



## PROJET DE FIN D'ETUDES

Pour l'Obtention du :

**Diplôme d'Ingénieur d'Etat**  
Spécialité : **Conception Mécanique et Innovation**

**CONCEPTION D'UN SYSTÈME POUR LE  
TRANSPORT ET L'INSTALLATION DU  
CATALYSEUR DANS LES PASSES DU  
CONVERTISSEUR**

Effectué au sein du Groupe OCP d'El Jadida  
Service IDD

Soutenu le 04 Février 2014

Par :

**Mlle. Salma RIDANE**

### Jury :

Pr. M. A. EL BARKANY (FSTF)  
Pr. M. A. EL HAKIMI (FSTF)  
Pr. M. M. EL MAJDOUBI (FSTF)

### Encadrée par :

- Pr. M. A. EL BARKANY (FSTF)
- M. M. AARAB (OCP)
- M. T. LHMAMI (OCP)

Année Universitaire : 2013-2014



## Table des matières

Avant propos .....	i
Dédicace .....	ii
Remerciements .....	iii
Résumé .....	iv
Abstract .....	v
ملخص.....	vi
Nomenclature .....	vii
Liste des tableaux .....	ix
Liste des figures .....	xi
Introduction générale.....	1
<b>Chapitre I : présentation générale de l'entreprise d'accueil (groupe OCP).....</b>	<b>2</b>
1. Introduction.....	3
2. Historique du groupe OCP.....	3
3. Clientèle de l'OCP .....	4
4. Organigramme du groupe OCP.....	5
5. Fiche Technique.....	7
6. Filiales du groupe OCP .....	7
7. Les joint-ventures.....	7
8. Les trois principaux produits de l'OCP.....	8
9. A propos du phosphate.....	9
10. Pole chimie Jorf Lasfar .....	9
11. Présentation du service d'accueil.....	9
12. Présentation des projets ODI's.....	10
13. Description de l'unité sulfurique de l'ODI .....	12
14. Conclusion .....	15
<b>Chapitre II : Présentation du projet.....</b>	<b>16</b>
1. Introduction.....	17
2. Le convertisseur .....	17
3. Procédé de tamisage du catalyseur et mise en BIG BAG .....	18
4. Caractéristiques du catalyseur.....	20



5. Méthode actuelle de convoyage et d'installation du catalyseur dans le convertisseur .....	21
6. Problématique .....	22
7. Définition du projet.....	23
8. Analyse des risques.....	24
9. Démarche d'étude du projet.....	25
10. Analyse des besoins .....	25
11. Analyse fonctionnelle.....	28
12. Définition du cahier des charges fonctionnel.....	33
13. Plan d'action du projet.....	33
14. Conclusion.....	34
<b>Chapitre III : Conception d'un système de transport pneumatique pour l'installation du catalyseur dans les quatre passes du convertisseur.....</b>	<b>35</b>
1. Introduction.....	36
2. Définition de transport pneumatique.....	36
3. Histoire et domaines d'applications de transport pneumatique.....	37
4. Principaux types de transport pneumatique.....	37
5. Comparaison entre différents systèmes de convoyage.....	40
6. Dimensionnement du système de transport pneumatique du catalyseur.....	43
7. Conception assisté par ordinateur sous Catia V5.....	67
8. Conclusion.....	69
<b>Chapitre VI: Etude technico-économique.....</b>	<b>70</b>
1. Introduction.....	71
2. Evaluation des gains.....	71
3. Etude économique du système.....	74
4. Conclusion.....	74
<b>Conclusion générale.....</b>	<b>76</b>
<b>Bibliographie.....</b>	<b>77</b>
<b>Les Annexes.....</b>	<b>78</b>



## *Remerciements*

Avant d'entamer ce rapport, je tiens à remercier le tout puissant, généreux et miséricordieux, ALLAH, qui m'a offert la santé et la chance d'étudier, et je le pris de nous guider tous pour la réussite dans notre vie.

Je tiens à exprimer ma gratitude envers ceux qui, par leurs conseils et leurs encouragements, ayant contribués de près ou de loin à l'élaboration et la réussite de ce stage.

Je tiens à remercier M. HMAMI, mon parrain de stage, et mon encadrant pédagogique M. EL BARKANY, Professeur à la FST de Fès, pour avoir supervisé le déroulement de mon stage.

Je remercie également M. EL HAKIMI, Professeur à la FST de Fès, pour sa consultation précieuse.

J'ai l'immense plaisir d'exprimer ma profonde gratitude et mes sincères remerciements à M. AARAB, pour l'intérêt qu'il a porté à mon travail, et pour ces orientations et ces conseils.

Je remercie également M. NOUAM, pour la proposition du thème de stage.

J'exprime aussi ma gratitude immense envers tout le personnel du service IDD et tous qui ont grassement accepté de diriger ce travail, ils m'ont fait bénéficier de leurs connaissances, de leur aide précieuse, et de la qualité de leurs orientations et critiques qui m'ont été d'une grande utilité dans l'élaboration de ce rapport de stage.

Finalement, je tiens à remercier toute l'équipe pédagogique de la Faculté des sciences et Techniques de Fès et les intervenants professionnels responsables de la formation d'Ingénieurs de la branche Conception Mécanique et Innovation pour avoir assuré la partie théorique de celle-ci.



### **Résumé**

L'OCP (l'office chérifien des phosphates) leader international dans l'exploitation minière et l'industrialisation des phosphates, est un important pôle industriel au niveau national. Il possède plusieurs unités de production, et il est responsable du processus de suivi des étapes de mise en place ou d'installation des nouvelles unités industrielles sophistiquées, et responsable du contrôle des unités de production actuelles.

Au milieu de cette compétitivité et de cette concurrence se place mon projet pour améliorer la productivité nationale et poursuivre le développement industriel.

Le but de ce projet est de remplacer la méthode de transport du catalyseur traditionnelle appliquée actuellement afin de :

- Améliorer le rendement et la productivité ;
- Préserver la main d'œuvre et minimiser le coût ;
- Protéger l'environnement ;
- Etc.

Pour mener ce projet, on a commencé par une définition des plans et du cahier des charges, en diagnostiquant la situation actuelle à travers des contacts professionnels et des sorties au chantier, en cherchant les informations nécessaires afin de bien comprendre tous les composants du projet.

On a travaillé sur la conception d'un système de transport pneumatique pour transférer et installer le catalyseur à chaque passe du convertisseur.

Il est très important de tenir en compte les caractéristiques physico-chimiques du catalyseur lors de la conception de ce système.

Finalement, on a élaboré un chapitre analysant les gains et la valeur apportée par le projet à la production en général et son effet sur la productivité du groupe OCP.



### **Abstract**

O.C.P (the Sherifian office of phosphates), is an important industrial organization at national level.

Moreover, it is an international leader in mining and industrialization of phosphates. It has several units of production. It is also responsible for the process of monitoring and controlling of the stages of implementation or installation of new units of sophisticated industries, and already existing units as well in the context of foreign investment in Morocco such as BUNGE Brazil.

In this context of competition, my project aims at improving national productivity and further industrial development. Thus, this project will focus on the concept of designing a pneumatic transport system for transferring and installing the catalyst for each pass of the converter. This system consists of the following main elements :

- An air compressor : it is a compressed air source ;
- A transfer vessel in which the pressure of air, that transports the catalyst, is increased ;
- A hose through which the two-phase mixture Air Grains is routed to its destination ;

It is important to take into consideration the physic-chemical characteristics of the catalyst during the design of the system.

The role of the catalyst is to accelerate the oxidation reaction of sulfur dioxide(  $SO_2$ ) in order to obtain sulfur trioxide( $SO_3$ ), presenting an essential element that gets into the formulation and formation of sulfur acid.

The aim of my project is to replace the traditional method of transporting catalyst that is currently applied by the transport system that I intend to work on and which will:

- Improve efficiency and productivity ;
- Preserve labor and minimize the cost ;
- Protect the environment ;
- Etc.

Therefore, I begin my project by providing a definition of plans and specifications diagnosing the current situation through professional contacts and field work (trainings). This section aims at seeking necessary data and reading plans to understand all components of the project.

In addition, I will investigate all possible mechanisms: mechanical, hydraulic, and pneumatic, taking into account the existing situation. This will help me to set the most appropriate solution to my problematic which is to design a pneumatic transport system for installation of the catalyst in the converter passes. Then, I'll move to the design of its details and phases.

Finally, this project is aimed to analyze the benefits and the value provided by the project to the production and its effect on the productivity of the OCP group.



## NOMENCLATURE

$Q_{\text{méthode.traditionnelle}}$  : Débit de méthode traditionnelle de l'introduction du catalyseur dans le convertisseur  
 $Q_{\text{sys}}$  : Débit du système conçu  
 $Q_{\text{air}}$  : Débit d'air  
 $V_a$  : Vitesse de l'air en m/s  
 $V_c$  : Vitesse des grains du catalyseur en m/s  
 $\Delta P_T$  : Chute de pression totale en Pa  
 $\Delta P_c$  : Chute de pression des grains du catalyseur en Pa  
 $\Delta P_a$  : Chute de pression de l'air en Pa  
 $\xi$  : Facteur supplémentaire de la chute de pression  
 $\lambda_c$  : Coefficient de frottement des grains du catalyseur  
 $\lambda_a$  : Coefficient de frottement de l'air  
 $Re$  : Nombre de Reynolds  
 $\alpha$  : Angle d'inclinaison de la partie conique  
 $Fr_a$  : Nombre de Froude lié à l'air  
 $Fr_c$  : Nombre de Froude lié au catalyseur  
 $DN$  : Diamètre nominal du flexible  
 $D_i$  : Diamètre intérieur  
 $Q_{mc}$  : Débit massique du catalyseur en kg/s  
 $Q_{ma}$  : Débit massique de l'air en kg/s  
 $\rho_c$  : Masse volumique du catalyseur en  $\text{kg/m}^3$   
 $\rho_a$  : Masse volumique de l'air en  $\text{kg/m}^3$   
 $S$  : Section  
 $g$  : Accélération de la pesanteur  
 $L$  : Longueur  
 $\rho_{ci}$  : Masse volumique de chaque type du catalyseur passe  $i$   
 $K_1, K_2$  : Coefficients de pertes de charge  
 $\Delta P_{T, \text{Passe } (i)}$  : Chute de pression totale de la passe  $i$   
 $P_i$  : Pression initiale en Pa  
 $P_f$  : Pression finale en bars  
 $P_{i, \text{Passe } (i)}$  : Pression initiale à fournir pour faire monter le catalyseur à la passe  $i$  en bars  
 $e$  : Epaisseur en mm  
 $f$  : Contrainte nominale de calcul du matériau de l'enveloppe  
 $z$  : Coefficient de soudure  
 $P$  : Pression de calcul



### Liste des tableaux

<b>Tableau I-1 : Dates d'évolution du Groupe OCP.....</b>	<b>4</b>
<b>Tableau II-1 : Tableau présentant le convertisseur .....</b>	<b>18</b>
<b>Tableau II-2 : Caractéristiques du catalyseur de chaque passe du convertisseur .....</b>	<b>20</b>
<b>Tableau II-3 : Méthode QQQOPC .....</b>	<b>23</b>
<b>Tableau II-4 : Carte du projet .....</b>	<b>23</b>
<b>Tableau II-6 : Analyse des risques.....</b>	<b>25</b>
<b>Tableau II-9 : Diagramme de Kano.....</b>	<b>27</b>
<b>Tableau II-11 : Les fonctions d'adaptation .....</b>	<b>31</b>
<b>Tableau II-13 : Les fonctions d'interaction.....</b>	<b>32</b>
<b>Tableau II-14 : Diagramme Gant du projet .....</b>	<b>34</b>
<b>Tableau III-3 : Comparaison entre les deux modes de transport pneumatique .....</b>	<b>39</b>
<b>Tableau III-4 : Informations générales sur les deux modes de transport pneumatique .....</b>	<b>40</b>
<b>Tableau III-5 : Comparaison entre les différents systèmes de convoyage utilisés en industrie.....</b>	<b>40</b>
<b>Tableau III-7 : Tableau des données pour les calculs.....</b>	<b>47</b>
<b>Tableau III-8 : Paramètres des calculs .....</b>	<b>48</b>
<b>Tableau III-9 : Catalogue.....</b>	<b>61</b>
<b>Tableau III-11 : Encombrement du réservoir d'expédition.....</b>	<b>63</b>
<b>Tableau III-12 : Paramètre f.....</b>	<b>63</b>
<b>Tableau IV-1 : La production d'une seule usine .....</b>	<b>71</b>
<b>Tableau IV-2 : Les gains apportés par le projet.....</b>	<b>72</b>
<b>Tableau IV-3 : Résumé des gains de point de vu ressources humaines....</b>	<b>73</b>
<b>Tableau IV-4 : Etude économique du système.....</b>	<b>74</b>



### Liste des figures

<b>Figure I-2 : Organigramme du Groupe OCP .....</b>	<b>6</b>
<b>Figure I-3 : Objectifs clés de l'IDD .....</b>	<b>10</b>
<b>Figure I-4 : Description générale d'un ODI .....</b>	<b>11</b>
<b>Figure I-5 : Diagramme bloc des différents procédés de l'ODI .....</b>	<b>11</b>
<b>Figure I-6 : Schéma du procédé de fabrication de l'acide sulfurique .....</b>	<b>12</b>
<b>Figure I-7 : Vue 3D de l'usine SAP .....</b>	<b>15</b>
<b>Figure II-5 : Equipe du projet .....</b>	<b>24</b>
<b>Figure II-7 : La démarche d'étude .....</b>	<b>25</b>
<b>Figure II-8 : Diagramme de Kano .....</b>	<b>27</b>
<b>Figure II-10 : Les fonctions d'adaptation .....</b>	<b>30</b>
<b>Figure II-12 : Les fonctions d'interaction .....</b>	<b>32</b>
<b>Figure III-1 : Schéma d'un exemple typique de transport pneumatique en phase diluée .....</b>	<b>38</b>
<b>Figure III-2 : Schéma d'un exemple typique de transport pneumatique en phase dense .....</b>	<b>39</b>
<b>Figure III-6 : Schéma générale du système de transport .....</b>	<b>43</b>
<b>Figure III-10 : L'angle d'inclinaison de la partie conique du réservoir .....</b>	<b>62</b>
<b>Figure III-13 : Critère de Von Mises .....</b>	<b>65</b>
<b>Figure III-14 : Déplacement .....</b>	<b>65</b>
<b>Figure III-15 : La valeur de déplacement .....</b>	<b>65</b>
<b>Figure III-16 : Réservoir d'expédition .....</b>	<b>67</b>
<b>Figure III-17 : Trémie .....</b>	<b>67</b>
<b>Figure III-18 : Coude 90° .....</b>	<b>68</b>
<b>Figure III-19 : Vanne Papillon .....</b>	<b>68</b>
<b>Figure III-20 : Vue d'ensemble I .....</b>	<b>69</b>
<b>Figure III-21 : Vue d'ensemble II .....</b>	<b>69</b>



## Introduction générale

Le projet de fin d'études représente une étape importante qui couronne la formation des élèves ingénieurs de la faculté des sciences et techniques de Fès. En effet, le PFE, effectué après le stage d'initiation et le stage technique marque une évolution vers l'étude d'un cas précis et concret touchant les disciplines et les sciences de l'ingénieur, ce qui prépare l'étudiant à résoudre un problème industriel. Ainsi, le choix de l'organisme d'accueil doit être pertinent pour mieux mettre en œuvre les acquis théoriques et acquérir de nouvelles connaissances techniques.

Mon choix s'est alors porté sur le pôle chimique Jorf Lasfar d'El Jadida de l'Office Chérifien des Phosphates (le groupe OCP) et en particulier au sein de la direction du développement industriel (l'IDD).

Par ailleurs, les systèmes de transport pneumatique sont utilisés depuis des décennies dans le transport des matériaux en vrac, et se sont avérés très efficaces en industrie en raison de leur adaptabilité aux installations, leur flexibilité ainsi que leur bonne rentabilité.

Actuellement, pour répondre au besoin croissant de disposer d'une capacité de transport de plus en plus grande et de parcours de plus en plus longs, la recherche scientifique a mené à un important développement de la technologie des transports pneumatiques.

Dans cette perspective d'amélioration, dérive la philosophie de mon projet de fin d'étude qui traite un des problèmes du Groupe OCP, et qui a pour but l'amélioration des performances de ce dernier.

Le présent rapport s'articule autour de quatre chapitres :

- **Chapitre I** : ce chapitre est consacré à la présentation de l'office chérifien des phosphates, site de Jorf Lasfar, El Jadida.
- **Chapitre II** : ce chapitre est consacré à la présentation du projet.
- **Chapitre III** : ce chapitre est réservé à la conception d'un système de transport pneumatique pour l'installation du catalyseur dans les quatre passes du convertisseur.
- **Chapitre IV** : ce chapitre donne les gains et la valeur apportée par le projet à la production.



# Chapitre I

## Présentation générale de l'entreprise d'accueil

La connaissance de l'organisme d'accueil s'avère une étape incontournable avant d'entamer l'étude du projet. Le présent chapitre constitue un aperçu sur les attributions et l'organisation du groupe OCP.

### 1. Introduction

Le Maroc est l'un des pays qui dispose d'une grande et importante réserve en minéraux de phosphate. 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 du phosphate et de produits dérivés. Chaque année, plus de 23 millions de tonnes de minerais sont extraits du sous-sol marocain.

Principalement utilisé dans la fabrication des engrais, le phosphate provient des sites de Khouribga, Benguerir, Youssefia et Boucrâa-Laâyoune. Selon les cas, le minerai subit une ou plusieurs opérations de traitement (criblage, séchage, calcination, flottation, enrichissement à sec, etc.). Une fois traité, il est exporté tel quel ou bien livré aux industries chimiques du groupe, à JORF LASFAR ou à SAFI, pour être transformé en produits dérivés commercialisables : Acide phosphorique de base, Acide phosphorique purifié, Engrais solides, etc.

Premier exportateur mondial de phosphate sous toutes ses formes, le groupe OCP écoule 95% de sa production en dehors des frontières nationales. Opérateur international, il rayonne sur les cinq continents de la planète et réalise un chiffre d'affaires annuel de 1,3 milliard de dollars.

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 débouchés. 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.

## 2. Historique du Groupe OCP

L'année 1982 a marqué la pose de la première pierre des installations industrielles et sociales du groupe Office Chérifien des phosphates à JORF LASFAR à EL Jadida. Cette année a marqué aussi le 60<sup>ième</sup> anniversaire du démarrage de l'exploitation des phosphates par l'OCP, les premières tonnes ayant été extraites en février 1921 dans la région de Oued-Zem.

La première découverte du phosphate au Maroc remonte à 1905. C'était dans le bassin des Meskala, au centre du pays. La découverte du phosphate exploitable a eu lieu en 1917 à Oued-Zem, dans le nord du pays, lors des travaux de terrassement d'une voie de chemin de fer.

Depuis cette date l'office n'a pas cessé de renforcer la place qu'il occupe dans l'industrie des phosphates et de ses dérivées, c'est ainsi qu'indépendamment de sa place traditionnelle comme étant le premier exportateur du phosphate naturel, le groupe OCP a accédé en 1982 au rang du premier exportateur mondial d'acide phosphorique concentré en 54% P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>.

Ainsi dès sa création, le 7 août 1920, l'OCP a été constitué sous la forme d'un organisme d'état à caractère industriel et commercial doté d'une organisation du type société privée.

L'évolution de ses activités et l'ampleur de ses projets de valorisation ont conduit à la mise en place en 1975, d'une structure de groupe permettant l'intégration de différentes entités complémentaires au sein d'un même ensemble.

Le développement du groupe OCP a été marqué par quelques grandes dates données par l'illustration suivante :

**Tableau I-1 : Dates d'évolution du Groupe OCP**

Année	Evénement
1920	Création de l' <b>OFFICE CHERIFIEN DES PHOSPHATES (OCP)</b> , le 7 août 1920.
1921	Début de l'exploitation en souterrain effective du phosphate dans la région d'Oued-Zem sur le gisement des OULAD-ABDOUN, le 1er mars 1921. Premier départ des phosphates du Maroc, du port de Casablanca, le 23 juillet 1921.
1931	Début de l'extraction en souterrain à Youssoufia.
1936	Premier train de phosphate de Youssoufia vers le port de Safi.
1942	Création d'une unité de calcination à Youssoufia.
1951	Démarrage de l'extraction en "Découverte" à SIDI-DAOUI (KHOURIBGA).
1954	Démarrage des premières installations de séchage à YOUSOUFIA.
1959	Création de la Société Marocaine d'Etudes Spécialisées et Industrielles : SMESI, en mai 1959.
1962	Introduction de la mécanisation du souterrain à Youssoufia
1969	Entrée en exploitation de la première Recette de phosphate noir à Youssoufia.
1973	Création des Sociétés: Transports Régionaux (SOTREG), MAROC PHOSPHORE, MARPHOCEAN.



1976	Transfert au Maroc du Siège Social de la société <b>PHOUSBOUCRAA</b> dont l'O.C.P vient d'acquérir 65% du capital, en mai 1976. Démarrage de Maroc Phosphore I et Maroc Chimie II, en novembre 1976.
1986	Démarrage des différentes lignes d'acide sulfurique et d'acide phosphorique de <b>Maroc Phosphore III - IV</b> .
1994	Démarrage du projet minier de SIDI CHENNANE
1998	Démarrage de la production d'acide phosphorique purifié ( <b>EMAPHOS, Jorf Lasfar</b> ), le 31 janvier 1998, Le Groupe OCP obtient le Prix National de la Qualité.
1999	Démarrage de la production d'acide phosphorique de l'usine d' <b>IMACID à Jorf Lasfar</b> , le 1er novembre 1999.
2002	Prise de participation, dans le cadre d'une joint-venture Groupe OCP – Groupe BIRLA, dans la Société PPL (Inde).
2003	L'OCP est devenu le seul actionnaire de phosboucraâ.
2004	Création de la société « Pakistan Maroc Phosphore » S.A en joint-venture entre l'OCP et Fauji Fertilizer bin Qasim limited (Pakistan).

### 3. Clientèle du groupe OCP

Les Etats-Unis, la Chine, le Maroc et la Russie sont actuellement les principaux producteurs du phosphate dans le monde. Leurs clients sont essentiellement des pays agricoles, gros consommateurs du phosphate ou plus exactement d'acide phosphorique. C'est le cas par exemple de l'Amérique, des pays asiatiques et de quelques pays européens et du Moyen-Orient.

