  : SO<sub>2</sub> % à la sortie du convertisseur

## II. l'évolution du taux de conversion :

### 1. Généralités :

La production industrielle d'acide sulfurique repose sur l'oxydation du dioxyde de soufre  $\text{SO}_2$  en trioxyde de soufre  $\text{SO}_3$  en présence de catalyseur, dont la fonction est d'accélérer cette réaction qui est exothermique et également **réversible** cette réversibilité influe de façon défavorable sur le taux de conversion.

### 2. Comment peut-on agir sur la position d'un équilibre chimique (4) ?

Le fait qu'une réaction soit limitée à un équilibre peut être un sérieux inconvénient. Dans le cas de la conversion de  $\text{SO}_2$  en  $\text{SO}_3$ , on aurait intérêt à favoriser autant que possible la formation de  $\text{SO}_3$ . Il est donc important d'examiner maintenant comment on peut agir pour déplacer la position d'un tel équilibre. Nous verrons que l'effet des différents paramètres physiques capables de perturber un équilibre chimique peut être condensé en un seul principe, dû à **Le Chatelier**.

#### Principe du Chatelier :

**Lorsque, dans un système en équilibre dynamique, on impose une modification d'un des paramètres influençant l'équilibre, le système réagit pour réduire l'ampleur de cette modification. En bref : le système se comporte de manière contrariante.**

Pour optimiser le taux de conversion au sein de l'atelier JFC2, deux paramètres ont été étudiés :

- Une réaction exothermique est favorisée par une **diminution de la température**.
- **L'excès de l'un des réactifs** favorise la consommation totale de l'autre.

### a. La diminution de la température :

Tableau 3: Température d'entrée/Sortie de chaque masse de convertisseur

Les masses	T entrée (°C)	T sortie (°C)	T <sub>c</sub> relatif
1 <sup>er</sup>	425	621	56%
2 <sup>ème</sup>	440	520	68%
3 <sup>ème</sup>	440	460	84%
4 <sup>ème</sup>	390	405	95.5%

Après la première couche, le gaz est refroidi dans le surchauffeur de vapeur. La température de gaz à l'entrée de la deuxième masse catalytique est contrôlée et maintenue. L'échangeur de chaleur gaz à gaz chaud (EGGC) refroidit le gaz chaud sortant de la deuxième masse du convertisseur, afin d'augmenter le rendement de conversion de la troisième masse catalytique. Les gaz chauds sortant de la troisième masse du convertisseur sont refroidis dans l'échangeur de chaleur gaz à gaz froid (EGGF), **Figure 9**.

**Une diminution de la température déplace un équilibre dans le sens exothermique.**

### b. L'excès de l'un des réactifs (Effet des concentrations):

- Un excès d'oxygène favorise donc l'élimination complète du SO<sub>2</sub> et le rendement de la réaction augmente.
- L'élimination du SO<sub>3</sub> formé déplace l'équilibre vers le sens de formation du SO<sub>3</sub>.

Nous pouvons donc résumer l'effet d'une modification de concentration d'un des constituants d'un système chimique à l'équilibre

**Lorsqu'on modifie la concentration d'un des constituants d'un système chimique à l'équilibre dynamique, l'équilibre se déplace dans le sens qui correspond à réduire la modification de concentration imposée.**

### III. L'étude de l'évolution du taux de conversion en fonction de la cadence :

#### Introduction

La cadence ou le taux de rendement d'une production dépend de plusieurs facteurs dont les performances se combinent pour aboutir en sortie de production à un résultat plus ou moins proche de l'objectif que l'on s'est fixé. Au-delà du résultat global, il est souvent intéressant d'en connaître les composantes pour mieux cibler les actions correctives qui découlent des écarts constatés. Ainsi le rendement global dépend de :

- La performance des machines.
- La performance du personnel de la production.
- La performance de la maintenance.
- La performance des fournisseurs au travers de la qualité des matières et des pièces.

L'étude comporte sur le suivi d'analyses des gaz de taux de conversion quand la cadence était 65% et après l'augmentation de la cadence jusqu'à 100%.

#### 1. Le taux de conversion pour la cadence 65% :

Lors du démarrage de l'atelier JFC2, la cadence de production est de l'ordre de 65% ce pourcentage est justifié par la marche d'un seul compresseur au niveau de la motosoufflante, le taux de conversion reste stable durant cette cadence.

Le tableau suivant présent le taux de conversion pour le mois janvier (cadence 65%)

Tableau 5: Les taux de conversion pour la cadence 65%

La cadence 65 %		18/01/2017		
convertisseur	1 <sup>er</sup> masse	2 <sup>ème</sup> masse	3 <sup>ème</sup> masse	4 <sup>ème</sup> masse
% SO2 entrée	10,67	5,2	1,73	0,27
% SO2 sortie	5,16	1,76	0,28	0,012
Tc relatif	55,97%	67,95%	84,17%	95,57%
Tc absolu	55,97%	85,77%	97,79%	99,91%
Tc global	99,89%			

## 2. Le taux de conversion à la cadence 100 % :

Après le février la cadence de production de JFC2 est de l'ordre de 100%, même que la cadence 65% le taux de conversion reste presque constant.