Pour le Maroc, l'Inde est le marché le plus important. C'est le premier client de l'OCP en termes d'acide phosphorique. A lui seul, ce pays importe 56,6% du commerce international de ce produit avec une moyenne de plus de 2 millions de tonnes par an. Des besoins qui sont couverts à hauteur de 33% par le Maroc.

D'autres pays deviennent de plus en plus demandeurs de ce produit. Il s'agit notamment de la Hollande, la France, l'Italie, l'Iran, le Brésil et l'Indonésie.

### 4. Organigramme du groupe OCP

L'organigramme du groupe OCP a eu un grand changement depuis sa création jusqu'aujourd'hui.

La flexibilité de cet organigramme rend le groupe OCP plus adapté aux besoins des employés autant que ceux du marché mondial.

La structure du groupe n'a pas échappé, elle aussi au changement. Avant c'était la structure hiérarchique qui régnait, aujourd'hui, c'est tout à fait le contraire. La structure est devenue, depuis quelques années, fonctionnelle. Maintenant, c'est la communication qui règne (Voir figure ci-dessous).



UNIVERSITÉ SIDI MOHAMMED BEN ABDELLAH - FÈS  
FACULTÉ DES SCIENCES ET TECHNIQUES  
DÉPARTEMENT DE GÉNIE MÉCANIQUE

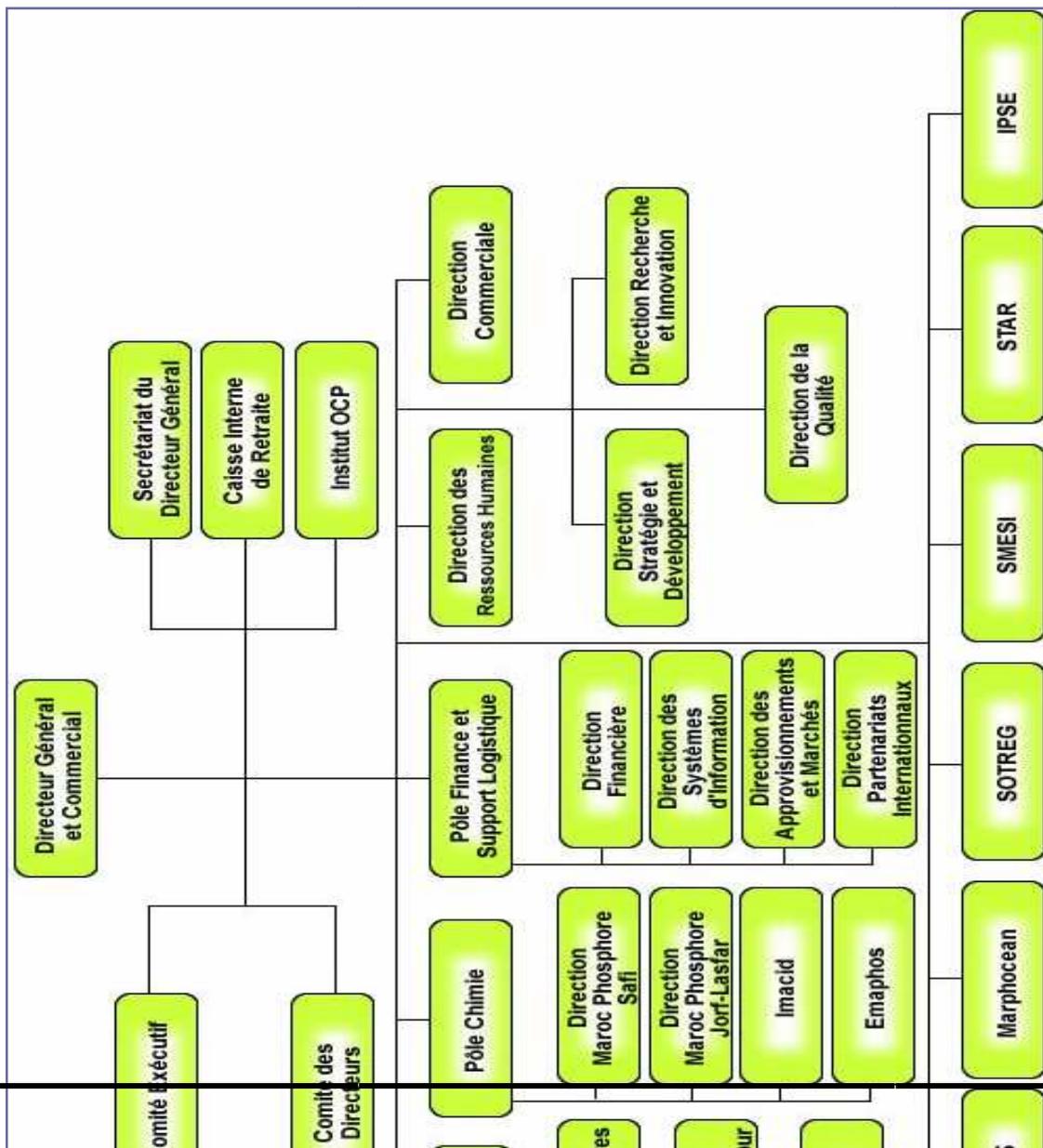




Figure I-2 : Organigramme du Groupe OCP

## 5. Fiche Technique

- **Forme Juridique** : Société anonyme de registre du commerce : Casablanca 40.327 ;
- **Capital Social** : 8,6 milliards de dollar us (2008) ;
- **Secteur d'activités** : Extraction, valorisation et commercialisation des phosphates et produits dérivés ;
- **Produit(s)** : Phosphate et dérivés phosphatés (acide phosphorique, engrais) ;
- **Site web** : [www.ocpgroup.ma](http://www.ocpgroup.ma);
- **Siege social** : Angle route d'El Jadida, Boulevard de grand BP5196 Casablanca ;
- **Président général** : M. TERRAB MOSTAPHA ;
- **Effectif** : 18000 dont 6% ingénieurs et équivalents.

## 6. Filiales du groupe OCP

Dans le but de la diversification de son activité et afin de bénéficier d'une meilleure gestion de la richesse, l'office a créé plusieurs filiales qui constituent à ce jour le groupe OCP, on cite à ce propos en plus de l'OCP les filiales suivantes :

- **SOTREG** (Société des Transports Régionaux): Elle assure le transport des agents de l'OCP travaillant à l'extérieur de la ville ;
- **SMESI** (Société Marocaine des Etudes Industrielles): Chargée d'assurer des études industrielles objectives et pratiques pour le compte de l'OCP ;
- **MARPHOCEAN** (Société Marocaine de Transport Maritime des Produits Chimiques): Entreprise maritime spécialisé dans le transport de l'acide phosphorique ;



- **IPSE** (Institut de Promotion Socio-éducative): Elle dispense un enseignement fondamental de qualité pour les fils des agents du groupe ;
- **MAROC PHOSPHORE** : Chargé du traitement industriel du phosphate et sa mise en valeur en produisant les principales dérivées de minerai ;
- **CERPHOS** (Centre d'Etudes et Recherches des Phosphates Minéraux) : Créé en Octobre 1975, il a pour mission l'organisation et l'exécution de toute l'activité d'analyses, d'études et des recherches scientifiques et techniques liées directement ou indirectement à l'exploitation et à la valorisation des phosphates et des produits dérivés.

### 7. Les joint-ventures

- **IMACID** : Indo Maroc Phosphore S.A est une société indo-marocaine créée en 1997 sur le site de Jorf Lasfar. Un capital social de 619 998 millions de DH, est détenu à raison d'un tiers chacun par OCP .SA, Chambal Fertilizers and Chemicals Ltd et Tata Chemicals Ltd, IMACID produit et commercialise de l'acide phosphorique. Sa capacité de production est de 430 000 tonnes par an. La société a produit 298 340 tonnes de  $P_2O_5$  clarifié, le chiffre d'affaires a plus que doublé en augmentant de 105% entre 2007 et 2008 passant de 1,95 milliard de DH à 4 milliards ;
- **EMAPHOS** : EMAPHOS S.A, créé en 1996 à Jorf Lasfar est doté d'un capital de 180 millions de DH détenu à égalité par trois actionnaires : OCP S.A, Société Chimique Prayon Rupel et Chemische Fabrik Budenheim. Son activité principale est la fabrication et la commercialisation d'acide phosphorique purifié avec une capacité de production de 150 000 tonnes  $P_2O_5$ , les ventes ont baissé de 128 545 tonnes en 2007 à 102 048 tonnes en 2008, le chiffre d'affaires a doublé (+ 199%), passant de 1,06 milliard de DH en 2007 à 2,11 milliards en 2008 ;
- **PAKISTAN MAROC PHOSPHORE** : Pakistan Maroc Phosphore a été créé en 2004 avec un capital de 800 millions de DH partagé à égalité entre OCP S.A et le groupe pakistanais Fauji, avec une capacité installée de 375 000 tonnes  $P_2O_5$ , Pakistan Maroc Phosphore a pour activité la production et la commercialisation de l'acide phosphorique marchand, les usines ont été inaugurés par Sa Majesté le Roi Mohammed VI le 30 octobre 2008. Cette même année, la société a produit 188 896 tonnes dont 166 346 tonnes ont été vendues. le chiffre d'affaires de cette première année d'activité s'est élevé à 2,64 milliards de DH pour un résultat net de 93,49 millions de DH ;
- **BUNGE MAROC PHOSPHORE** : Société anonyme au capital de 900 millions de DH, Bunge Maroc Phosphore a été créé le 15 avril 2008 à Jorf Lasfar et a débuté ses activités en mars 2009. Le capital est détenu à parts égales par l'OCP S.A et le Brésilien Bunge Koninklijke. Bunge a pour activité la fabrication et la commercialisation d'acide phosphorique, d'engrais phosphatés et azotés et d'autres produits dérivés. Les capacités de production installées sont les suivantes : Acide phosphorique de 375 000 tonnes de  $P_2O_5$  par an, Engrais (MAP/DAP) de 340 000 tonnes équivalent MAP par an, Engrais (TSP/MAP) de 270 000 tonnes équivalent TSP par an.

### 8. Les Trois principaux Produits de l'OCP

L'OCP maîtrise toute la chaîne de la création de valeur de l'industrie phosphatère : extraction et traitement du minerai, transformation de cette matière première en un produit liquide intermédiaire,



l'acide phosphorique, et la fabrication des produits finis par concentration et granulation de cet acide ou par purification : Engrais, Acide phosphorique purifié.

### 8.1. Le phosphate brut

Le phosphate brut est exploité pour son contenu en phosphore. La teneur du phosphate en phosphore, mesurée en pourcentage de  $P_2O_5$  (pentoxyde de phosphore), détermine sa qualité. Elle varie de 5 % à 45 %. A moins de 30 %, le plus gros de la production, le minerai subit un premier traitement sous forme de lavage, séchage ou enrichissement à sec ;

### 8.2. L'acide phosphorique

Il est obtenu par réaction de l'acide sulfurique avec le calcium de phosphate. La teneur moyenne du produit intermédiaire ainsi obtenu après concentration est de 52 % de  $P_2O_5$ . L'acide phosphorique purifié est destiné à des applications alimentaires et industrielles.

### 8.3. Les engrais

L'OCP produit quatre types d'engrais à partir de l'acide phosphorique : le DAP (qui est l'engrais le plus courant), le TSP (engrais exclusivement phosphaté), le MAP (engrais binaire à deux éléments fertilisants : phosphore et azote) et le NPK (engrais ternaire à base d'azote, de phosphore et de potassium).

## 9. A propos du phosphate

Constitue un élément essentiel des cellules vivantes de l'homme. Chez les animaux, il apparaît dans les os et les dents. Chez les végétaux, c'est lui qui véhicule l'énergie produite par photosynthèse.

Matière naturelle, le phosphore est présent partout. On le rencontre chaque jour. Dans la pâte dentifrice que l'on utilise le matin et dans la plupart des aliments (laitages, œufs, viandes, poissons, légumes et fruits secs). Il est également à la base de certains produits pharmaceutiques et peut être utilisé dans l'alimentation animale, dans la fabrication de détergents, la conservation des aliments et bien d'autres applications.

Mais on le sait, c'est principalement pour la fertilisation des terres que les phosphates minéraux présentent une importance primordiale. On les utilise comme engrais. La plus grande partie de la production mondiale (85%) sert d'ailleurs aux engrais destinés aux sols.

En quantité appropriée, le phosphore contribue à développer les racines de la plante, à faciliter son alimentation et à la rendre plus résistante face aux maladies. Autant de vertus qui permettent d'augmenter les récoltes, tant sur le plan quantitatif que qualitatif. Cela veut dire que le phosphate joue un rôle essentiel dans la productivité agricole, et du même coup dans l'alimentation de l'Homme.

## 10. Pole chimie JORF LASFAR



Situé sur le littoral atlantique, à 20 km au Sud-ouest d'El Jadida, le complexe industriel de JORF LASFAR a démarré sa production en 1986. Cette nouvelle unité a permis au groupe OCP de doubler sa capacité de valorisation des phosphates. Le site a été choisi pour ses multiples avantages :

- Proximité des zones minières permettant son alimentation en phosphate (Khouribga) ;
- Existence d'un port à tirant d'eau important ;
- Disponibilité de l'eau de mer et de l'eau douce ;
- Disponibilité de terrains pour les extensions futures.

Cet ensemble, qui s'étend sur 1700 hectares, permet de produire chaque année 2 millions de tonnes de  $P_2O_5$  sous forme d'acide phosphorique, nécessitant la transformation de 7,7 millions de tonnes de phosphate extraits des gisements de Khouribga, 2 millions de tonnes de soufre et 0,5 millions de tonnes d'ammoniac.

Une partie de la production est transformé localement en engrais DAP (Phosphate di-ammoniaque), MAP (Phosphate mono-ammoniaque), éventuellement NPK (Azote Phosphore-Potasse) et TSP (Triple superphosphate), ainsi qu'en acide phosphorique purifié, l'autre partie est exportée sous forme d'acide phosphorique marchand via les installations portuaires locales.

### **11. Présentation du service d'accueil**

Avant de présenter les projets ODI's, donnant une présentation du lieu de déroulement du stage : IDD.

L'IDD signifie la Direction de Développement Industriel, elle a pour but la gestion des projets, plutôt une gestion coordonnée d'un programme industriel, son rôle est d'élaborer la stratégie en matière de production industrielle en cohérence avec la stratégie globale de l'entreprise : Choix de positionnement et d'organisation industrielle à grande échelle, négociation des contrats et accords avec des partenariats industriels, etc.

La figure ci-dessous donne la représentation de la nouvelle organisation de l'IDD, ainsi que ses objectifs clés :

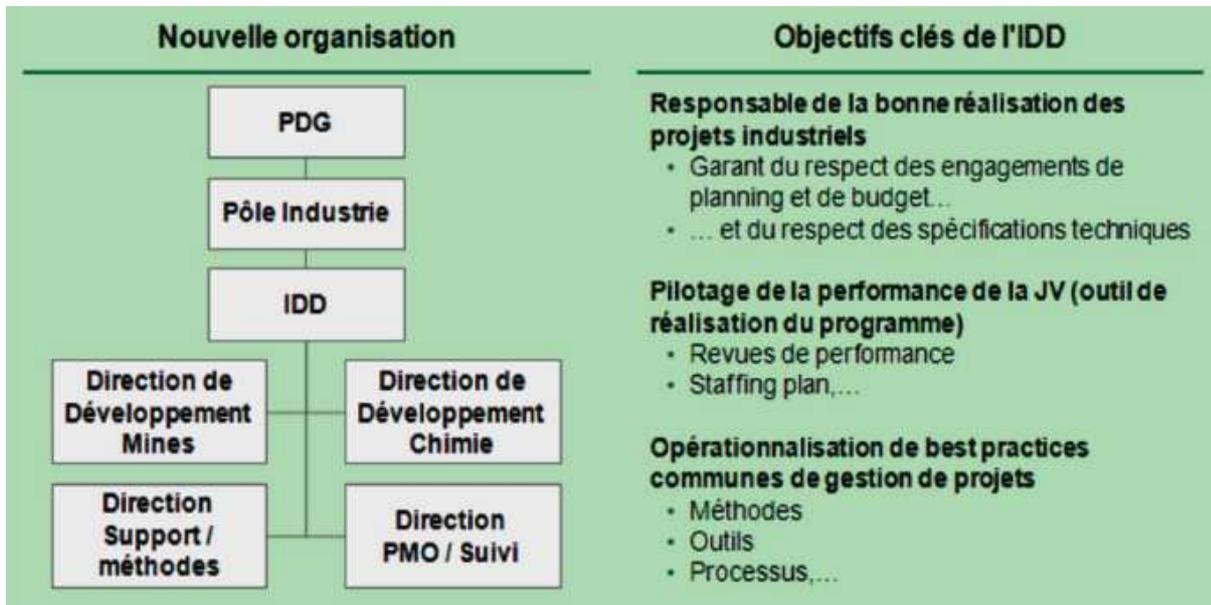


Figure I-3 : Objectifs clés de l'IDD

En septembre 2009, les études conceptuelles et les estimations ont été lancées (livrables en 2010) pour deux nouveaux projets, deux lignes de granulation, d'une capacité de 850 kT/an de DAP chacune, et une usine intégrée d'acide phosphorique et d'engrais ODI (Owner Direct Investment) d'une capacités de 450 kT P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>/an pour l'acide et 940 kT P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>/an pour le DAP, la mise en service estimée pour les lignes est en juin 2013.

## 12. Présentation des projets ODI'S

Les projets ODI's (Owner direct Investment) sont des nouveaux projets qui vont être réalisé par le groupe OCP. En effet 10 futures usines de production des engrais seront construites selon le même modèle et composées principalement par les éléments suivants :

- Un atelier d'acide sulfurique d'une capacité de 1 350 000 tonnes métriques par an (base humide) (4 200 tonnes/jour) ;
- Un atelier d'acide phosphorique d'une capacité de 450 000 tonnes métriques P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> par an (1 400 tonnes/h) ;
- Un atelier d'engrais d'une capacité de 950 000 tonnes/an (équivalent DAP) ;
- Une centrale thermoélectrique d'une capacité de production d'environ 40 mégawatts/jour.

La construction d'une seule usine va durer 36 mois selon les estimations, et elle a pour but d'atteindre une capacité de 950 00 tonnes d'engrais. Le démarrage de l'ODI site P1 est prévu en mars 2014. Le budget général est d'environ 2,13 milliards de dirhams.

Les 10 ODI's seront réalisées à l'horizon de 2020, dont 4 seront réalisées d'ici 2015 (les quatre sont en construction actuellement), telle que deux ODI's respectivement P1 et P 3 sont réalisés en



partenariat avec le groupe sud-coréen Daewoo Engineering Construction, qui se charge de l'installation et du montage des équipements, de tous ce qui est tuyauterie ou charpente.

La figure II-2 montre un plan global de l'implantation de l'ODI, alors que la figure II-3 présent le schéma général des différents procédés :

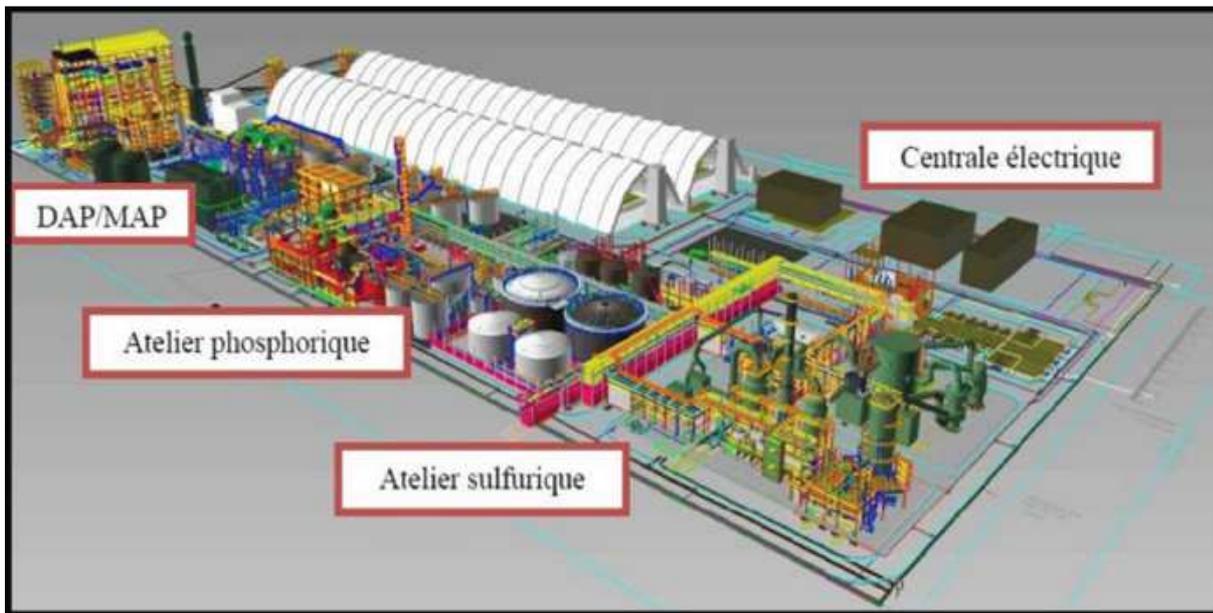


Figure I-4 : Description générale d'un ODI

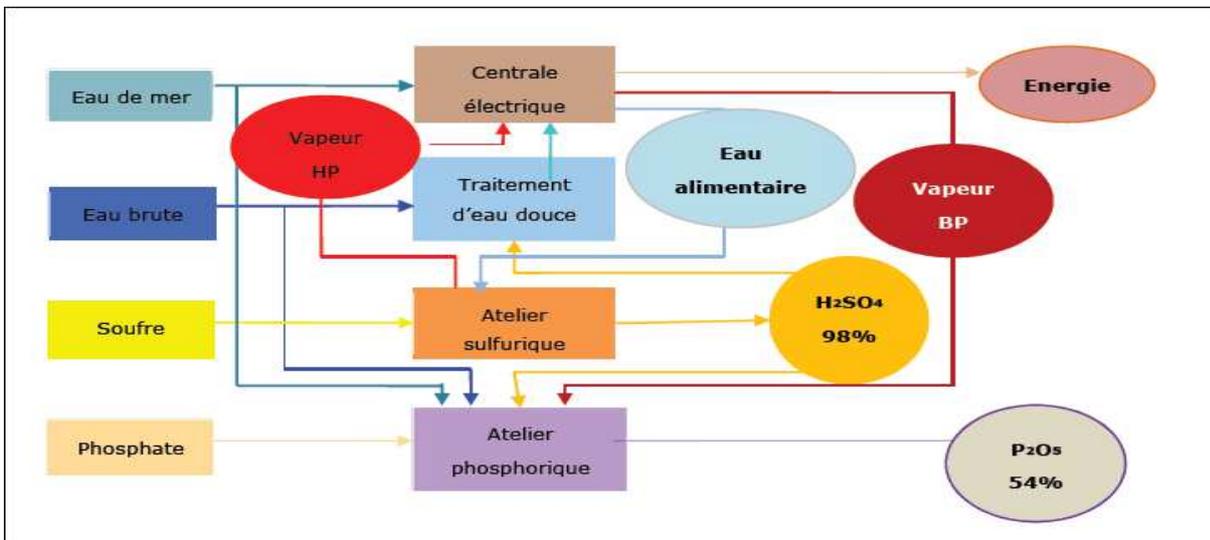


Figure I-5 : Diagramme bloc des différents procédés de l'ODI

### 13. Description de l'unité sulfurique de l'ODI



L'acide sulfurique est un liquide incolore, inodore, sa masse molaire est de 98,08 g/mol. C'est un produit oxydant et déshydratant, réagit vivement avec des métaux en poudre, carbures, chlorates, etc. en produisant une très grande quantité de chaleur.

L'acide sulfurique est utilisé dans la fabrication des engrais (superphosphates), l'industrie des textiles artificiels, le décapage en sidérurgie, le lessivage des minerais, l'industrie pétrolière, la fabrication des colorants, et l'industrie des explosifs.

Découvert en 1831 en Angleterre, il s'agissait de l'oxydation du dioxyde de soufre ( $\text{SO}_2$ ) en trioxyde de soufre ( $\text{SO}_3$ ) sur un catalyseur au platine. Cette réaction n'a été adoptée par l'industrie qu'en 1872.

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

La figure ci-dessous résume les différentes étapes de fabrications de l'acide sulfurique :

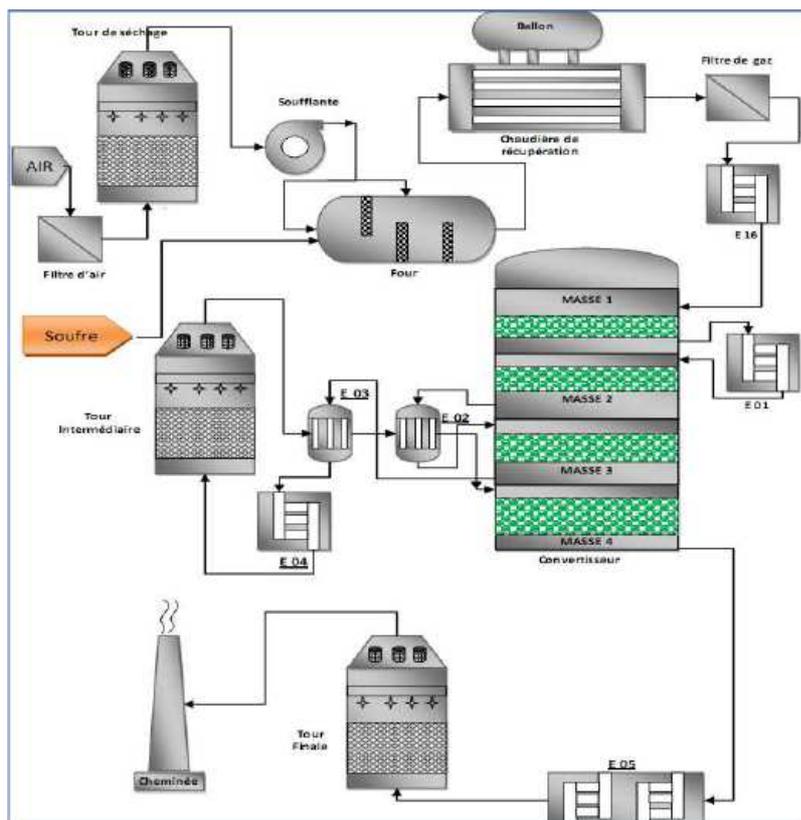


Figure I-6 : Schéma du procédé de fabrication de l'acide sulfurique

Le procédé de production d'acide sulfurique au sein de l'atelier de production se l'acide sulfurique de l'ODI s'appuie sur les étapes suivantes :



- Unité de stockage du soufre ;
- Combustion ;
- Conversion ;
- Absorption ;
- Production de la vapeur.

Ci-après la description des différentes étapes du processus ainsi que les réactions mises en jeu. Les différentes étapes suivantes résumant le processus mise en jeux pour la fabrication de l'H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>.

### 13.1. Unité de stockage du soufre

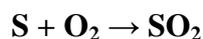
Le soufre élémentaire est la matière de départ du processus. De ce fait, l'industrie de l'acide sulfurique repose sur le soufre.

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 au port. Ce liquide est stocké dans des bacs de grande capacité 1500m<sup>3</sup>. L'alimentation de l'atelier se fait par des pompes antiacides immergées dans les bacs.

La circulation du produit à travers toute l'installation est assurée par des conduites calorifugées et entourées par la vapeur basse pression pour garder les propriétés physiques du liquide à une température de 130°C à 140°C.

### 13.2. Combustion

Avant que cette étape soit déclenchée, l'air nécessaire à la combustion doit être préalablement filtré et séché dans la tour de séchage alimentée par l'acide sulfurique (déshydratant) à fin d'éliminer l'humidité de l'air atmosphérique qui est un générateur de corrosion, en fait le soufre liquide réagit avec de l'oxygène pour former le dioxyde de soufre SO<sub>2</sub> selon la réaction exothermique suivante :



La réaction est accompagnée d'un dégagement de chaleur, cette énergie est exploitée par le biais de la chaudière qui produit de la vapeur saturée HP. Les gaz produits sont envoyés vers un filtre à gaz dans le but d'éliminer de la cendre et de la saleté du jet de gaz.

### 13.3. Conversion de SO<sub>2</sub> en SO<sub>3</sub>

Les gaz venant du chambre de combustion subissent la réaction de conversion par laquelle le gaz (SO<sub>2</sub>) est transformée en (SO<sub>3</sub>). Cette opération est effectuée dans un appareil appelé **le convertisseur**, équipé de plusieurs lits ou passes successifs de catalyseur au vanadium (V<sub>2</sub>O<sub>5</sub>).

Les gaz sortant des chaudières passent à travers un filtre à gaz pour retenir les cendres contenant du soufre, puis arrivent à la 1<sup>ière</sup> passe du catalyseur au vanadium nécessaire pour activer la cinétique de la conversion du (SO<sub>2</sub>) en (SO<sub>3</sub>), ils subissent une conversion partielle suivant la réaction d'oxydation exothermique suivante :



Dans la seconde phase du procédé, le (SO<sub>2</sub>) se combine rapidement en présence du catalyseur avec l'oxygène restant pour former du (SO<sub>3</sub>) mais à une température plus basse que celle au moment où il a quitté le four. C'est pourquoi il est nécessaire de refroidir le produit à la sortie, dans la chaudière de récupération.

La température d'entrée du gaz avant d'entrer à chaque passe du convertisseur doit être correctement maintenue au environ de 420°C.

Après la 1<sup>ère</sup> passe, le gaz est refroidi dans le surchauffeur de vapeur E01 où la vapeur est surchauffée par exposition aux gaz chauds. La température du gaz à l'entrée de la 2<sup>ème</sup> passe catalytique est contrôlée par le by-pass de gaz autour de ce surchauffeur.

Le gaz traverse le catalyseur de la 2<sup>ème</sup> passe catalytique pour poursuivre la conversion avec une génération de chaleur additionnelle.

Le gaz est refroidi à nouveau à l'intérieur des tubes d'un échangeur gaz/gaz E02 afin d'augmenter le rendement de la conversion dans la 3<sup>ème</sup> passe catalytique dont la température d'entrée est contrôlée aussi par un by-pass.

Le gaz traversant la 3<sup>ème</sup> passe catalytique est également refroidi dans un échangeur gaz/gaz E03 et dans un économiseur E04 traversé coté tube par de l'eau alimentaire. La température du gaz est contrôlée par un by-pass, ensuite envoyé vers la tour d'absorption intermédiaire où on récupère le (SO<sub>3</sub>).

Le (SO<sub>2</sub>) restant retourne dans le convertisseur pour une transformation maximale dans la 4<sup>ème</sup> passe catalytique.

La tour final a pour rôle d'absorber tout le gaz (SO<sub>3</sub>) sortant de cette passe.

### 13.4.Absorption

C'est la dernière étape du processus, elle consiste à absorber le gaz (SO<sub>3</sub>) provenant du convertisseur et le transformer en acide sulfurique (H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>) au niveau des deux tours d'absorption intermédiaire et finales.

Elle consiste à pulvériser l'acide sulfurique concentré en haut de la tour et de faire entrer le gaz (SO<sub>3</sub>) en bas de celle-ci, la réaction mise en jeu est la suivante :



Le produit (H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>) est stocké dans des bacs de stockage et une partie d'acide est envoyé vers l'atelier de traitements des eaux, pour effectuer les travaux d'analyse.



### 13.5. Production de la vapeur

Grâce à la grande température du gaz sortant du four, on peut faire transformer l'eau alimentaire en une vapeur à haute pression, et grâce aussi aux réactions exothermiques on récupère la vapeur produite de l'unité sulfurique et on l'envoie vers la centrale thermique pour la production de l'électricité.



Figure I-7 : Vue 3D de l'unité sulfurique

### 14. Conclusion

L'objet de ce premier chapitre a été de présenter l'organisme d'accueil, l'Office Chérifien des Phosphates, le chapitre suivant va donner une présentation générale du projet.



## Chapitre II

# Présentation du projet

Avant d'entamer le sujet de la conception il faut tout d'abord faire une étude de ce qui existe déjà sur le terrain : Le convertisseur et sa fonction, le catalyseur et ses caractéristiques, la manière de transport du catalyseur aux passes du convertisseur appliquée, afin d'élaborer une liste de problèmes et d'inconvénients affrontés lors de ce transport et enfin tracer une démarche adéquate et efficace pour les résoudre.

### 1. Introduction

L'O.C.P. est un pôle industriel et économique très important au MAROC, il a pour rôle d'exploiter les gisements de phosphate brut pour produire de nombreuses matières telles que l'acide sulfurique, l'acide phosphorique, les engrais, etc.

La production de l'acide sulfurique nécessite la conversion du ( $\text{SO}_2$ ) en ( $\text{SO}_3$ ), cette conversion se réalise à l'intérieur de chaque passe du convertisseur en présence d'un catalyseur au vanadium. Ce dernier doit être transporté et installé dans les quatre passes du convertisseur.

Dans ce chapitre on va décrire d'une part, le convertisseur et donner toutes les informations nécessaires concernant son rôle, le catalyseur au vanadium qui joue un rôle très important dans cette conversion, la situation actuelle des travaux d'introduction, et aussi l'opération de tamisage de ce dernier, d'autre part, on va aborder les différentes méthodes d'analyse du projet, pour répondre à un besoin envisagé, et résoudre les divers problèmes rencontrés.

### 2. Le convertisseur

#### 2.1. Description du convertisseur



C'est un réacteur vertical en acier inoxydable d'un diamètre de 16,4m, et d'une hauteur d'environ 20m (voir annexes). Tous les accessoires, raccords, déflecteurs, et colonnes à l'intérieur du convertisseur sont aussi en acier inoxydable. Du bas vers le haut le convertisseur est divisé en quatre parties appelées **PASSES** (voir photo)



Dans chaque passe, l'autre et des galets différents utilisés, convertisseur vers l

de grilles fixées l'une a re types de catalyseurs suivant du haut du

\_\_\_\_\_

		catalyseur (Litre)	Nombre de BIG BAG de chaque passe (≈)
4 <sup>ème</sup> passe	SCX 2000	386 800	387
3 <sup>ème</sup> passe	XLP 110	314 400	314
2 <sup>ème</sup> passe	XLP 120	256 800	257
1 <sup>ère</sup> passe	XLP 220	202 400	203

Bas du convertisseur

### 2.2. Fonction du convertisseur

Le convertisseur a pour fonction d'effectuer la réaction chimique entre le dioxyde de soufre (SO<sub>2</sub>) et l'oxygène (O<sub>2</sub>) pour former du trioxyde de soufre (SO<sub>3</sub>). Le catalyseur vise à accélérer la réaction, c'est à dire de réduire le temps nécessaire pour que la réaction atteigne l'équilibre et de lui permettre d'avoir lieu a une température moins élevée. Le catalyseur n'est ni affecté, ni consommé.

Le convertisseur est conçu pour convertir 99,9% du (SO<sub>2</sub>) en (SO<sub>3</sub>) au débit prévu, dans les conditions normales de fonctionnement.

### 3. Procédé de tamisage du catalyseur et mise en BIG BAG



### 3.1. Opération de tamisage

Le catalyseur est extrait du convertisseur en utilisant le vide. Il est collecté dans un équipement en forme de cyclone puis acheminé dans un crible mécanique à deux lits qui sépare le quartz du catalyseur en même temps qu'il crible celui-ci. Le quartz et le catalyseur sont collectés dans des BIG BAGS et sont stockés jusqu'à ce qu'ils soient prêts à être réinstallés dans le convertisseur. Le catalyseur doit être stocké à l'intérieur ou à l'extérieur à condition de prévoir une protection contre les intempéries.

Le débit d'extraction du catalyseur du convertisseur doit être réglé à 2000 litres par heure pour minimiser l'effritement du catalyseur.

Le dispositif par lequel se fait le tamisage est muni d'une soufflante, cyclone, des tamis, vannes, etc. (voir photo).



**Dispositif du tamisage**

### 3.2. Le BIG BAG



**a) Définition du BIG BAG :**

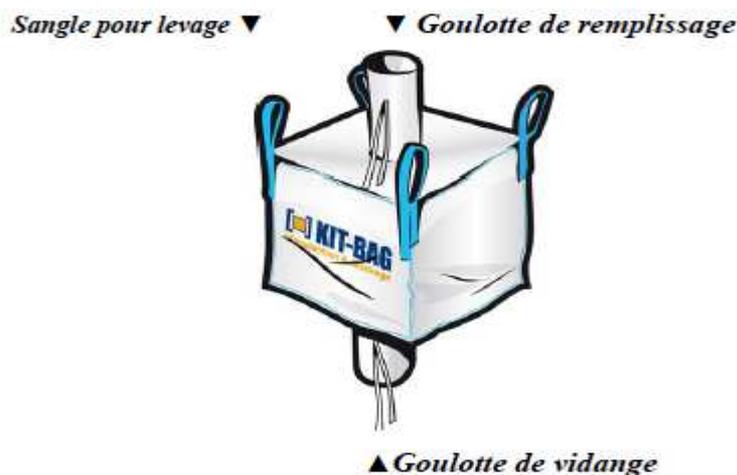
Les BIG BAGS sont des sacs industriels amovibles, de grandes dimensions et munis de sangles, en polypropylène, tissés pour le transport en vrac, en poudres et en grains, de produits, de marchandises et de déchets de différents types, issus de la chimie, du bâtiment, de l'agroalimentaire, etc.

C'est selon l'utilisation finale du BIG BAG que les spécifications telles que le poids de la toile, la qualité de l'enduction, le type de doublure et le type d'ouverture et de fermeture, ainsi que les autres options, sont définies. Le BIG BAG ne peut être manipulé manuellement une fois rempli. Le marché offre des dimensions variables : 1/2 m<sup>3</sup>, 1 m<sup>3</sup>, 1,5 m<sup>3</sup>, 2 m<sup>3</sup> et même plus.

**b) Description du BIG BAG :**

Le BIG BAG utilisé pour le stockage du catalyseur, est un sac imperméable, à sa partie supérieure, des boucles ou sangles pour levage aux coins, et aussi une goulotte de remplissage à son centre, et à sa partie inférieure, il est muni d'une option de décharge avec bec, ou goulotte de décharge (voir photo), Ses caractéristiques sont les suivantes :

- Volume 1 m<sup>3</sup> ;
- Dimensions 95 X 95 X 125 cm ;
- Sangle de levage 30 cm ;
- Goulotte de remplissage 40 X 50 cm ;
- Goulotte de décharge ou vidange 40 X 50 cm.



**4. Caractér**

**4.1. Forn**

Les types des cat

au ci-dessus:

**Tableau II-2 :** Caracteristiques du catalyseur de chaque passe du convertisseur

Caractéristiques ▼	XLP 220	XLP 120	XLP 110	SCX 2000
Forme	Strié	Strié	Strié	Anneau
Masse volumique (Kg/l)	0,7	0,6	0,44	0,6



ies :



Le transport en phase solide. Il doit être manipulé délicatement pour qu'il conserve sa forme géométrique afin d'assurer une catalyse optimale. Il peut être affecté par l'humidité de l'air ou endommagé par l'eau. Sa masse volumique maximale est de 0,7kg/l et c'est la masse volumique du catalyseur de la première passe du convertisseur XLP 220.

### 5. Méthode actuelle de convoyage et d'installation du catalyseur dans le convertisseur

Pour préparer l'installation du catalyseur, on nettoie l'intérieur, ainsi que les diverses fixations dans le convertisseur à l'aide de brosses métalliques. Les travailleurs doivent nettoyer leurs chaussures avant d'y entrer.

Toutes les fixations intérieures doivent être assemblées dans le convertisseur avant de commencer l'installation du catalyseur, pour être certain que l'installation puisse se poursuivre sans retard du aux fixations. Une fois la préparation du convertisseur est terminée le transport du catalyseur et son installation commencent. Ce transport est réalisé actuellement selon les étapes suivantes :

- Les travailleurs déplacent les BIG BAGS stockés dans le hangar par chariot auprès d'une grue placée à côté du convertisseur ;
- L'élévation des BIG BAGS se fait, un par un, à l'aide de cette grue ;
- Deux travailleurs situés en haut à la porte de la passe du convertisseur reçoivent le BIG BAGS, et ensuite le vident dans un grand entonnoir dirigé vers l'intérieur de la passe ;
- À l'autre bout de l'entonnoir, à l'intérieur de la passe du convertisseur, d'autres ouvriers munis chacun d'un sac similaire au sac d'emballage d'origine du catalyseur ou de petits récipients reçoivent le catalyseur à tour de rôle et l'installent sous forme d'une couche ou lit à une épaisseur bien déterminée sur un matériau de support qui consiste généralement en des galets de quartz meules de 13mm sur 25mm et qui ne doivent pas s'écailler à 630°C. Une couche de galets de 50 mm est prévue sur chaque ensemble de grilles. Une fois cette couche soigneusement nivelée, elle est suivie du volume de catalyseur indiqué. Le travailleur peut



utiliser une planche de 50 mm d'épaisseur comme guide pour la couche de quartz inférieure. Une couche similaire de galets de quartz doit être également placée au-dessus de la couche du catalyseur ;

- Le catalyseur doit être manipulé délicatement. Il ne faut pas le jeter ni le déverser depuis une hauteur élevée ;
- Après avoir placé la quantité de catalyseur indiquée, les travailleurs doivent niveler soigneusement la couche pour garantir l'uniformité de l'épaisseur dans le lit du catalyseur. Si le nivelage n'est pas adéquat, cela créera un flux excessif dans les points faibles, ce qui peut entraîner une mauvaise conversion.

Cette méthode de transport et d'installation du catalyseur sans tenir en compte la période de préparation du convertisseur nécessite un arrêt de production de plus de 40 jours, 8h de travail par jour, est caractérisée par un débit de  $Q_{\text{méthode traditionnelle}} \approx 2169.3 \text{ kg/h}$ . Le nombre de travailleurs impliqués dans cette opération dépasse 16 personnes, Ils doivent installer environ:

- 387 BIG BAGS dans la 4<sup>ème</sup> passe ;
- 314 BIG BAGS dans la 3<sup>ème</sup> passe ;
- 357 BIG BAGS dans la 2<sup>ème</sup> passe ;
- 203 BIG BAGS dans la 1<sup>ère</sup> passe.

On constate que cette méthode n'est pas rentable sur le plan économique, et professionnel. Elle présente beaucoup d'inconvénients, c'est ce qu'on va détailler dans la problématique.

## 6. Problématique

La définition de la problématique est une étape primordiale, elle permet de bien comprendre le problème et mesurer l'écart entre la situation actuelle et voulue, dans un but de trouver les solutions les plus adaptées. C'est la première étape à franchir vers une bonne résolution, ce qui me permettra de cibler mes champs d'actions.

La problématique de mon projet de fin d'études consiste à trouver une solution évoluée, efficace, et en même temps simple, pour substituer et remplacer la méthode traditionnelle et actuelle de transport et d'installation des lits de catalyseur, dans les passes du convertisseur.

La méthode de transport et d'installation du catalyseur existante est très lente, ce qui pose de nombreux problèmes :

- Un arrêt de production qui dépasse 40 jours ce qui entraîne des pertes économiques ;
- La poussière toxique et agressive du catalyseur irrite pour la gorge et les poumons, matière toxique et agressive ;
- La lenteur du transport impose aux ouvriers un long contact avec le catalyseur surtout dans les passes ;
- Mauvaises conditions de travail, et effort physique important afin d'introduire le catalyseur dans les passes du convertisseur par la méthode actuelle ;
- L'utilisation des lampes calorifiques pour produire de la chaleur afin de combattre l'humidité qui risque d'altérer le catalyseur prend une longue durée, à cause de la lenteur du transport,



ce qui suscite à son tour un sur plus de gaspillage d'énergie, et en plus le complexe industriel de l'OCP d'EL JADIDA se situe à Jorf Lasfar sur une zone côtière (océanique) où règne l'humidité.

Une méthode couramment utilisée pour définir le problème est le QQQOPC, ce qui signifie Quoi ? Qui ? Où ? Quand ? Pourquoi ? Comment ?

Le fait de répondre à ces questions permet de cerner le problème et de le formaliser afin de bien le comprendre.

**Tableau II-3 : Méthode QQQOPC**

<b>Quoi ?</b>	<b>De quoi s'agit-il :</b> Conception d'un système pour remplacer la méthode traditionnelle d'installation du catalyseur dans le convertisseur.
<b>Qui ?</b>	<b>Qui est concerné ?</b> Les nouveaux projets ODI's et les différentes usines de production du complexe industriel et même pour les autres sites de l'OCP : Safi, etc.
<b>Où ?</b>	Le groupe OCP.
<b>Quand ?</b>	Durant la Période de mon stage.
<b>Pourquoi ?</b>	Pour améliorer la production.
<b>Comment ?</b>	Par la mise en place d'un système performant technologique performant et évolué.