Le tableau suivant présent le taux de conversion pour le mois mars (cadence 100%)

Tableau 6: Les taux de conversion pour la cadence 100%.

La cadence 100 %		20/03/2017		
convertisseur	1 <sup>er</sup> masse	2 <sup>ème</sup> masse	3 <sup>ème</sup> masse	4 <sup>ème</sup> masse
% SO2 entrée	11,1	5,42	1,69	0,23
% SO2 sortie	5,4	1,66	0,22	0,009
Tc relatif	55,88%	71,14%	87,27%	96,10%
Tc absolu	55,88%	87,22%	98,34%	99,93%
Tc global	99,91%			

## 3. interprétation :

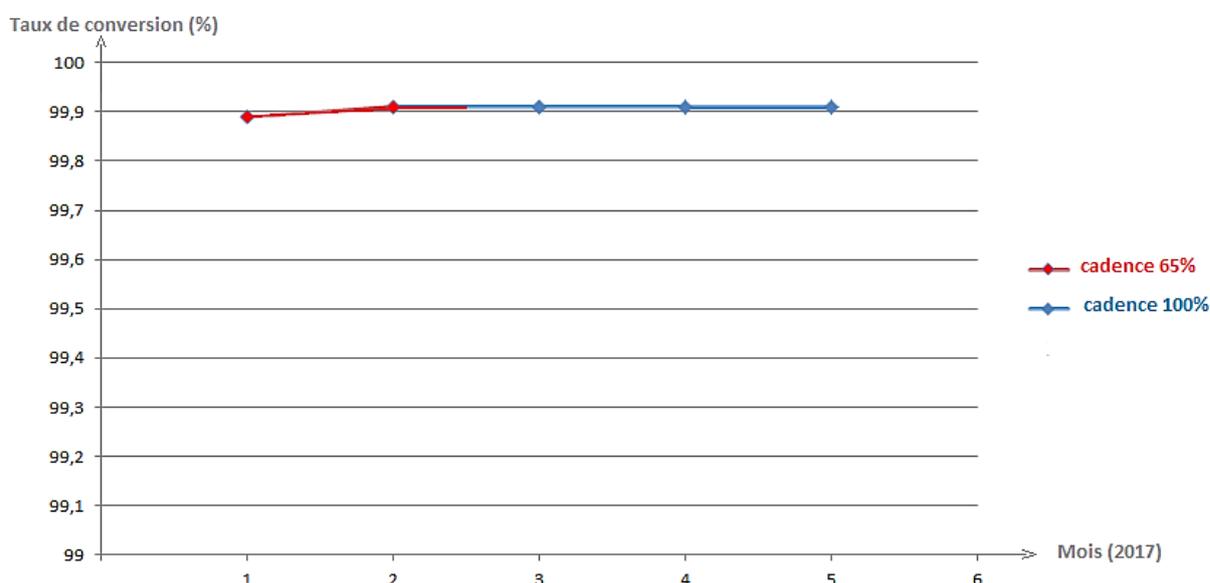


Figure 13: Courbe d'évolution du taux de conversion en fonction de la cadence.

D'après le suivi des analyses des gaz de taux de conversion avant et après l'augmentation de la cadence de production on remarque que le taux de conversion reste stable durant l'augmentation de cadence donc on peut dire que cette augmentation de cadence n'a aucun influence Sur le taux de conversion.

## Conclusion générale

Ce projet de fin d'étude au sein du groupe OCP, JFC2, m'a permis de réaliser ce modeste travail qui a permis d'établir une étude de l'évolution du taux de conversion avant et après l'augmentation de la cadence.

J'ai abordé dans ce travail, d'une part l'étude bibliographique sur la production de l'acide sulfurique suivant le procédé Jacobs, et d'autre part l'étude expérimentale dans laquelle j'ai comparé le rendement de conversion de la réaction de production d'acide sulfurique avant et après l'augmentation de cadence.

Dans ce contexte l'équipe de JFC2 a réalisé l'augmentation de cadence de production, et à partir des résultats obtenus, on conclut que :

- L'augmentation de cadence à 100% est faisable ;
- Le matériel a supporté l'élévation de débit ;

En conclusion grâce au système de double absorption qui réduit la concentration de  $\text{SO}_3$  au cours de la réaction de conversion d'une part et au système de refroidissement du flux de gaz après chaque masse catalytique d'autre part, ce qui permet de convertir le plus possible de  $\text{SO}_2$ , et garantit un meilleur rendement de production d'acide sulfurique.

En effectuant ce stage, j'ai pu avoir une idée détaillée sur le monde de travail sous tous ses aspects et cela m'a apporté une nouvelle vision de l'entreprise, tant au niveau de son organisation qu'au niveau humain.

## Bibliographie

- (1) : L'acide sulfurique. Syndicat National Professionnel de la Chimie (1990).**
- (2) : PACQUIEZ (P.). – Évolution de la fabrication de l'acide sulfurique pendant les trente dernières années. L'Industrie chimique (extraits) (1960 à 1963).**
- (3) : Manuel des méthodes d'analyses des gaz soufrés « Laboratoire Centrale ».**
- (4) : Université de Liège Section de Chimie « LES EQUILIBRES CHIMIQUES ».**