## 7. Définition du projet

### 7.1. Carte du projet

En gestion de projet, une carte de projet est un résumé qui donne une vue générale sur ce dernier et de quoi s'agit-il ? C'est une définition initiale ciblant des informations bien précises.

**Tableau II-4 : Carte du projet**

<b>Nom du projet</b>	
<b>Conception d'un système pour l'installation du catalyseur dans le convertisseur</b>	
<b>Processus Concerné</b>	
<b>Les nouveaux projets ODI's et les usines de production du complexe industriel du groupe OCP</b>	
<b>Période du projet</b>	
<b>Date de début : 02\09\2013 ; Date de fin : 31\12\2013</b>	
<b>Description du projet</b>	
<b>Conception d'un système évolué et technologique pour facilité l'installation du catalyseur dans les passes du convertisseur, d'une façon rapide et efficace.</b>	
<b>Objectifs financières</b>	
<b>Amélioration de la productivité</b>	

7.2

Equipement du projet

Pour travailler



ailler sur un projet et atteindre les objectifs fixés, j'ai travaillé dans une équipe et grâce à ses aides et interventions j'ai pu achever mon travail en respectant le délai alloué, cette équipe de pilotage se compose de :

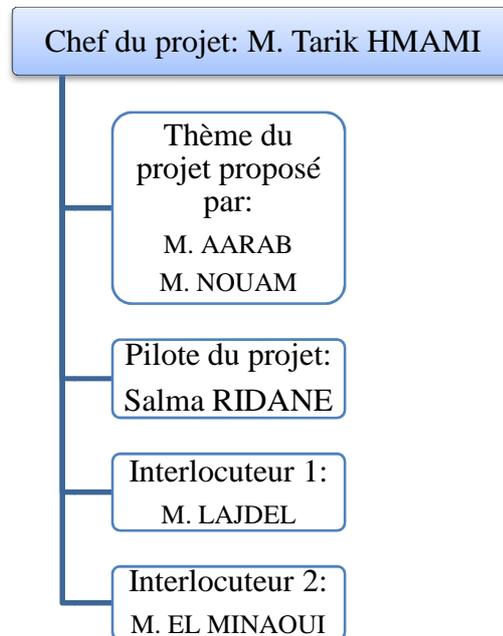


Figure II-5 : Equipe du projet

## 8. Analyse des risques

Le risque dans un projet est un élément à identifier, car il peut avoir de lourdes conséquences sur le déroulement du projet et sur sa réussite. Il faut donc identifier les risques au plus tôt, très en amont dans le cycle du projet.

Tableau II-6 : Analyse des risques

Famille de risques	Risques	Impact	Actions préventives
Planning	Non-respect du planning.	Non respect du délai alloué pour la conception du projet.	Faire des diagnostics sur l'état d'avancement du projet.
Technique	Non-respect des normes et des conditions de la conception.	Impact sur les objectifs du projet.	Respecter les normes et respecter les conditions pour une bonne conception en vérifiant ce respect à chaque fois avec les interlocuteurs.



<b>Economique</b>	Manque des moyens de financement du projet.	Impact sur la motivation.	Négocier avec les parties concernées la possibilité de financer le projet en essayant de les convaincre par l'importance du projet et de ces gains.
<b>Sécurité</b>	Système non sécuritaire.	Non-qualité et accidents.	Travailler sur un grand intervalle de sécurité.
<b>Humaine et Social</b>	Manque d'intérêt sur le projet.	Implication des intervenants concernée.	Assumer les responsabilités.
<b>Organisationnel</b>	Absence s'encadrement, pas d'interlocuteurs, manque d'informations, etc.	L'efficacité du projet et le taux du rendement.	Essayer au maximum de renforcer l'équipe du projet à travailler en contactant ces différents membres jusqu'à l'obtention des informations nécessaires.

**Gérer les risques**, c'est essentiel pour réagir en cas de survenance d'événements pouvant déséquilibrer le projet.

### 9. Démarche d'étude du projet

Pour aborder la problématique précitée, on a adopté une démarche d'étude basée sur un ensemble des outils.

Le schéma suivant présente la démarche d'étude en général du projet :

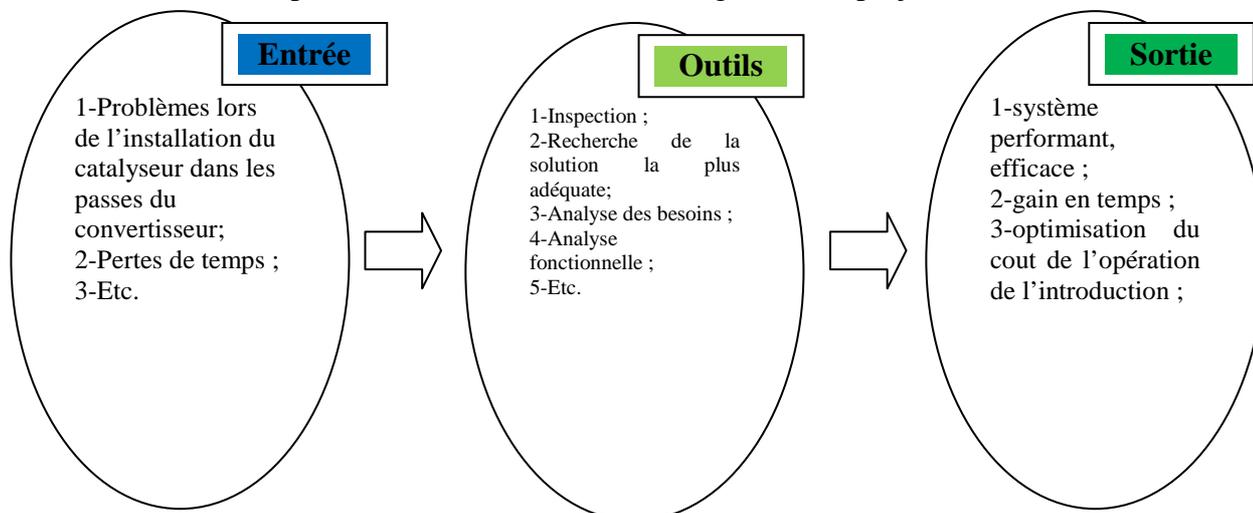




Figure II-7 : La démarche d'étude

## 10. Analyse des besoins (Expression fonctionnelle des besoins)

Dans tout projet de conception d'un système, il est très important de bien comprendre les besoins et les attentes de l'entreprise, pour en tenir compte dans le processus de conception, ce qui me permettra de jouer le rôle d'ingénieur, afin de créer une solution qui répond à ces besoins et attentes.

### 10.1. Focus groupe

Rassemblement et contact de différents interlocuteurs pour déterminer les besoins relatifs au système à concevoir, la liste des besoins établie est la suivante :

- D'abord la sécurité avant tout, il faut prendre en considération la sécurité des opérateurs, qui vont utiliser le système conçu, surtout que le règlement interne du groupe insiste beaucoup sur la sécurité.
- Il faut respecter l'environnement, et prendre en considération les zones disponibles pour l'emplacement du système ;
- Garantir la qualité du système conçu ;
- Optimiser le cout du système conçu ;
- Simplifier la maitrise du système en établissant un manuel d'utilisation ;
- Durée de vie longue du système ;
- Concevoir un système performant et innovant ;
- Respect des normes ou /et des règlements internes ;
- Le système solution doit être accepté esthétiquement ;
- Etudes et dimensionnement du système selon les normes;
- Il faut bien gérer la durée du stage donné pour arriver à terminer la conception à temps ;
- Assurer la stabilité du système ;
- Faciliter le déplacement et assurer une certaine mobilité du système ;
- Assurer un rendement maximal, et minimiser le maximum le temps d'arrêt de la production.

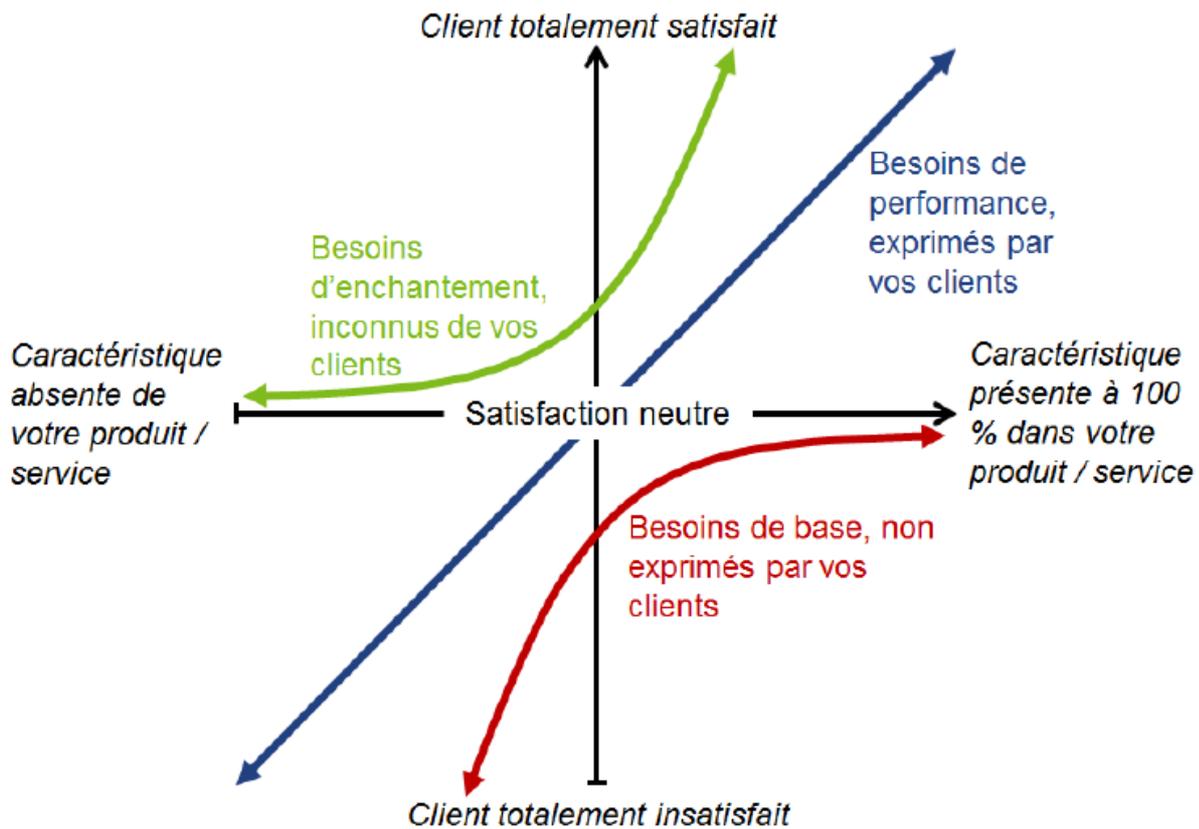
### 10.2. Le modèle de KANO

Le diagramme de Kano, développé par le Dr. Noriaki Kano à la fin des années 70, démontre que la satisfaction des clients dépend à la fois de la réalisation d'attentes basiques implicites (non exprimées), d'attentes proportionnelles (exprimées) et de la capacité à proposer des éléments de valorisation « enthousiasmant » non attendus par le client.

Alors le modèle de Kano définit trois types d'attentes clients :



- 1-Les attentes de base ;
- 2-Les attentes proportionnelles ;
- 3-Les attentes attractives et d'excitation.



**Figure II-8 : Diagramme de Kano**

**Tableau II-9 : Diagramme de Kano**

<b>Attentes d'Excitation</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Rapidité du système pour minimiser le temps d'arrêt par rapport à la méthode traditionnelle ;</li> <li>• Rendement maximal ;</li> <li>• Simplification de la maitrise du système ;</li> <li>• Système performant et innovant ;</li> </ul>
<b>Attentes de Performance</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Mobilité du système ;</li> <li>• Qualité du système ;</li> </ul>



	<ul style="list-style-type: none"><li>• Optimisation du cout du système ;</li></ul>
<b>Attentes de Base</b>	<ul style="list-style-type: none"><li>• Respect des normes ;</li><li>• Système sécurisé ;</li></ul>

## 11. Analyse fonctionnelle

### 11.1. Fonctions d'un produit

#### 1) Notion d'une fonction d'un système à concevoir

Pour s'assurer que le système puisse satisfaire les besoins de l'entreprise, il faut s'occuper des services qu'il rend. La notion de la fonction met en œuvre ce principe, elle est un élément fondamental de l'analyse de la valeur et du cahier des charges fonctionnel (CDCF).

#### 2) Typologie des fonctions

Un système peut assurer en général un grand nombre de fonctions de natures différentes dont certaines sont plus importantes que d'autres. Dans certains cas, il est nécessaire de les différencier, de les classer et de les hiérarchiser.

##### Fonctions de service :

- **Fonctions de service :** Fonctions liées aux services ou à l'usage d'un produit, elles décrivent ou définissent une action du produit répondant à un besoin ou une attente de l'utilisateur.  
Suivant les besoins, une fonction de service peut-être classée en fonction d'usage ou d'estime, en fonction principale ou complémentaire, en contraire ;
- **Fonction d'usage :** C'est une fonction de service liée à l'aspect utilitaire du produit « définit l'utilité matérielle d'un produit » ;
- **Fonction d'estime :** C'est une fonction de service ayant un impact psychologique ou affectif sur l'utilisateur du produit « esthétique, image, style, etc. ».

##### Fonctions principales et complémentaires-contraintes :

- **Fonction principale :** Fonction essentielle du produit, elle justifie sa création. Un même produit peut avoir plusieurs fonctions principales ;



- **Fonctions complémentaires** : Elles rassemblent toutes les fonctions, de service ou techniques, complémentaires aux fonctions principales du produit ;
- **Fonctions contraintes** : Ce sont des fonctions complémentaires particulières imposant des limites aux fonctions principales.

### Fonctions techniques « de construction » ou « de conception » :

Les fonctions de service sont voulues et sont directement perçues par le client. Elles font la valeur d'un produit.

Les fonctions techniques, principales ou complémentaires, sont les plus souvent ignorées du client et ne donnent pas directement de la valeur au produit. Cependant, la qualité du produit et la parfaite réalisation de ses fonctions de service en dépendant.

- **Fonctions techniques** : Elles résultent d'actions internes au produit et dépendent de la conception et des solutions technologiques choisies pour réaliser les fonctions de service précédentes.

#### 11.2. Analyse fonctionnelle

Avant de passer à l'action et commencer à travailler et entrer dans le détail du projet, il faut d'abord bien comprendre le problème pour arriver à trouver la solution la plus adéquate rapidement, en facilitant la tâche et en respectant le temps donné donc, il faut établir une démarche claire et précise vu le temps limité que j'ai, et arriver à compléter ma mission à temps, d'où la nécessité d'une analyse fonctionnelle au début pour connaître toutes les fonctions que doit respecter mon mécanisme puis la mise en place d'un cahier de charge par la suite, ce qui sert à reformuler le problème et se mettre les idées au clair et surtout avoir une vision précise de ce que je dois faire.

#### Etape 1 : Recherche des fonctions

Cette première étape de l'analyse consiste à formuler toutes les fonctions du système, il y'a plusieurs méthodes pour effectuer cette recherche, je vais me contenter de la méthode RESEAU plus précisément je vais utiliser le brainstorming et l'examen de l'environnement, c'est suffisant pour trouver les fonctions nécessaires pour la conception et aussi car à ce stade la, je ne peux pas utiliser les autres méthodes RESEAU comme l'analyse d'un produit de référence puisqu'il n'existe pas un système de référence, celui-là est le premier à mettre en œuvre et puisqu'aussi le mécanisme n'a pas une image claire maintenant pour établir les scénarios d'utilisation et l'examen des efforts et des mouvements, concernant l'utilisation des normes, c'est par défaut il faut les respecter.

#### 1) R : recherche intuitive (brainstorming)

Après des visites effectués au chantier plus précisément Maroc Phosphore, après plusieurs questions posés aux agents qui ont été en contact avec le catalyseur en effectuant son tamisage et son introduction aux passes du convertisseur, et bien sur en tenant compte des avis aussi du personnel du service IDD, j'ai construit une liste d'idées qui sont :

- D'abord la sécurité avant tout il faut prendre en considération la sécurité du personnel qui va utiliser le système conçu, surtout que le règlement interne de la société insiste beaucoup sur la sécurité ;
- Il faut respecter l'environnement du convertisseur, et prendre en considération les zones disponibles pour l'emplacement du mécanisme ;



- Respect des normes ou /et des règlements internes ;
- Le mécanisme solution doit être accepté esthétiquement ;
- Etudes et dimensionnements avant de passer à la modélisation et la CAO ;
- Il faut bien gérer la durée de stage donné pour arriver à terminer la conception à temps ;
- Stabilité du mécanisme ;
- Faciliter le déplacement et l'utilisation du mécanisme ;
- Minimiser le cout ;
- Prendre en considération le matériel et les installations de la société pour question de standardisation ;
- Durée de vie du mécanisme longue ;
- Eviter ou bien minimiser le maximum les pannes du système pour qu'elle ne nécessite pas des interventions et une perte de temps à chaque fois, et assurer un rendement maximal ;
- Assuré la fixation de la structure ;
- Travailler sur un grand intervalle de sécurité pour le système conçu.

## 2) E : Examen de l'environnement :

Au cours de sa vie le système se trouvera alors en interaction avec des lieux, d'autres systèmes et des gens différents. Il devra s'adapter à ces contextes, de manière à continuer à rendre les services attendus.

### Les fonctions d'adaptation :

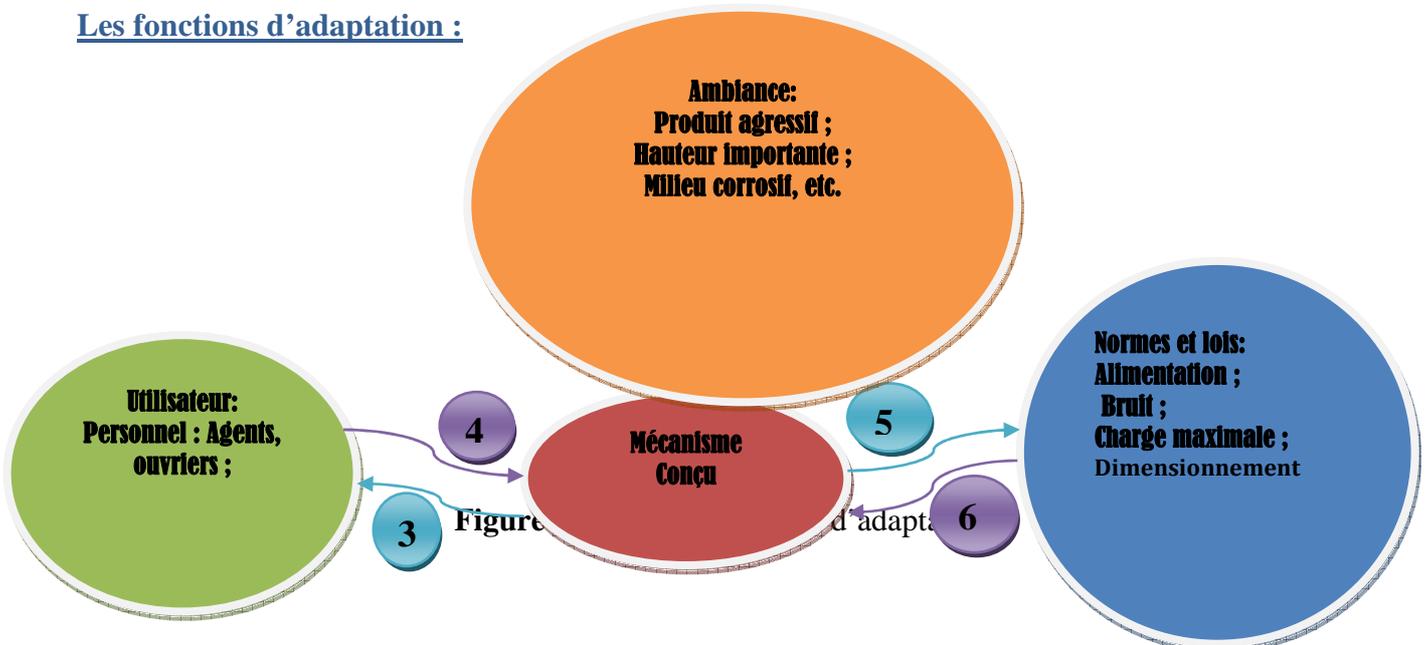


Tableau II-11 : Les fonctions d'adaptation



<b>(1)</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Résistance à la corrosion ;</li> <li>• Essayer de minimiser le maximum la poussière que produit le catalyseur ;</li> <li>• Prendre en considération l’encombrement et la hauteur importante du convertisseur ;</li> <li>• Etc.</li> </ul>
<b>(2)</b>	-----
<b>(3)</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Protéger l'utilisateur ;</li> </ul>
<b>(4)</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Faciliter le déplacement et l'utilisation du système conçu ;</li> <li>• Minimiser l'effort personnel généré lors de l'installation du catalyseur dans les passes du convertisseur ;</li> <li>• Etc.</li> </ul>
<b>(5)</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Respecter les normes ;</li> <li>• Assurer la sécurité ;</li> <li>• Respecter les zones disponibles ;</li> <li>• Eviter le bruit ;</li> <li>• Assurer l'alimentation ;</li> <li>• Etc.</li> </ul>
<b>(6)</b>	-----

Les fonctions d'interaction :

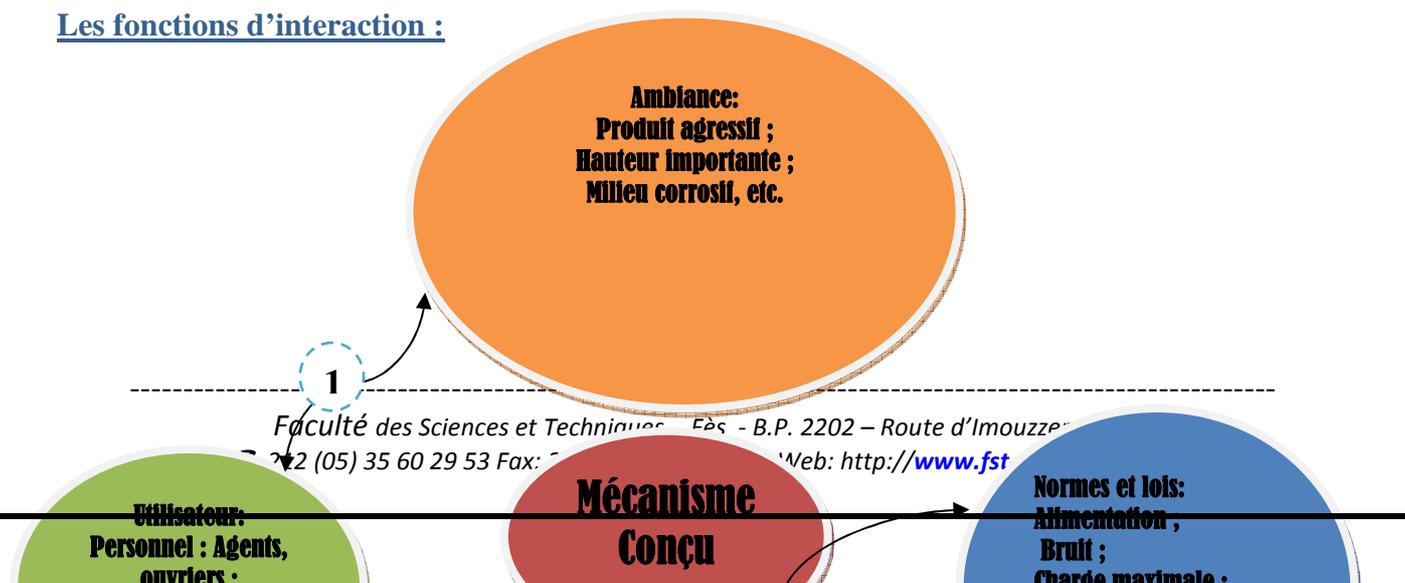




Figure II-12 : Les fonctions d'interaction

Tableau II-13 : Les fonctions d'interaction

(1)	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Penser à utiliser une enceinte fermée pour minimiser la poussière produite par le catalyseur lors de son introduction ;</li> <li>• Utiliser un facteur de sécurité qui prend en compte le milieu corrosif.</li> </ul>
(2)	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Assurer l'alimentation du système, et ne pas l'utiliser pour d'autres fonctions, hors de l'objectif pour lequel il est établi et conçu.</li> </ul>

**Etape 2 :  
les fonctions**

Cette étape ordonner les

**Ordonner**

consiste à fonctions

selon le niveau d'importance, en les classant en fonctions principales et secondaires, dans notre cas toutes les fonctions trouvées sont des fonctions principales, mais on peut classer la fonction d'esthétique comme fonction secondaire et citer les plus importantes comme fonctions principales :

- a. Assurer la sécurité du personnel lors de l'utilisation mécanisme conçu ;
- b. Respecter l'encombrement et l'espace disponible autour le convertisseur ;
- c. Etude et dimensionnement du système selon les normes ;
- d. Stabilité du système ;
- e. Optimiser le cout du système et minimiser le temps d'arrêt de la production ;
- f. Facilité le déplacement, l'utilisation du mécanisme et assurer sa mobilité ;
- g. Gérer bien le temps de la conception en respectant la durée donnée.

**12. Définition du cahier des charges fonctionnel**

Le cahier des charges, c'est la définition, l'expression écrite des besoins à satisfaire il sert à formaliser le besoin en terme de fonctions à assurer et d'objectifs à atteindre.

L'opération de transport et d'installation du catalyseur dans les passes du convertisseur doit être réalisée rapidement, afin de limiter et minimiser d'une part la durée d'exposition du catalyseur à l'humidité, d'autre part la durée d'arrêt de production, et améliorer le rendement économique, Cette rapidité du transport limitera les risques d'atteinte aux maladies professionnelles.



D'où il est nécessaire de mettre en place un système de transport d'une manipulation facile et sécurisée, d'une durée de vie élevée, un cout optimisé, et d'une mobilité efficace et adéquate, d'une ligne à l'autre pour cela on va :

- Trouver une solution adéquate répondant aux besoins déjà cités, qui respecte toutes les fonctions et répond à la problématique en tenant compte des caractéristiques du catalyseur qu'on veut introduire et installer dans le convertisseur ;
- Dimensionner le système selon les normes ;
- Passer à la modélisation en utilisant Catia v5, et analyser les dispositifs critiques de ce dernier ;
- Finalement évaluer la valeur ajoutée par le projet au Groupe OCP.

### 13. Plan d'action du projet

En se basant sur le cahier des charges précité, on a élaboré un plan d'action en tenant compte le temps alloué pour ce projet :

**Tableau II-14 : Diagramme Gant du projet**

Date	Septembre				Octobre				Novembre				Décembre			
	S1	S2	S3	S4	S1	S2	S3	S4	S1	S2	S3	S4	S1	S2	S2	S4
Phase d'intégration																
Proposition du thème de projet																
Phase de recueil des informations																
Etude de l'existant																
Définition du cahier de charges																
Etude et																





## **Chapitre III**

# **Conception d'un système de transport pneumatique pour l'installation du catalyseur dans les quatre passes du convertisseur**

Le présent chapitre représente les démarches de la conception d'un système de transport pneumatique pour l'installation du catalyseur dans les quatre passes du convertisseur, afin de résoudre quelques problèmes intéressants qui influencent la production et qui produisent des pertes importantes, et cela en concevant un système évolutif, efficace, et performant.

### **1. Introduction**

Afin d'étudier et dimensionner le système de transport pneumatique du catalyseur à concevoir, il faut d'abord donner une définition des systèmes de transport pneumatique, les domaines d'application de ces derniers, les modes de transport, puis le choix de la solution et les différentes études et analyses.

### **2. Définition des systèmes de transport pneumatique**

Les systèmes de transport pneumatique sont généralement assez simples et sont appropriés pour le transport des matières pulvérulentes et granulaires, dans lesquels les particules en vrac, et les matériaux en général sont déplacés sur des distances horizontales et verticales dans une tuyauterie à l'aide d'un courant d'air comprimé, en utilisant soit la pression positive (transport par refoulement) ou négative (transport par aspiration) d'air ou d'autres gaz.

La matière à transporter est forcée à travers les tuyaux et enfin séparée du gaz vecteur et déposée à la destination désirée. Les exigences du système alors sont tout simplement une source de gaz comprimé, habituellement de l'air comprimé (pour les matières explosives un gaz inerte tel que l'azote peut être employés dans ce cas là), comme étant un dispositif d'alimentation, un pipeline de transport et un récepteur pour séparer le produit à transporter du gaz porteur.



Un avantage particulier est que les matériaux peuvent être introduits dans des récipients de réception maintenus à une pression élevée si nécessaire.

Les systèmes de transport pneumatique sont utilisés dans divers domaines industriels et non industriels, en raison d'une série d'avantages par rapport aux autres systèmes de transport, on trouve par exemple :

- **Flexibilité** : les matériaux peuvent être acheminés d'un endroit à un autre à une certaine distance avec une certaine flexibilité de telle sorte plusieurs points d'alimentation peuvent être transformé en une ligne commune, et une seule ligne peut être déchargée dans un certain nombre d'endroits de réception, les systèmes de transport pneumatique peuvent être disposés de tuyaux horizontaux, et verticaux, de haut en bas, et avec des virages, selon les points de réception de la matière transportée.
- **Variabilité des matières transportées** : Une grande variété de matières est manipulée sous forme de poudre et de granulés. Les industries ont des processus qui impliquent leur transfert, stockage, et ont plusieurs exigences qui peuvent être satisfaites en utilisant un système de transport pneumatique.
- **Etc.**

En revanche, les systèmes de transport pneumatiques ont aussi quelques inconvénients, c'est qu'ils exigent des produits aux caractéristiques bien définies (ce qui est respecté dans le cas du catalyseur, donc ça n'empêche pas d'adapter un système de transport pneumatique), et présentent une dégradation des canalisations et une haute consommation d'énergie dans le cas de la phase diluée, qu'on va expliquer par la suite.

Mais en général, il est clair que les inconvénients d'un système pneumatique sont négligeables devant ces avantages.

### 3. Histoire et domaines d'application de transport pneumatique

Les systèmes de transport pneumatique ont une longue histoire, les bases et les principes pneumatiques ont été formulés par le héros grec d'Alexandrie depuis 100 ans avant JC. D'autre part, la notion des matières à transporter dans un réseau de canalisations également apparaît avec les romains, bien qu'il y ait eu diverses applications de transport pneumatique plus tôt dans de nombreuses civilisations, le premier transport documenté de particules solides était enregistré en 1847. A l'usine Peugeot en France, le principe de transport pneumatique a été utilisé pour l'évacuation de la poussière à partir d'un nombre de meules à l'aide d'un ventilateur d'extraction.

Un certain nombre d'applications de transport pneumatique étaient remarqués pendant les dernières décennies du 19<sup>ème</sup> siècle dans quelques endroits en Europe et en particulier, dans les domaines de transport et la manutention des grains, cette période était marquée par plusieurs évolutions des systèmes de convoyage pneumatiques comme l'utilisation des systèmes à pression négative, des distributeurs à vis, à vannes, etc.

Au cours de la première guerre mondiale, le développement de transport pneumatique a été influencé par la forte demande pour les aliments, etc. Donc pour répondre à ces demandes, les systèmes de transport pneumatiques ont été la solution dans ces situations. Après la guerre ces systèmes ont été utilisés pour les matières industrielles, comme le charbon et le ciment.



À partir des approches théoriques, les inventions des ventilateurs, l'introduction des réservoirs de soufflage, etc. ont été parmi les jalons de l'évolution des systèmes de transport pneumatiques pendant la période de guerre.

Aujourd'hui, le transport pneumatique est une technique populaire très utilisée dans plusieurs domaines et secteurs, on peut citer par exemple :

- Les industries chimiques ;
- Les industries pharmaceutiques ;
- Les industries agricoles ;
- Les industries minérales ;
- Les transports d'aliments ;
- Etc.

Pratiquement, toutes les poudres et les matières granulaires peuvent être transportées en utilisant ces systèmes.

#### 4. Principaux types des systèmes de transports pneumatiques

Dans la manutention des produits en vrac, on distingue deux phases d'écoulement : une phase diluée et une phase dense, cette méthode de classification des systèmes de transport pneumatique est basée sur les modes de transport, qui dépend de la vitesse de l'air à l'entrée du pipeline. Selon cet aspect, Les systèmes de transport pneumatique peuvent être classés en deux catégories différentes, qu'on va décrire brièvement comme suit :

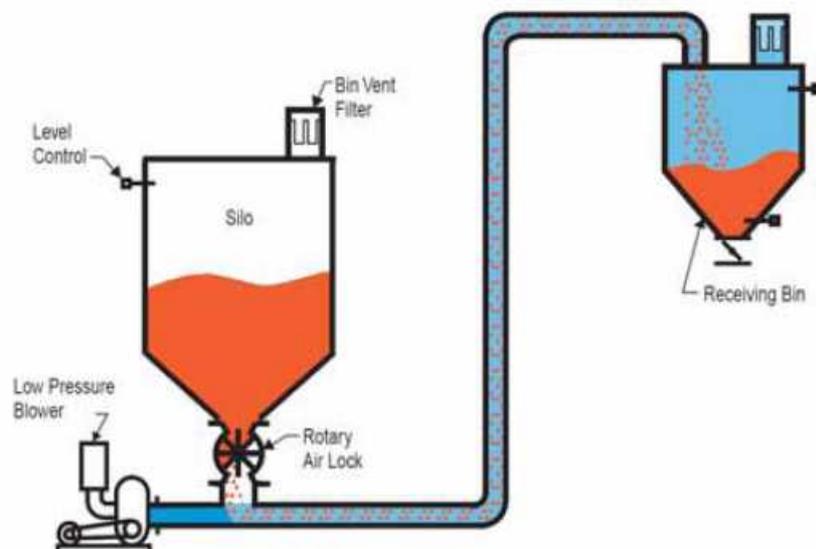
##### 4.1. Les systèmes de transport pneumatique en phase diluée

En utilisant de grands volumes de gaz à des vitesses élevées, le transport de la matière particulaire en mode de suspension est habituellement appelé, transport en phase diluée.

La phase diluée est une phase dans laquelle la concentration moyenne en solide est faible, généralement inférieure à 10 (exceptionnellement elle peut atteindre 20). Les particules solides en suspension dans le gaz sont dispersées.

Dans ce mode, le produit en vrac est transporté par un courant d'air de vitesse suffisante pour l'entraîner et le ré-entraîner sur une distance qui dépend de la pression disponible.

La figure ci-dessous montre un schéma d'un exemple typique du transport pneumatique en phase diluée :





**Figure III-1** : Schéma d'un exemple typique de transport pneumatique en phase diluée

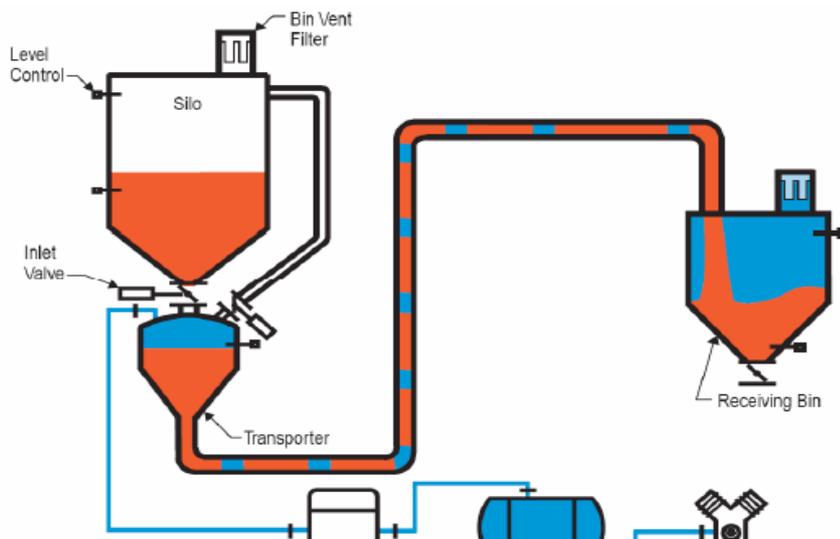
Le transport en phase diluée est caractérisé par des vitesses élevées, il présente beaucoup d'inconvénients. Actuellement, la technique la plus répandue est le transport en phase dense, c'est un mode de manutention qui présente plusieurs avantages.

### 4.2. Les systèmes de transport pneumatique en phase dense

La phase dense est une phase dans laquelle la concentration moyenne en solide est comprise entre 10 et 50%. Les particules solides ne sont plus à l'état dispersé.

En réduisant la vitesse du gaz, les produits en vrac peuvent être transportés dans un mode de stratification avec une concentration de matière solide non uniforme sur la section transversale du tuyau ou flexible, le produit est poussé à travers un pipeline comme un bouchon ou un lit mobile, qui occupe toute sa section transversale à une pression qui dépend de la distance.

La figure ci-dessous montre un schéma d'un exemple typique de transport pneumatique en phase dense :



**Fig**  
En général,  
caractéristic  
les deux typ

se dense  
transport et les  
nparaison entre  
ique

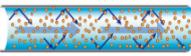
PHASE DILUEE	PHASE DENSE
<b>Inconvénients</b>	<b>Avantages</b>
<b>i) Vitesse de transport</b>	
élevée	réduite
<ul style="list-style-type: none"> <li>- dégradation excessive du produit</li> <li>- usure importante de la conduite</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- dégradation minimale des produits, d'où la possibilité de convoier des matériaux friables</li> <li>- usure minimale de la tuyauterie, donc possibilité de transporter des produits abrasifs</li> </ul>
<b>ii) Quantité du gaz de transport</b>	
élevée	réduite
<ul style="list-style-type: none"> <li>- consommation importante d'énergie</li> <li>- transport d'une faible quantité de matière</li> <li>- difficile de trouver un compromis économique quand il s'agit d'un transport avec gaz inerte ou tout</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- réduction de la consommation énergétique</li> <li>- possibilité d'utiliser un gaz inerte ou tout autre gaz noble</li> <li>- quantité importante de matière transportée</li> </ul>



Pour éviter les blocages dans les pipelines et pour faciliter l'acheminement efficace sans dégradation des particules des produits, il faut choisir au début du convoyage et à la section d'entrée une valeur optimale de la vitesse du gaz de départ.

Le tableau suivant donne quelques détails sur les deux modes de transport pneumatique, en citant la les marges de vitesse pour chaque mode de transport :

**Tableau III-4 : Informations générales sur les deux modes de transport pneumatique**

Types de flux	Description	Dépressurisation jusque bar (abs.)	Sur pression jusque bar (abs.)	Granulation De - jusque $\mu$ m (mm)	Vitesse m/sec début-fin	Rapport $\mu$ Kg/produit Kg/gaz	Application sur produit
<b>solids Fly Pneu</b> 	<b>Transport en phase diluée.</b> Système classique de transport pneumatique aussi bien par pression que vide, où le produit est transporté en suspension et dilué dans un flux d'air	0,5	2,5	0,0005 - 20	<b>Produit</b> 12 - 36 <b>Air</b> 15 - 45	jusqu'à environ 10	Farines, céréales, semoule, pulvérulents, dechets, poussière en général
<b>solids Fluid Pneu</b> 	<b>Transport en phase dense</b> Système de transport en phase dense pour des produits fin à bonne rétention d'air, en utilisant la force de poussée de l'air	0,2	4,0	0,01 - 1	<b>Produit</b> 3 - 15 <b>Air</b> 5 - 20	15 - 30	Ciment, calcaire broyé cendres volantes, bentonite, chaux vive, hydroxyde de calcium, absorbants, poudre, acide téréphtalique, craie

Av  
pa  
tra  
ce.

érentes  
ge et de  
st pour

**Tableau III-5 : Comparaison entre les différents systèmes de convoyage et transport appliqués en industrie**

Systèmes mécaniques	Systèmes hydrauliques	Systèmes pneumatiques
<ul style="list-style-type: none"> <li>L'installation nécessite généralement des zones et espaces très importants ;</li> <li>Encombrant, et constitué de plusieurs pièces mobiles ;</li> <li>Certains systèmes comme l'élévateur à charge peut élever des charges allant jusqu'à quelques tonnes à la fois, mais doit être fixe et non pas mobile ;</li> <li>Consomme beaucoup d'énergie par rapport aux autres systèmes</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Le catalyseur ne doit pas être transporté et déplacé par des systèmes hydrauliques qui peuvent le dégrader et l'écraser comme les vérins à cause de sa fragilité, sachant que le groupe OCP n'accepte pas plus de 10% d'endommagement de la quantité totale du catalyseur ;</li> <li>Les élévateurs utilisant des vérins ne sont pas appropriés, parce qu'ils</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Meilleures performances ;</li> <li>Plus simples en cas de destinations multiples ;</li> <li>Idéal pour le transport sur des longues distances ;</li> <li>Pression de fonctionnement beaucoup plus faible que dans les systèmes hydrauliques, la force générée par les systèmes pneumatiques est donc beaucoup plus faible que celle générée par les systèmes</li> </ul>



<p>de transport : hydraulique et pneumatique ;</p> <ul style="list-style-type: none"><li>• Très avantageux pour le transport des produits non fragiles, ce qui n'est pas approprié pour le catalyseur sujet de mon projet et qui est fragile ;</li></ul>	<p>nécessitent l'intervention d'un grand nombre d'agents pour les opérations de manutention ce qui peut endommager le catalyseur à cause des déplacements et ce qui ne conserve pas et ne protège pas les grains du catalyseur ;</p> <ul style="list-style-type: none"><li>• Le système hydraulique fonctionne en se basant sur les pressions des huiles, ce qui nécessite une filtration continue et un nettoyage de ces composants d'où plusieurs interventions pour son maintien ce qui empêche la continuité du transport, et engendre des pertes de temps ;</li></ul>	<p>hydrauliques, ce qui permet d'éviter l'endommagement du catalyseur ;</p> <ul style="list-style-type: none"><li>• Les compresseurs ne peuvent pas fournir de grands volumes d'air pressurisés sur demande, c'est pourquoi l'air est comprimé dans des réservoirs au-delà de la pression de fonctionnement. Ces réservoirs agissent à titre d'accumulateur d'énergie potentielle ce qui permet leur utilisation dans des applications mobiles autonomes ;</li><li>• Les systèmes pneumatiques sont ouverts: le compresseur aspire et comprime l'air ambiant alors que les retours d'air usé sont rejetés dans l'atmosphère. Il est donc inutile de prévoir des lignes de retour ;</li><li>• La facilité de contrôle, d'automatisation, et la flexibilité dans les installations sont parmi les avantages les plus favorables ;</li><li>• Comme les systèmes pneumatiques sont complètement enfermés, le risque de contamination, et de la perte du matériel et d'émission de poussières (donc, la</li></ul>
------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------



		<p>pollution de l'environnement) sont réduits ou éliminés, en particulier dans le cas du transport des matières dangereuses pour la santé ;</p> <ul style="list-style-type: none"><li>• Faibles coûts d'investissement, d'installation et de maintenance, en raison du faible nombre de pièces mobiles ;</li></ul>
--	--	--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

D'où on a aboutit à la réponse aux questions qui se posent, et qui sont les suivantes : Quel système on doit utiliser ? Pourquoi on a choisi un système de transport pneumatique comme étant une solution et non pas un autres ?

Après une longue réflexion, en étudiant tous les paramètres et toutes les contraintes existantes (l'espace d'installation, l'encombrement, la hauteur du convertisseur, la vitesse du transport, le coût, etc.), et après plusieurs sorties au chantier malgré les difficultés rencontrées concernant ces visites, parce que les unités de production sont loin par des dizaines de kilomètres du service ou le stage a été effectué qui était sous forme de bureaux démontables, et en négociant avec les agents qui ont proposé le thème du projet, à partir des problèmes qu'ils avait rencontrés lors de l'installation et l'introduction du catalyseur dans les différentes passes du convertisseur, on propose alors plusieurs choix comme :

- Un élévateur à charge puisqu'il est capable de transporter l'immense charge du catalyseur existante en une durée très courte, mais il doit être fixé au convertisseur et il est impossible de le déplacer d'une ligne de production à une autre, donc il nous faut un élévateur pour chaque ligne, ce qui est impossible de réaliser vue le coût ;
- Un convoyeur à bande, l'installation de ce système nécessite un espace très vaste vu la hauteur du convertisseur, même si ce système nous résoudra le problème de la durée de transport du catalyseur, et régularisera la main d'œuvre, il est impossible de l'installer puisque l'espace existant est étroit, et aussi il est encombrant et immobile ce qui le rend inutile dans notre cas ;
- Un système hydraulique n'est pas le choix à cause de ses inconvénients (voir le tableau de comparaison ci-dessus) ;
- Autres systèmes, mais toujours je me suis confronté aux contraintes existantes.

Enfin, on a choisi le système de transport pneumatique à cause des avantages qu'il présente. Il est avantageux et idéal pour cette situation malgré quelques problèmes ou inconvénients qui sont sans importance majeur, et négligeables dans le cas du projet et ne présentent pas de grands problèmes.

#### **6. Dimensionnement du système de transport pneumatique du catalyseur pour l'installer dans les passes du convertisseur**



## 6.1. Description

### a) Schéma pneumatique du système

Avant de passer aux différents calculs et dimensionnements, il faut d'abord donner une idée générale sur le système, de quoi s'agit-il ? Pour bien comprendre par la suite les différents calculs de dimensionnement de ces composantes.

La figure suivante donne une idée brève sur le principe général du système, sans entrer dans le détail et les différents autres accessoires de ce dernier.

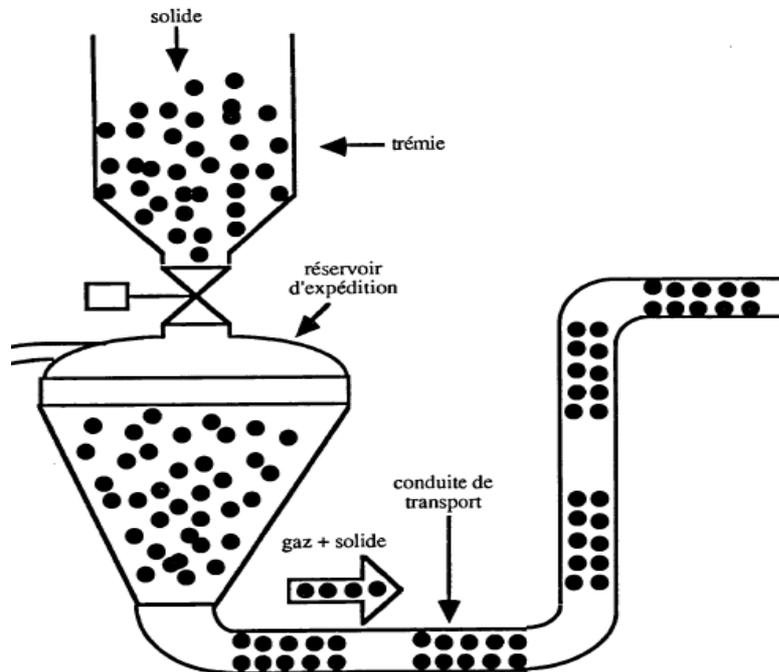


Figure III-6 : système de

Schéma général du transport

### b) Principe du fonctionnement

Le réservoir d'expédition est utilisé pour introduire à des pressions moyennes et hautes le catalyseur dans le circuit du transport pneumatique.

Il n'y a pas de composantes mécaniques dans le flux du catalyseur transporté, d'où peu d'entretien et surtout pas de bris du catalyseur, et donc éviter son endommagement et comme c'est déjà cité, le groupe OCP n'accepte pas plus de 10% d'endommagement de la quantité totale pendant l'opération d'installation du catalyseur dans les passes du convertisseur.

La deuxième vanne n'a pas de contact avec le catalyseur, à cause de l'étanchéité, ce qui évite les fuites et assure une consommation faible de l'air comprimé.

Le principe de fonctionnement est très simple, pendant le remplissage du réservoir, la vanne d'alimentation en air comprimée est fermée, et celle montée au-dessous du réservoir est fermée aussi, le catalyseur remplit le réservoir par gravité jusqu'à la détection du niveau haut par les détecteurs, la vanne supérieure est fermée pour arrêter le flux de catalyseur, puis, la mise sous pression du réservoir, le catalyseur est évacué dans la canalisation dont on monte le flexible pour transporter le catalyseur vers la passe appropriée, des dispositifs de fluidisation peuvent être inclus dans le fond du réservoir afin de faciliter l'évacuation, pour plus de sécurité et avant que la vanne papillon montée



sur la sortie de la trémie s'ouvre la vanne de dégazage s'ouvre d'abord, sachant que la zone du convertisseur contient une source d'air comprimée de plus de 7 bars.

## 6.2. Dimensionnements

Avant d'entrer dans le détail des calculs, il faut d'abord commencer par une partie théorique au début de chaque paragraphe de calculs des composantes du système, pour bien structurer la phase de dimensionnement du rapport.

### 1) Choix de la section du flexible d'acheminement et transport du catalyseur

Calculant le diamètre de la conduite ou bien le flexible pour l'acheminement des grains du catalyseur vers les quatre passes du convertisseur (voir chapitre III, paragraphe description du convertisseur). Sachant que le débit d'introduction de catalyseur par la méthode traditionnelle est de  $Q_{\text{méthode traditionnelle}} \approx 2169.3 \text{ kg/h}$  (voir chapitre III, la méthode traditionnelle d'installation du catalyseur dans les différentes passes du convertisseur), je vais choisir un débit que doit fournir mon système de telle sorte qu'il soit supérieur à celui de la méthode traditionnelle pour minimiser au maximum le temps d'arrêt de la production, et prendre bien sur en compte les caractéristiques du catalyseur et afin d'avoir un gain de temps (voir chapitre VI: évaluation des gains).

Alors le débit que j'ai choisi après des négociations avec les interlocuteurs est de  $Q_{\text{sys}} = 5000 \text{ kg/h} \approx 1.39 \text{ kg/s}$ .

Calculant donc le débit de l'air nécessaire pour transporter le catalyseur :

Pour les installations de transport pneumatique, on utilise en règle générale un rapport de  $x=5$  entre le débit massique du catalyseur et le débit massique de l'air porteur.

D'où le débit de l'air sera alors :  $Q_{\text{air}} = Q_{\text{sys}}/5$

A.N :  $Q_{\text{air}} = 1.39/5 = 0.278 \text{ kg/s}$

Afin de respecter la gamme des vitesses imposées par les systèmes de transport pneumatique en phase dense, le mode choisi vue leurs avantages (voir tableau de comparaison entre les deux modes de transport), j'ai choisi la vitesse maximale de transport du catalyseur et la vitesse maximale de l'air et cela en prenant en considération le débit que j'ai imposé, et le gain de temps que je voudrai obtenir après avoir implanté mon système, d'où les vitesses sont :

$$V_a = 20 \text{ m/s et } V_c = 15 \text{ m/s}$$

On aboutit alors à une section de conduite de :

$$A = 0.278 / (V_a \times \rho_a) = 0.0107 \text{ m}^2$$

Sachant que  $A = \frac{\pi}{4} \times \text{DN}^2$  on a :  $\text{DN} = \sqrt{\frac{4 \times A}{\pi}}$  d'où A.N :  $\text{DN} \approx 117 \text{ mm}$

Il faut choisir le diamètre légèrement supérieur disponible, d'où on prend la valeur la plus proche :

Le flexible de transport du catalyseur est alors de :  $\text{DN} = 150 \text{ mm}$

### 2) Détermination des pressions nécessaires pour expédier le catalyseur à chacune des quatre passes du convertisseur

Après avoir décrit le convertisseur dans le chapitre III : Etude et analyse de l'existant (voir annexes I et II : Plans du convertisseur), il est imposé de calculer les pressions indispensables pour transporter le catalyseur aux passes du convertisseur, d'où on peut tirer la pression maximale qu'on va utiliser dans le dimensionnement du réservoir d'expédition par la suite.

#### 2-1) Partie théorique

La chute de pression des particules ou grains du catalyseur dans les canalisations horizontales n'est pas la même dans celles verticales, d'où les formules de calcul sont différentes dépendant de la disposition du circuit des canalisations d'acheminement du produit.



Or, les calculs des chutes de pression de l'air sont identiques et indépendants des positions des canalisations, quoique ce soit, verticales ou horizontales.

Sachant que le fluide est diphasique, c'est un mélange de grains du catalyseur et d'air porteur de ces grains, et les canalisations sont des flexibles démontables avec des longueurs qui dépendent des hauteurs des différentes passes du convertisseur.

Pour chaque passe du convertisseur, on a deux phases de calculs des chutes de pression dans chaque tronçon du flexible selon la position de ce dernier verticalement ou horizontalement, une phase de calcul pour l'air, et une autre pour les particules en mouvement du catalyseur.

Toutes les formules empiriques de calcul qu'on va introduire par la suite, prennent en considération les pertes de charge régulières dans les conduites.

- **Détermination de la chute de pression totale :**

La chute de pression totale du mélange gaz-solide est la somme des chutes de pressions de l'air et du solide, dans le cas de mon projet, c'est les grains du catalyseur selon la formule suivante :

$$\Delta P_T = \Delta P_c + \Delta P_a \quad (1)$$

- **Détermination de la chute de pression de l'air (dans les conduites verticales et horizontales) :**

La détermination de la chute de pression de l'air seulement dans les conduites d'acheminement est bien établie selon plusieurs modèles mathématiques, la formule empirique de calcul de la chute de pression selon Wypych et Arnold est la suivante :

$$\Delta P_a = 0.5 [(101^2 + 0.004567 Q_{ma}^{1.85} L D^{-5})^{0.5} - 101] \quad (2)$$

- **Détermination de la chute de pression due aux grains du catalyseur dans les conduites horizontales :**

De nombreuses équations de corrélation ont été proposées dans de nombreuses publications, l'une des approches les plus simples consiste à calculer la chute de pression due à la présence d'une substance solide dispersée dans l'air porteur, selon la formule empirique suivante :

$$\Delta P_c = \xi \times \Delta P_a \quad (3)$$

Avec  $\xi$  est nommé le facteur supplémentaire de la chute de pression, un paramètre sans unité et qui est en fonction de plusieurs variables différentes, ce qui a fait l'objet de nombreux travaux de recherche, le facteur de perte de pression  $\xi$  se calcule par la formule d'Arastoopour suivante :

$$\xi = (\lambda_c / \lambda_a) \times (V_c / V_a) \times \mu \quad (4)$$

Avec :

Le coefficient de frottement de l'air est donné par la formule suivante :

$$\lambda_a = 0.316 / Re^{0.25} \quad (5)$$

Le coefficient de frottement des grains du catalyseur entre eux et avec les parois des conduites :

$$\lambda_c = 2.1 \times \mu^{-0.3} \times Fr_a^{-2} \times Fr_c^{0.5} (D/d)^{0.1} \quad (6)$$

Le rapport des débits massiques de l'écoulement diphasique :

$$\mu = Q_{mc} / Q_{ma} \quad (7)$$

Avec :

Les débits massiques du catalyseur et de l'air sont :

$$Q_{mc} = \rho_c \times V_c \times S \quad (8)$$



$$Q_{ma} = \rho_a \times V_a \times S \quad (9)$$

- **Détermination de la chute de pression due aux grains du catalyseur dans les conduites verticales :**

Les conduites verticales sont également importantes dans les systèmes de transport pneumatique, en particulier, quand il existe une différence de hauteur entre la source d'envoi et la station de réception.

L'écoulement vertical est très instable par rapport à l'écoulement horizontal, vue la force de gravité qui tend à opposer le sens d'acheminement des grains, de plus les particules du catalyseur ne s'écoule pas comme des individus mais plutôt sous forme de groupes de particules, la vitesse alors joue un rôle très important dans le cas des sections verticales.

La formule empirique donnée par Woodcock pour le calcul de la chute de pression due aux grains du catalyseur est la suivante :

$$\Delta P_c = \xi \times \Delta P_a + \rho_a g \mu (V_a / (V_a - V_c)) L \quad (10)$$

Avant de passer aux applications des formules empiriques de la partie théorique, il est préférable de donner un tableau classifiant les données et toutes les informations nécessaires pour réaliser les calculs des pressions pour le transport du catalyseur vers les quartes passes du convertisseur.

### 2-2) Données

Le tableau suivant résume les données nécessaires pour les calculs des différents composants du système :

**Tableau III-7 : Tableau des données pour les calculs**

	<b>Hauteur de la passe (Voir plans du convertisseur annexes I et II) (mm)</b>	<b>Longueur des flexibles pour atteindre la passe <math>L_{Passe.i}</math> (m)</b>	<b>Type du catalyseur</b>	<b>Masse volumique de chaque type (voir description du convertisseur, chapitre III) <math>\rho_{ci}</math> (kg/m<sup>3</sup>)</b>	<b>Débit massique de l'air <math>Q_{ma}</math> Equation (8) (kg/s)</b>	<b>Le rapport des débits massiques de l'écoulement diphasique Equation (7)</b>
<b>1<sup>ère</sup> passe</b>	5115	25	XLP 220	700	0.46	404
<b>2<sup>ième</sup> passe</b>	9810	29	XLP 120	600		346.15
<b>3<sup>ième</sup> passe</b>	14700	34	XLP 110	440		253.8
<b>4<sup>ième</sup> passe</b>	19975	39	SCX 2000	600		346.15

Dans ce second tableau on trouve les paramètres mis en jeu dans les formules :

**Tableau III-8 : Paramètres des calculs**



	Nombre de Reynolds Re	Nombre de Froude lié à l'air Fr <sub>a</sub> Fr <sub>a</sub> =V <sub>a</sub> /√g×DN	Nombre de Froude lié au catalyseur Fr <sub>c</sub> Fr <sub>c</sub> =V <sub>c</sub> /√g×DN	Coefficient de frottement de l'air λ <sub>a</sub> Equation (5)	Coefficient de frottement des grains du catalyseur λ <sub>c</sub> Equation (6)	Facteur de perte de pression ξ Equation (4)
1 <sup>ère</sup> passe	192307.7	16.4	12.4	0.015	0.00579	116.96
2 <sup>ème</sup> passe					0.0060642	104.95
3 <sup>ème</sup> passe					0.0066559	84.5
4 <sup>ème</sup> passe					0.0060642	104.95

**2-3) Calculs numériques des pressions pour transporter le catalyseur et le pulvériser dans les quatre passes du convertisseur**

**1<sup>ère</sup> passe :**

La longueur du flexible nécessaire pour atteindre la première passe déterminée à partir des plans du convertisseur, et donnée au Tableau V-7 est de 25 m, divisée en trois parties, la première est horizontale de 2 m liée au réservoir d'expédition, la deuxième est verticale de 6 m, et une troisième partie horizontale de 17 m pour balayer toute la section de la première passe du convertisseur, jusqu'au fond.

Donc on pose : L<sub>1</sub>=2 m (horizontale) ; L<sub>2</sub>=17 m (horizontale) ; L<sub>3</sub>=6 m (verticale)

• **Première partie horizontale (L<sub>1</sub>=2 m) :**

**Calculant la chute de pression due à l'air dans la conduite :**

En appliquant la formule (2), sachant que le diamètre de la conduite est de 0.15 m, on trouve :

$$\Delta P_{a.(L1)} = 0.5 [(101^2 + 0.004567 \times 0.46^{1.85} \times 2 \times 0.15^{-5})^{0.5} - 101]$$

A.N :  $\Delta P_{a.(L1)} = 0.0707 \text{ Pa}$

**Calculant la chute de pression due aux grains du catalyseur :**

En appliquant la formule (3), on trouve :

$$\Delta P_{c.(L1)} = \xi \times \Delta P_{a.(L1)}$$

A.N :  $\Delta P_{c.(L1)} = 116.96 \times 0.0707$

$$\Delta P_{c.(L1)} = 8.27 \text{ Pa}$$

Alors la chute de pression totale dans la première partie horizontale du flexible, équation (1) est de :

$$\Delta P_{T.(L1)} = \Delta P_{c.(L1)} + \Delta P_{a.(L1)}$$

A.N :  $\Delta P_{T.(L1)} = 8.3407 \text{ Pa}$

• **Deuxième partie horizontale (L<sub>2</sub>=17 m) :**

**Calculant la chute de pression due à l'air dans la conduite :**



En appliquant la formule (2), sachant que le diamètre de la conduite est de 0.15 m, on trouve :

$$\Delta P_{a. (L2)} = 0.5 [(101^2 + 0.004567 \times 0.46^{1.85} \times 17 \times 0.15^{-5})^{0.5} - 101]$$

A.N:  $\Delta P_{a. (L2)} = 0.6 \text{ Pa}$

**Calculant la chute de pression due aux grains du catalyseur :**

En appliquant la formule (3), on trouve :

$$\Delta P_{c. (L2)} = f \times \Delta P_{a. (L2)}$$

A.N :  $\Delta P_{c. (L2)} = 116.96 \times 0.6$

$$\Delta P_{c. (L2)} = 70.176 \text{ Pa}$$

Alors la chute de pression totale dans la deuxième partie horizontale du flexible, équation (1) est de :

$$\Delta P_{T. (L2)} = \Delta P_{c. (L2)} + \Delta P_{a. (L2)}$$

A.N :  $\Delta P_{T. (L2)} = 70.78 \text{ Pa}$

• **La partie verticale (L<sub>3</sub>=6 m) :**

**Calculant la chute de pression due à l'air dans la conduite :**

En appliquant la formule (2), sachant que le diamètre de la conduite est de 0.15 m, on trouve :

$$\Delta P_{a. (L3)} = 0.5 [(101^2 + 0.004567 \times 0.46^{1.85} \times 6 \times 0.15^{-5})^{0.5} - 101]$$

A.N:  $\Delta P_{a. (L3)} = 0.21 \text{ Pa}$

**Calculant la chute de pression due aux grains du catalyseur :**

En appliquant la formule (10), on trouve :

$$\Delta P_{c. (L3)} = f \times \Delta P_{a. (L3)} + \rho_a g \mu (V_a / (V_a - V_c)) L_3$$

A.N :  $\Delta P_{c. (L3)} = 116.96 \times 0.21 + 1.3 \times 9.81 \times 404 \times (20 / (20 - 15)) \times 6$

$$\Delta P_{c. (L3)} = 123 \text{ 677.65 Pa}$$

Alors la chute de pression totale dans la partie verticale du flexible, équation (1) est de :

$$\Delta P_{T. (L3)} = \Delta P_{c. (L3)} + \Delta P_{a. (L3)}$$

A.N :  $\Delta P_{T. (L3)} = 123 \text{ 677.9 Pa}$

• **Chute de pression due aux pertes de charges au niveau des coudes  $\approx 90^\circ$  :**

**Calculant la chute de pression due à l'air au niveau des coudes :**

Les coefficients des pertes de charges au niveau des deux coudes  $90^\circ$  sont :

$$K_1 = K_2 = 0.2$$

Or :  $\Delta P_{a. (PC)} = \rho_a g \Delta H_{a. (PC)} \quad (11)$

Avec :  $\Delta H_{a. (PC)} = (K_1 + K_2) V_a^2 / 2 g \quad (12)$

A.N :  $\Delta P_{a. (PC)} = 1.3 \times 9.81 \times (0.2 + 0.2) \times 20^2 / (2 \times 9.81)$

$$\Delta P_{a. (PC)} = 104 \text{ Pa}$$

**Calculant la chute de pression due aux grains du catalyseur au niveau des coudes :**

De même on a :

$$K_1 = K_2 = 0.2$$

Or :  $\Delta P_{c. (PC)} = \rho_{ci} g \Delta H_{c. (PC)} \quad (13)$

Avec :  $\Delta H_{c. (PC)} = (K_1 + K_2) V_c^2 / 2 g \quad (14)$

Pour la 1<sup>ère</sup> passe :  $\Delta P_{c. (PC)} = \rho_{c1} g \Delta H_{c. (PC)}$

A.N :  $\Delta P_{c. (PC)} = 700 \times 9.81 \times (0.2 + 0.2) \times 15^2 / (2 \times 9.81)$

$$\Delta P_{c. (PC)} = 31 \text{ 519.5 Pa}$$



La chute de pression totale due aux pertes de charges au niveau des coudes pour la 1<sup>ière</sup> passe est de :

D'où : 
$$\Delta P_{T. (PC)} = \Delta P_{c. (PC)} + \Delta P_{a. (PC)} \quad (15)$$

A.N : 
$$\Delta P_{T. (PC)} = 31\,623.5 \text{ Pa}$$

Finalement, la chute de pression totale dans la conduite complète d'acheminement du catalyseur vers la 1<sup>ière</sup> passe est la somme des chutes de pression totales, on trouve alors :

$$\Delta P_{T. Passe (1)} = 155\,380.5 \text{ Pa} \approx 1.6 \text{ Bars}$$

Sachant que la pression atmosphérique est égale à un peu près 1 bars, on suppose que la pression finale (pression à la sortie du flexible) est légèrement supérieure à celle atmosphérique, pour contrôler le jet du catalyseur afin de ne pas le dégrader, et aussi pour s'assurer que les grains vont atteindre la passe, d'où imposant  $P_f = 1,5 \text{ Bars}$ , sachant que :

$$\Delta P_{T. Passe (i)} = P_i - P_f \quad (16)$$

Alors en général : 
$$P_{i. Passe (i)} = \Delta P_{T. Passe (i)} + P_f \quad (17)$$

D'où la pression initiale que doit fournir mon système pour faire monter le catalyseur afin d'atteindre la première passe est de :

$$P_{i. Passe (1)} = \Delta P_{T. Passe (1)} + P_f$$

A.N :

$$P_{i. Passe (1)} = 3.1 \text{ Bars}$$

### 2<sup>ème</sup> passe :

La longueur du flexible nécessaire pour atteindre la deuxième passe déterminée à partir des plans du convertisseur, et donnée au Tableau V-7 est de 29 m, divisée en trois parties, la première partie est horizontale de 2 m liée au réservoir d'expédition, la deuxième est verticale, de 10 m, et une troisième partie horizontale de 17 m pour balayer toute la section de la deuxième passe du convertisseur, jusqu'au fond.

Donc on pose :  $L_1 = 2 \text{ m}$  (horizontale) ;  $L_2 = 17 \text{ m}$  (horizontale) ;  $L_3 = 10 \text{ m}$  (verticale)

#### • Première partie horizontale ( $L_1 = 2 \text{ m}$ ) :

##### **Calculant la chute de pression due à l'air dans la conduite :**

De même, en appliquant la formule (2), sachant que le diamètre de la conduite est de 0.15 m, on trouve :

$$\Delta P_{a. (L1)} = 0.5 [(101^2 + 0.004567 \times 0.46^{1.85} \times 2 \times 0.15^{-5})^{0.5} - 101]$$

A.N : 
$$\Delta P_{a. (L1)} = 0.0707 \text{ Pa}$$

##### **Calculant la chute de pression due aux grains du catalyseur :**

En appliquant la formule (3), on trouve :

$$\Delta P_{c. (L1)} = \xi \times \Delta P_{a. (L1)}$$

A.N : 
$$\Delta P_{c. (L1)} = 104.95 \times 0.0707$$

$$\Delta P_{c. (L1)} = 7.42 \text{ Pa}$$

Alors la chute de pression totale dans la première partie horizontale du flexible, équation (1) est de :

$$\Delta P_{T. (L1)} = \Delta P_{c. (L1)} + \Delta P_{a. (L1)}$$

A.N : 
$$\Delta P_{T. (L1)} = 7.5 \text{ Pa}$$

#### • Deuxième partie horizontale ( $L_2 = 17 \text{ m}$ ) :



**Calculant la chute de pression due à l'air dans la conduite :**

En appliquant la formule (2), sachant que le diamètre de la conduite est de 0.15 m, on trouve :

$$\Delta P_{a. (L2)} = 0.5 [(101^2 + 0.004567 \times 0.46^{1.85} \times 17 \times 0.15^{-5})^{0.5} - 101]$$

A.N:  $\Delta P_{a. (L2)} = 0.6 \text{ Pa}$

**Calculant la chute de pression due aux grains du catalyseur :**

En appliquant la formule (3), on trouve :

$$\Delta P_{c. (L2)} = \xi \times \Delta P_{a. (L2)}$$

A.N :  $\Delta P_{c. (L2)} = 104.95 \times 0.6$

$$\Delta P_{c. (L2)} = 62.97 \text{ Pa}$$

Alors la chute de pression totale dans la deuxième partie horizontale du flexible, équation (1) est de :

$$\Delta P_{T. (L2)} = \Delta P_{c. (L2)} + \Delta P_{a. (L2)}$$

A.N :  $\Delta P_{T. (L2)} = 63.57 \text{ Pa} \approx 64 \text{ Pa}$

**• Partie verticale (L<sub>3</sub>=10 m) :**

**Calculant la chute de pression due à l'air dans la conduite :**

En appliquant la formule (2), sachant que le diamètre de la conduite est de 0.15 m, on trouve :

$$\Delta P_{a. (L3)} = 0.5 [(101^2 + 0.004567 \times 0.46^{1.85} \times 10 \times 0.15^{-5})^{0.5} - 101]$$

A.N:  $\Delta P_{a. (L3)} = 0.35 \text{ Pa}$

**Calculant la chute de pression due aux grains du catalyseur :**

En appliquant la formule (10), on trouve :

$$\Delta P_{c. (L3)} = \xi \times \Delta P_{a. (L3)} + \rho_a g \mu (V_a / (V_a - V_c)) L_3$$

A.N :  $\Delta P_{c. (L3)} = 104.95 \times 0.35 + 1.3 \times 9.81 \times 346.15 \times (20 / (20 - 15)) \times 10$

$$\Delta P_{c. (L3)} = 176 \text{ Pa}$$

Alors la chute de pression totale dans la partie verticale du flexible, équation (1) est de :

$$\Delta P_{T. (L3)} = \Delta P_{c. (L3)} + \Delta P_{a. (L3)}$$

A.N :  $\Delta P_{T. (L3)} = 176 \text{ Pa}$

**• Chute de pression due aux pertes de charges au niveau des coudes  $\approx 90^\circ$  :**

**Calculant la chute de pression due à l'air au niveau des coudes :**

Les coefficients des pertes de charges au niveau des deux coudes  $90^\circ$  sont :

$$K_1 = K_2 = 0.2$$

Or :  $\Delta P_{a. (PC)} = \rho_a g \Delta H_{a. (PC)} \tag{11}$

Avec :  $\Delta H_{a. (PC)} = (K_1 + K_2) V_a^2 / 2 g \tag{12}$

A.N :  $\Delta P_{a. (PC)} = 1.3 \times 9.81 \times (0.2 + 0.2) \times 20^2 / (2 \times 9.81)$

$$\Delta P_{a. (PC)} = 104 \text{ Pa}$$

**Calculant la chute de pression due aux grains du catalyseur au niveau des coudes :**

De même on a :  $K_1 = K_2 = 0.2$

Or :  $\Delta P_{c. (PC)} = \rho_{ci} g \Delta H_{c. (PC)} \tag{13}$

Avec :  $\Delta H_{c. (PC)} = (K_1 + K_2) V_c^2 / 2 g \tag{14}$



Pour la 1<sup>ère</sup> passe :

$$\Delta P_{c. (PC)} = \rho_{c2} g \Delta H_{c. (PC)}$$

A.N : 
$$\Delta P_{c. (PC)} = 600 \times 9.81 \times (0.2 + 0.2) \times 15^2 / (2 \times 9.81)$$

$$\Delta P_{c. (PC)} = 27\ 000\ Pa$$

La chute de pression totale due aux pertes de charges au niveau des coudes pour la 1<sup>ère</sup> passe est de :

D'où : 
$$\Delta P_{T. (PC)} = \Delta P_{c. (PC)} + \Delta P_{a. (PC)} \quad (15)$$

A.N : 
$$\Delta P_{T. (PC)} = 27\ 104\ Pa$$

Finalement, la chute de pression totale dans la conduite complète d'acheminement du catalyseur vers la 2<sup>ème</sup> passe est la somme des chutes de pression totales, on trouve alors :

$$\Delta P_{T. Passe (2)} = 203\ 790.19\ Pa \approx 2.1\ Bars$$

Sachant que la pression atmosphérique est égale à un peu près 1 bars, on suppose que la pression finale (pression à la sortie du flexible) est légèrement supérieure à celle atmosphérique, pour contrôler le jet du catalyseur afin de ne pas le dégrader, et aussi pour s'assurer que les grains vont atteindre la passe, d'où imposant  $P_f = 1,5\ Bars$ , sachant que :

$$\Delta P_{T. Passe (i)} = P_i - P_f \quad (16)$$

Alors en général : 
$$P_{i. Passe (i)} = \Delta P_{T. Passe (i)} + P_f \quad (17)$$

D'où la pression initiale que doit fournir mon système pour faire monter le catalyseur afin d'atteindre la deuxième passe est de :

$$P_{i. Passe (2)} = \Delta P_{T. Passe (2)} + P_f$$

A.N :

$$P_{i. Passe (2)} = 3.6\ Bars$$

### 3<sup>ème</sup> passe :

La longueur du flexible nécessaire pour atteindre la troisième passe déterminée à partir des plans du convertisseur, et donnée au Tableau V-7 est de 34 m, divisée en trois parties, la première est horizontale de 2 m liée au réservoir d'expédition, la deuxième est verticale de 15 m, et une troisième partie horizontale de 17 m pour balayer toute la section de la troisième passe du convertisseur, jusqu'au fond.

Donc on pose :  $L_1 = 2\ m$  (horizontale) ;  $L_2 = 17\ m$  (horizontale) ;  $L_3 = 15\ m$  (verticale)

#### • Première partie horizontale ( $L_1 = 2\ m$ ) :

**Calculant la chute de pression due à l'air dans la conduite :**

De même, en appliquant la formule (2), sachant que le diamètre de la conduite est de 0.15 m, on trouve :

$$\Delta P_{a. (L1)} = 0.5 [(101^2 + 0.004567 \times 0.46^{1.85} \times 2 \times 0.15^{-5})^{0.5} - 101]$$

A.N : 
$$\Delta P_{a. (L1)} = 0.0707\ Pa$$

**Calculant la chute de pression due aux grains du catalyseur :**

En appliquant la formule (3), on trouve :

$$\Delta P_{c. (L1)} = \xi \times \Delta P_{a. (L1)}$$

A.N : 
$$\Delta P_{c. (L1)} = 84.5 \times 0.0707$$

$$\Delta P_{c. (L1)} = 5.97415\ Pa$$

Alors la chute de pression totale dans la première partie horizontale du flexible, équation (1) est de :



$$\Delta P_{T. (L1)} = \Delta P_{c. (L1)} + \Delta P_{a. (L1)}$$

A.N :  $\Delta P_{T. (L1)} = 6.045 \text{ Pa}$

- **Deuxième partie horizontale (L<sub>2</sub>=17 m) :**

**Calculant la chute de pression due à l'air dans la conduite :**

En appliquant la formule (2), sachant que le diamètre de la conduite est de 0.15 m, on trouve :

$$\Delta P_{a. (L2)} = 0.5 [(101^2 + 0.004567 \times 0.46^{1.85} \times 17 \times 0.15^{-5})^{0.5} - 101]$$

A.N:  $\Delta P_{a. (L2)} = 0.6 \text{ Pa}$

**Calculant la chute de pression due aux grains du catalyseur :**

En appliquant la formule (3), on trouve :

$$\Delta P_{c. (L2)} = f \times \Delta P_{a. (L2)}$$

A.N :  $\Delta P_{c. (L2)} = 84.5 \times 0.6$

$$\Delta P_{c. (L2)} = 50.7 \text{ Pa}$$

Alors la chute de pression totale dans la deuxième partie horizontale du flexible, équation (1) est de :

$$\Delta P_{T. (L2)} = \Delta P_{c. (L2)} + \Delta P_{a. (L2)}$$

A.N :  $\Delta P_{T. (L2)} = 51.3 \text{ Pa}$

- **Partie verticale (L<sub>3</sub>=15 m) :**

**Calculant la chute de pression due à l'air dans la conduite :**

En appliquant la formule (2), sachant que le diamètre de la conduite est de 0.15 m, on trouve :

$$\Delta P_{a. (L3)} = 0.5 [(101^2 + 0.004567 \times 0.46^{1.85} \times 15 \times 0.15^{-5})^{0.5} - 101]$$

A.N:  $\Delta P_{a. (L3)} = 0.53 \text{ Pa}$

**Calculant la chute de pression due aux grains du catalyseur :**

En appliquant la formule (10), on trouve :

$$\Delta P_{c. (L3)} = f \times \Delta P_{a. (L3)} + \rho_a g \mu (V_a / (V_a - V_c)) L_3$$

A.N :  $\Delta P_{c. (L3)} = 84.5 \times 0.53 + 1.3 \times 9.81 \times 253.8 \times (20 / (20 - 15)) \times 15$

$$\Delta P_{c. (L3)} = 194 \text{ 247.47 Pa}$$

Alors la chute de pression totale dans la partie verticale du flexible, équation (1) est de :

$$\Delta P_{T. (L3)} = \Delta P_{c. (L3)} + \Delta P_{a. (L3)}$$

A.N :  $\Delta P_{T. (L3)} = 194 \text{ 248 Pa}$

- **Chute de pression due aux pertes de charges au niveau des coudes  $\approx 90^\circ$  :**

**Calculant la chute de pression due à l'air au niveau des coudes :**

Les coefficients des pertes de charges au niveau des deux coudes  $90^\circ$  sont :

$$K_1 = K_2 = 0.2$$

Or :  $\Delta P_{a. (PC)} = \rho_a g \Delta H_{a. (PC)}$  (11)

Avec :  $\Delta H_{a. (PC)} = (K_1 + K_2) V_a^2 / 2 g$  (12)

A.N :  $\Delta P_{a. (PC)} = 1.3 \times 9.81 \times (0.2 + 0.2) \times 20^2 / (2 \times 9.81)$



$$\Delta P_{a. (PC)} = 104 \text{ Pa}$$

**Calculant la chute de pression due aux grains du catalyseur au niveau des coudes :**

De même on a :

$$K_1 = K_2 = 0.2$$

Or : 
$$\Delta P_{c. (PC)} = \rho_{ci} g \Delta H_{c. (PC)} \quad (13)$$

Avec : 
$$\Delta H_{c. (PC)} = (K_1 + K_2) V_c^2 / 2 g \quad (14)$$

Pour la 1<sup>ière</sup> passe : 
$$\Delta P_{c. (PC)} = \rho_{c3} g \Delta H_{c. (PC)}$$

A.N : 
$$\Delta P_{c. (PC)} = 440 \times 9.81 \times (0.2 + 0.2) \times 15^2 / (2 \times 9.81)$$

$$\Delta P_{c. (PC)} = 19\,800 \text{ Pa}$$

La chute de pression totale due aux pertes de charges au niveau des coudes pour la 1<sup>ière</sup> passe est de :

D'où : 
$$\Delta P_{T. (PC)} = \Delta P_{c. (PC)} + \Delta P_{a. (PC)} \quad (15)$$

A.N : 
$$\Delta P_{T. (PC)} = 19\,904 \text{ Pa}$$

Finalement, la chute de pression totale dans la conduite complète d'acheminement du catalyseur vers la 3<sup>ière</sup> passe est la somme des chutes de pression totales, on trouve alors :

$$\Delta P_{T. Passe (3)} = 214\,209.4 \text{ Pa} \approx 2.3 \text{ Bars}$$

Sachant que la pression atmosphérique est égale à un peu près 1 bars, on suppose que la pression finale (pression à la sortie du flexible) est légèrement supérieure à celle atmosphérique, pour contrôler le jet du catalyseur afin de ne pas le dégrader, et aussi pour s'assurer que les grains vont atteindre la passe, d'où imposant  $P_f = 1,5 \text{ Bars}$ , sachant que :

$$\Delta P_{T. Passe (i)} = P_i - P_f \quad (16)$$

Alors en général : 
$$P_{i. Passe (i)} = \Delta P_{T. Passe (i)} + P_f \quad (17)$$

D'où la pression initiale que doit fournir mon système pour faire monter le catalyseur afin d'atteindre la deuxième passe est de :

$$P_{i. Passe (3)} = \Delta P_{T. Passe (3)} + P_f$$

A.N :

$$P_{i. Passe (3)} = 3.8 \text{ Bars}$$

#### 4<sup>ème</sup> passe :

La longueur du flexible nécessaire pour atteindre la quatrième passe déterminée à partir des plans du convertisseur, et donnée au Tableau V-7 est de 39 m, divisée en trois parties, la première est horizontale de 2 m liée au réservoir d'expédition, la deuxième est verticale, de 20 m, et une troisième partie horizontale de 17 m pour balayer toute la section de la quatrième passe du convertisseur, jusqu'au fond.

Donc on pose :  $L_1 = 2 \text{ m}$  (horizontale) ;  $L_2 = 17 \text{ m}$  (horizontale) ;  $L_3 = 20 \text{ m}$  (verticale)

#### • Première partie horizontale ( $L_1 = 2 \text{ m}$ ) :

**Calculant la chute de pression due à l'air dans la conduite :**

De même, en appliquant la formule (2), sachant que le diamètre de la conduite est de 0.15 m, on trouve :

$$\Delta P_{a. (L1)} = 0.5 [(101^2 + 0.004567 \times 0.46^{1.85} \times 2 \times 0.15^{-5})^{0.5} - 101]$$

A.N : 
$$\Delta P_{a. (L1)} = 0.0707 \text{ Pa}$$

**Calculant la chute de pression due aux grains du catalyseur :**

En appliquant la formule (3), on trouve :



$$\Delta P_{c. (L1)} = \xi \times \Delta P_{a. (L1)}$$

A.N :  $\Delta P_{c. (L1)} = 104.95 \times 0.0707$

$$\Delta P_{c. (L1)} = 7.42 \text{ Pa}$$

Alors la chute de pression totale dans la première partie horizontale du flexible, équation (1) est de :

$$\Delta P_{T. (L1)} = \Delta P_{c. (L1)} + \Delta P_{a. (L1)}$$

A.N :  $\Delta P_{T. (L1)} = 7.5 \text{ Pa}$

• **Deuxième partie horizontale (L<sub>2</sub>=17 m) :**

**Calculant la chute de pression due à l'air dans la conduite :**

En appliquant la formule (2), sachant que le diamètre de la conduite est de 0.15 m, on trouve :

$$\Delta P_{a. (L2)} = 0.5 [(101^2 + 0.004567 \times 0.46^{1.85} \times 17 \times 0.15^{-5})^{0.5} - 101]$$

A.N:  $\Delta P_{a. (L2)} = 0.6 \text{ Pa}$

**Calculant la chute de pression due aux grains du catalyseur :**

En appliquant la formule (3), on trouve :

$$\Delta P_{c. (L2)} = \xi \times \Delta P_{a. (L2)}$$

A.N :  $\Delta P_{c. (L2)} = 104.95 \times 0.6$

$$\Delta P_{c. (L2)} = 62.97 \text{ Pa}$$

Alors la chute de pression totale dans la deuxième partie horizontale du flexible, équation (1) est de :

$$\Delta P_{T. (L2)} = \Delta P_{c. (L2)} + \Delta P_{a. (L2)}$$

A.N :  $\Delta P_{T. (L2)} = 63.57 \text{ Pa} \approx 64 \text{ Pa}$

• **Partie verticale (L<sub>3</sub>=20 m) :**

**Calculant la chute de pression due à l'air dans la conduite :**

En appliquant la formule (2), sachant que le diamètre de la conduite est de 0.15 m, on trouve :

$$\Delta P_{a. (L3)} = 0.5 [(101^2 + 0.004567 \times 0.46^{1.85} \times 20 \times 0.15^{-5})^{0.5} - 101]$$

A.N:  $\Delta P_{a. (L3)} = 0.703 \text{ Pa}$

**Calculant la chute de pression due aux grains du catalyseur :**

En appliquant la formule (10), on trouve :

$$\Delta P_{c. (L3)} = \xi \times \Delta P_{a. (L3)} + \rho_a g \mu (V_a / (V_a - V_c)) L_3$$

A.N :  $\Delta P_{c. (L3)} = 104.95 \times 0.703 + 1.3 \times 9.81 \times 346.15 \times (20 / (20 - 15)) \times 20$

$$\Delta P_{c. (L3)} = 353 \text{ 229.6 Pa}$$

Alors la chute de pression totale dans la partie verticale du flexible, équation (1) est de :

$$\Delta P_{T. (L3)} = \Delta P_{c. (L3)} + \Delta P_{a. (L3)}$$

A.N :  $\Delta P_{T. (L3)} = 353 \text{ 230.6 Pa}$

• **Chute de pression due aux pertes de charges au niveau des coudes  
 ≈ 90° :**

**Calculant la chute de pression due à l'air au niveau des coudes :**

Les coefficients des pertes de charges au niveau des deux coudes 90° sont :



$$K_1=K_2=0.2$$

Or :  $\Delta P_{a. (PC)} = \rho_a g \Delta H_{a. (PC)}$  (11)

Avec :  $\Delta H_{a. (PC)} = (K_1+K_2) V_a^2/2 g$  (12)

A.N :  $\Delta P_{a. (PC)} = 1.3 \times 9.81 \times (0.2+0.2) \times 20^2 / (2 \times 9.81)$

$$\Delta P_{a. (PC)} = 104 \text{ Pa}$$

**Calculant la chute de pression due aux grains du catalyseur au niveau des coudes :**

De même on a :  $K_1=K_2=0.2$

Or :  $\Delta P_{c. (PC)} = \rho_{ci} g \Delta H_{c. (PC)}$  (13)

Avec :  $\Delta H_{c. (PC)} = (K_1+K_2) V_c^2/2 g$  (14)

Pour la 1<sup>ière</sup> passe :  $\Delta P_{c. (PC)} = \rho_{c4} g \Delta H_{c. (PC)}$

A.N :  $\Delta P_{c. (PC)} = 600 \times 9.81 \times (0.2+0.2) \times 15^2 / (2 \times 9.81)$

$$\Delta P_{c. (PC)} = 27\ 000 \text{ Pa}$$

La chute de pression totale due aux pertes de charges au niveau des coudes pour la 1<sup>ière</sup> passe est de :

D'où :  $\Delta P_{T. (PC)} = \Delta P_{c. (PC)} + \Delta P_{a. (PC)}$  (15)

A.N :  $\Delta P_{T. (PC)} = 27\ 104 \text{ Pa}$

Finalement, la chute de pression totale dans la conduite complète d'acheminement du catalyseur vers la 4<sup>ière</sup> passe est la somme des chutes de pression totales, on trouve alors :

$$\Delta P_{T. Passe (4)} = 380\ 405.7 \text{ Pa} \approx 3.9 \text{ Bars}$$

Sachant que la pression atmosphérique est égale à un peu près 1 bars, on suppose que la pression finale (pression à la sortie du flexible) est légèrement supérieure à celle atmosphérique, pour contrôler le jet du catalyseur afin de ne pas le dégrader, et aussi pour s'assurer que les grains vont atteindre la passe, d'où imposant  $P_f = 1,5 \text{ Bars}$ , sachant que :

$$\Delta P_{T. Passe (i)} = P_i - P_f$$
 (16)

Alors en général :  $P_{i. Passe (i)} = \Delta P_{T. Passe (i)} + P_f$  (17)

D'où la pression initiale que doit fournir mon système pour faire monter le catalyseur afin d'atteindre la deuxième passe est de :

$$P_{i. Passe (4)} = \Delta P_{T. Passe (4)} + P_f$$

A.N :

$$P_{i. Passe (4)} = 5.4 \text{ Bars}$$

Les notations et les paramètres des formules empiriques sont tous donnés dans la nomenclature. D'où un petit catalogue sous forme d'un tableau comme étant un résumé donnant les flexibles et les pressions, utiles pour le transport du catalyseur vers chaque passes des quatre passes :

**Tableau III-9 : Catalogue**

	Longueur du flexible (m)	Pression (Bars)
1 <sup>ière</sup> passe	25	3.1
2 <sup>ème</sup> passe	29	3.6
3 <sup>ème</sup> passe	34	3.8
4 <sup>ème</sup> passe	39	5.4

### 3) Dimensionnement du réservoir



Les dimensionnement du réservoir d'expédition sont faits selon le code des enceintes sous pression CODAP 2010.

Les règles de calcul ont pour objet la détermination des épaisseurs ou la vérification de la résistance des divers éléments d'un système sous pression afin d'en prévenir la défaillance sous l'action de sollicitations mécaniques prévues durant son utilisation.

Les sollicitations appliquées à un système sont le résultat des diverses actions qui s'exercent sur l'appareil lui-même et induisent des effets mécaniques, c'est-à-dire donnent naissance à des contraintes.

Les règles spécifiques de calcul sont les règles d'usage consacrées, elles concernent les éléments soumis aux sollicitations usuelles.

Dans ces règles la détermination des épaisseurs s'effectue au moyen de formules empiriques établies spécifiquement pour chaque cas visé.

Le réservoir d'expédition de mon système est l'assemblage d'une enveloppe conique et une autre cylindrique à la grande base par une partie torique.

Les règles de la partie théorique couvrent selon CODAP la défaillance des enveloppes, par déformation excessive, par instabilité plastique (éclatement) et par rupture par fluage, elles assurent en outre, l'adaptation plastique globale du raccordement enveloppe conique-enveloppe cylindrique à la grande base.

### 3-1) Partie théorique

Les formules de cette partie théorique permettent de déterminer les épaisseurs d'une enveloppe conique et d'une enveloppe cylindrique de section droite circulaire soumises à une pression intérieure.

- **Détermination de l'épaisseur de l'enveloppe cylindrique de section droite circulaire et du fond :**

L'enveloppe cylindrique peut être constituée par plusieurs tronçons (viroles) assemblés par des soudures circulaires bout à bout. Chaque tronçon est d'une épaisseur uniforme.

L'épaisseur minimale nécessaire de l'enveloppe cylindrique est donnée par la formule empirique suivante :

$$e = P \times D_i / 2f \times z - P \quad (1)$$

Pour les notations de la formule veuillez voir la nomenclature.

- **Détermination de l'épaisseur de l'enveloppe conique de section droite circulaire :**

De même l'enveloppe conique peut être constituée par plusieurs tronçons (viroles) assemblés par des soudures circulaires bout à bout. Chaque tronçon est d'une épaisseur uniforme.

Dans toute section droite, l'épaisseur minimale nécessaire de l'enveloppe conique est donnée par la formule empirique suivante :

$$e = (P \times D_i / 2f \times z - P) \times (1 / \cos \alpha) \quad (2)$$

Avec  $\alpha$  c'est le demi angle au sommet schématisé dans la figure au-dessous, pour que la formule (2) soit applicable, il faut que l'angle  $\alpha$  n'excède pas  $60^\circ$ .

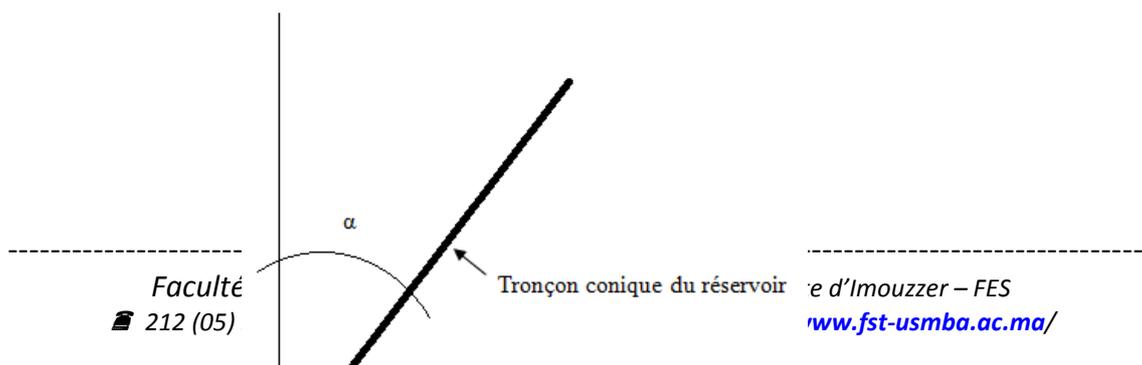




Figure III-10 : L'angle  $\alpha$  d'inclinaison de la partie conique du réservoir

- Détermination de l'épaisseur du fond raccordé en dessus de la partie cylindrique du réservoir soumis à une pression intérieure :

Les formules suivantes permettent de déterminer l'épaisseur du fond bombé de révolution soumis à une pression sur leur face concave.

La forme du fond choisi parmi les formes des fonds donnés par CODAP, et qui s'adapte avec mon système est le fond plat à bord tombé de rayon intérieur  $r$ , comme il est montré dans la figure suivante :

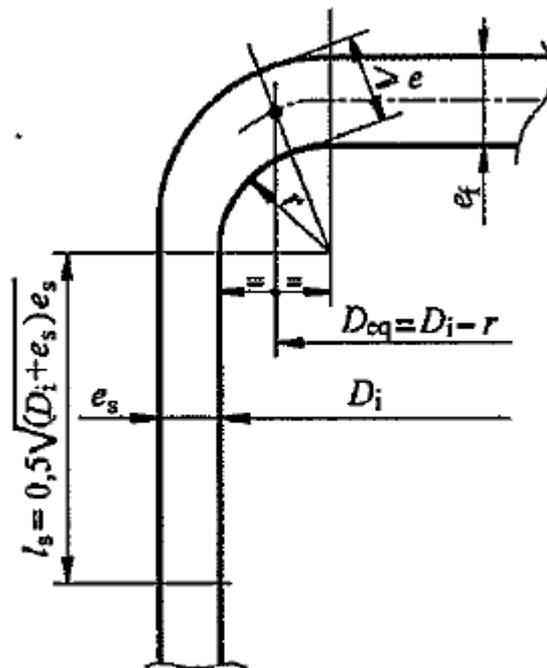


Figure IV-

Ce fond peut être en un :  
soudure bout à bout.  
Les formules de calculs  
par instabilité plastique  
élastoplastique.  
L'épaisseur minimale né

eloppe cylindrique  
lusieurs éléments assemblés par  
fond par déformation excessive,  
et par instabilité élastique et

(3)

Avec :

Dans le cas d'un fond avec ouverture centrée, le coefficient  $C_1$  est donné par la relation suivante :

$$C_1 = \text{MAX} \{ [(D_i + e_s)/D_i [A_1 (0.40825 + 0.14\beta + 0.38\beta^2) + 0.075\beta - 0.285\beta^2]]; [0.299(1 + 1.7(e_s/D_i)(1 + 0.303\beta))] \} \quad (4)$$

Et:

$$A_1 = B_1 [1 - B_1 (e_s/2(D_i + e_s))] \quad (5)$$

$$B_1 = 1 - 3f/P (e_s/(D_i + e_s))^2 + 3/16 (D_i/(D_i + e_s))^4 P/f - 3/4 ((2D_i + e_s) e_s^2 / (D_i + e_s)^3) \quad (6)$$

$$\beta = d / (D_i + e_s) \quad (7)$$

Après avoir calculé des différents paramètres pour le dimensionnement et pour trouver la valeur finale de l'épaisseur du fond on trouve :

$$e \approx 12 \text{ mm}$$

### 3-2) Encombrement

Tableau III-11 : Encombrement du réservoir d'expédition

Capacité (m <sup>3</sup> )	Diamètre intérieur (mm)	Hauteur de la partie conique (mm)	Hauteur de la partie cylindrique (mm)
≈ 1.3	1000	590	1500

### 3-2) Paramètres des calculs

On calcule la contrainte nominale de calcul du matériau de l'enveloppe  $f$  par le tableau suivant :



Tableau III-12 : Paramètre f

MATERIAU		Contrainte nominale de calcul f
Aciers non alliés ou alliés non inoxydables et non austénitiques Aciers inoxydables austéno-ferritiques, martensitiques, ferritiques et semi-ferritiques		$0,95 \times R_{p0,2}^t$
Aciers inoxydables austénitiques		$\frac{R_m'}{2}$
Aluminium et alliages d'aluminium Nickel et alliages de nickel		$0,95 \times R_{p0,2}^t$
Cuivre et alliages de cuivre		$\frac{R_m'}{2,6}$
Titane et zirconium		$\frac{R_m'}{2,3}$
Boulonnerie	Acier non alliés ou allié non austénitique	$\frac{R_{p0,2}^t}{2}$
	Acier austénitique	$\frac{R_m'}{3}$

Avec  $R_{p0,2}^t$  est la valeur minimale garantie de la limite conventionnelle d'élasticité à 0.2% à la température du calcul (t) lorsque cette température est différente de la température ambiante. Le réservoir est fabriqué de l'acier P235GH, c'est un acier européen utilisé pour la fabrication des conduites et des réservoirs soumis à des pressions élevées, et sujettes à de très hautes charges thermiques.

Cet acier est utilisé surtout pour des raccords employés dans la fabrication de chaudières et d'échangeurs de chaleur.

La composition chimique du P235GH le rend idéal pour les applications dans des environnements ayant des températures de travail élevées et de ce fait utilisé par les fabricants au niveau industriel dans le secteur pétrochimique, le transport d'huiles, gaz, hydrocarbures à haute pression, etc. au niveau industriel. Cet acier est caractérisé par une  $R_{p0,2}^t=235$  MPa.

D'après le tableau on a  $f=0.95 \times R_{p0,2}^t$ , A.N :  $f=223,25$  MPa.

Le coefficient de soudure z qu'on va utiliser dans les formules de calcul est de 0.85.

L'angle  $\alpha$  d'inclinaison de la partie conique est d'environ  $39.8^\circ$  (voir paragraphe CAO).

Le réservoir est soumis à une pression d'environ 6 bars c.-à-d. 0.6 MPa (voir paragraphe des calculs des pressions nécessaires pour faire monter le catalyseur aux différentes passes du convertisseur).

### 3-4) Détermination de l'épaisseur du réservoir

- Détermination de l'épaisseur de la partie cylindrique :

En appliquant la formule (1), on trouve :



$$e = P \times D_i / 2f \times z - P$$

A.N:  $e = 0.6 \times 1000 / 2 \times 223.25 \times 0.85 - 0.6$   
 $e = 1.58 \approx 2 \text{ mm}$

On multiplie cette valeur par un coefficient  $k=3$  de sécurité vu que le milieu est corrosif (Zone côtière), on trouve alors :

$$e = 6 \text{ mm}$$

- Détermination de l'épaisseur du fond et de la partie cylindrique :

En appliquant la formule (2), on trouve :

$$e = (P \times D_i / 2f \times z - P) \times (1 / \cos \alpha)$$

A.N:  $e = (0.6 \times 1000 / 2 \times 223.25 \times 0.85 - 0.6) \times (1 / \cos 39.8^\circ)$   
 $e = 2.06 \text{ mm}$

De même, On multiplie cette valeur par un coefficient  $k=3$  de sécurité vu que le milieu est corrosif (Zone côtière), on trouve alors :

$$e = 6.183 \text{ mm} \approx 6.2 \text{ mm}$$

### 3-5) Modélisation et analyse structurelle

En premier lieu, j'ai modélisé le réservoir d'expédition sous CATIA V5 (voir paragraphe CAO), puis j'ai modélisé la pression interne ayant une valeur de  $P=6$  bars.

Une analyse structurelle du réservoir m'a donné les résultats suivants :

La capture suivante nous donne l'état de la contrainte dans les zones les plus sollicité :

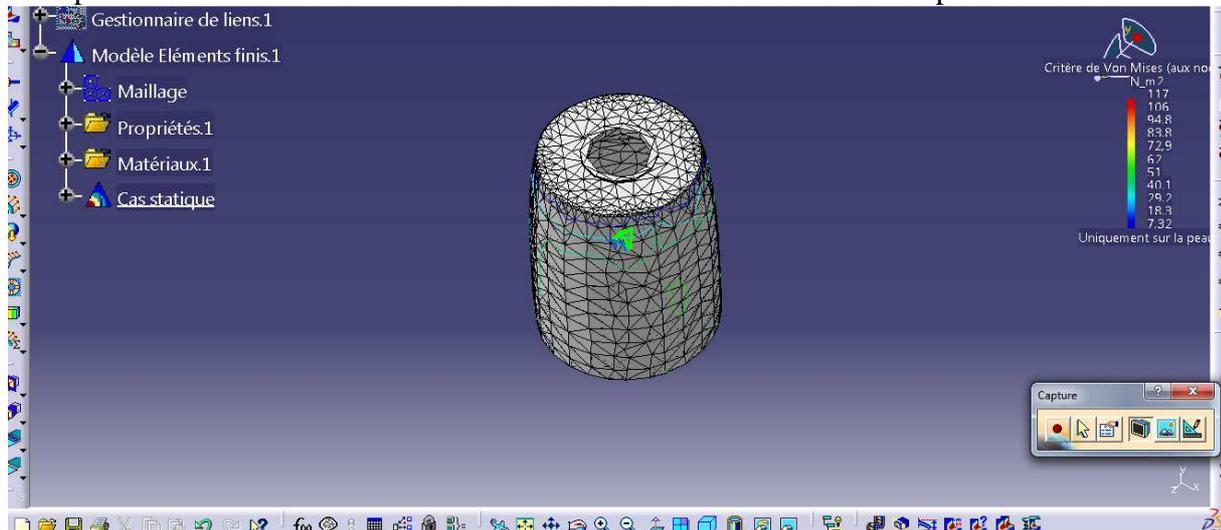


Figure III-13 : Critère de Von Mises

Les capture suivante nous montre le déplacement des nœuds à cause du chargement :

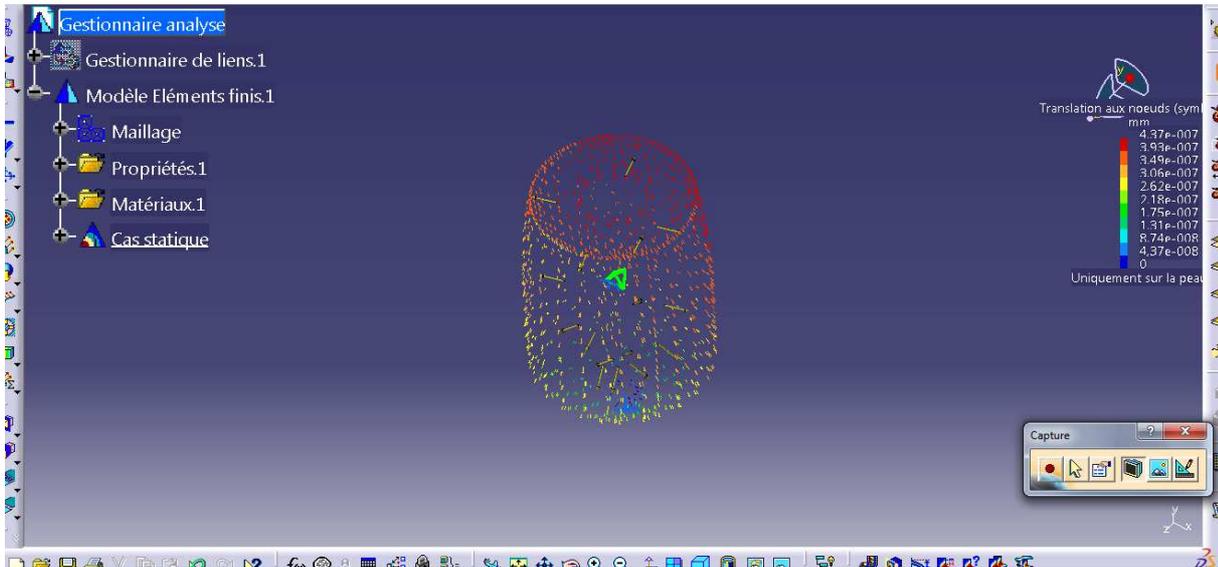


Figure III-14 : Déplacement



Figure III-15 : La valeur de déplacement

Comme elles montrent les figures au-dessus, la valeur de déplacement est de  $4.37 \times 10^{-7}$  mm et la contrainte maximale de Von Mises est de  $117 \text{ N/m}^2$ , en analysant les deux résultats on trouve que la contrainte maximale de Von Mises est très loin du limite élastique de l'acier et aussi le déplacement est négligeable, d'où l'épaisseur du réservoir trouvé par les règles de calcul données par CODAP est convenable.

#### 4) Dimensionnement des appuis du système

Avant de dimensionner nos appuis, il faut chercher d'abord, sont-ils soumis à quel type de sollicitations ?

Il est clair alors que nos appuis sont soumis à la compression, vu qu'ils supportent notre système, sachant que la force de compression est verticale, et mon système s'appuie sur quatre profilés.

Pour trouver la force appliquée sur chaque appui, il faut d'abord connaître le poids total du système.

Le poids total du système est d'un peu près  $700 \text{ kg}$ , après avoir effectué quelques calculs de base, en tenant compte des dimensions du réservoir, et des différentes composantes du mécanisme, sachant que la masse volumique de l'acier utilisé est de  $\rho_{\text{acier}} = 7850 \text{ kg/m}^3$ , et bien sûr sans oublier d'ajouter au poids du système le poids d'un seul BIG BAG contenant le catalyseur qu'on va introduire dans le réservoir afin de l'expédier aux passes du convertisseur.



Donc la somme totale sera alors un peu près  $M=1400$  kg, la force totale exercée sur les appuis est de  $F_T=Mg$ , d'où A.N :  $F_T=1400 \times 9.81=13\ 734$  N.

On doit diviser la force totale sur quatre, pour trouver la force appliquée sur un seul appui, puis le dimensionner.

Il suffit de dimensionner un seul, puisque les quatre appuis sont identiques.

La force alors appliquée sur l'appui est de :  $F=3433.5$  N.

La condition de résistance est :  $\sigma \leq R_{pc} = Rec/s$ , avec  $\sigma$  : la contrainte en MPa,  $R_{pc}$  : la résistance pratique à la compression en MPa,  $s$  : le coefficient de sécurité ( $s=4$ , voir tableau annexe III), et  $Rec$  : la résistance élastique à la compression en MPa. D'autre part, on a :  $\sigma=F/S$ , avec  $S$  : la section du profilé.

Pour les matériaux homogènes, isotropes non fragile, le cas du matériau des profilées, qui est de l'acier, on a :  $Re = Rec=235$  MPa, pour les nuances de base utilisées en construction métallique comme l'acier S 235, avec  $Re$  : la résistance élastique, on a donc :

$$\begin{aligned} & F/S \leq Rec/s \\ \text{D'où :} & \quad S \geq F.s/Rec \\ \text{A.N :} & \quad S = 3433.5 \times 4 / 235 \\ & \quad S = 58.44 \text{ mm}^2 = 60 \text{ mm}^2 = 0.6 \text{ cm}^2 \end{aligned}$$

En se basant sur le catalogue des sidérurgique (voir annexe IV), on va choisir HEB 100, ou bien HEA 100, les deux sont utiles, selon la disponibilité au stock.

## 7. Conception assisté par ordinateur sous CATIA V5

Les dispositifs du système conçu sont les suivants :

Le réservoir d'expédition de dimensions bien déterminées :

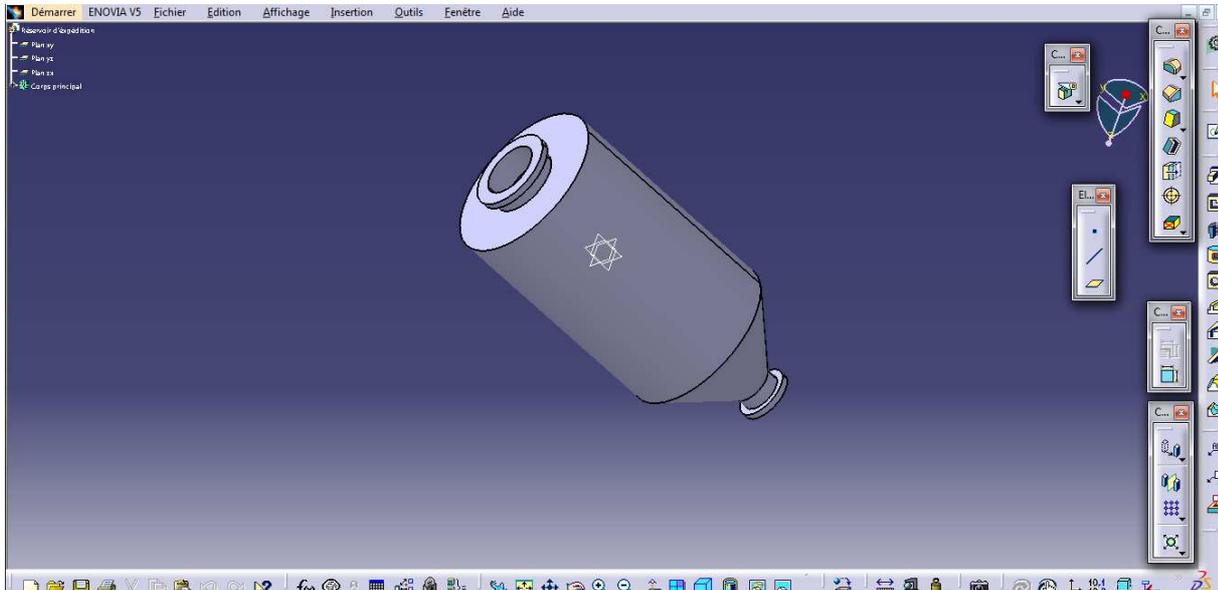


Figure III-16 : Réservoir d'expédition

La trémie d'acheminement du catalyseur vers le réservoir, d'une section circulaire, ne contient pas d'angles vifs pour plus de protection du catalyseur :

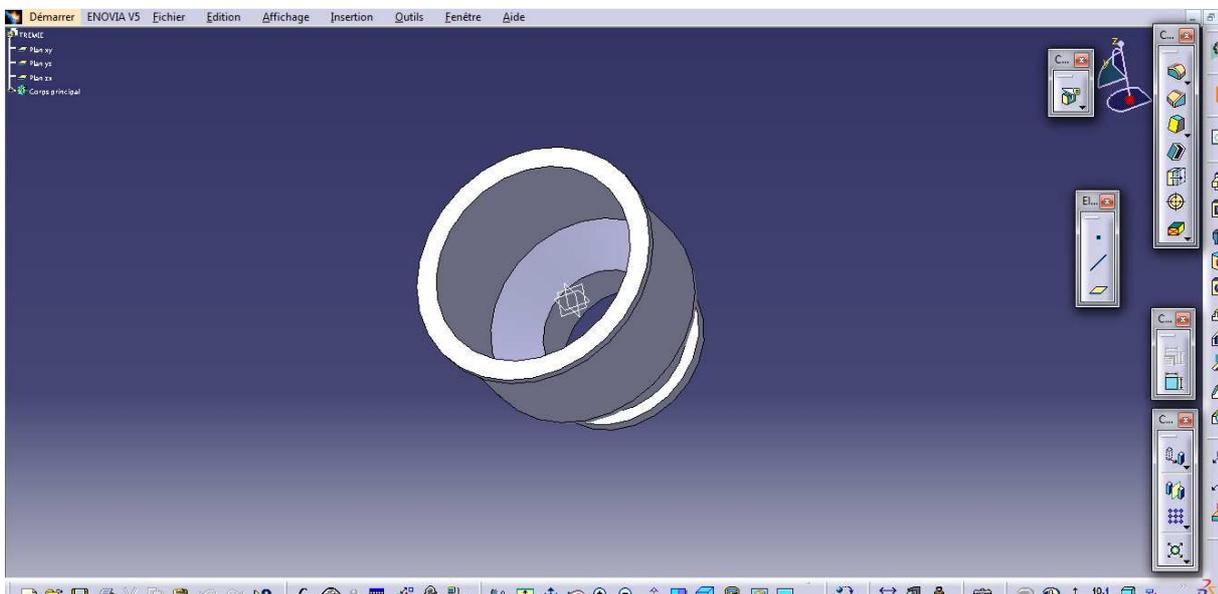


Figure III-17 : Trémie

Le coude monté à la sortie du réservoir d'expédition, sur lequel on va monter le flexible approprié selon la passe ou on veut installer notre catalyseur, le coude est équipé d'une entrée supplémentaire d'air comprimé pour assurer l'acheminement du catalyseur, et éviter tout colmatage :

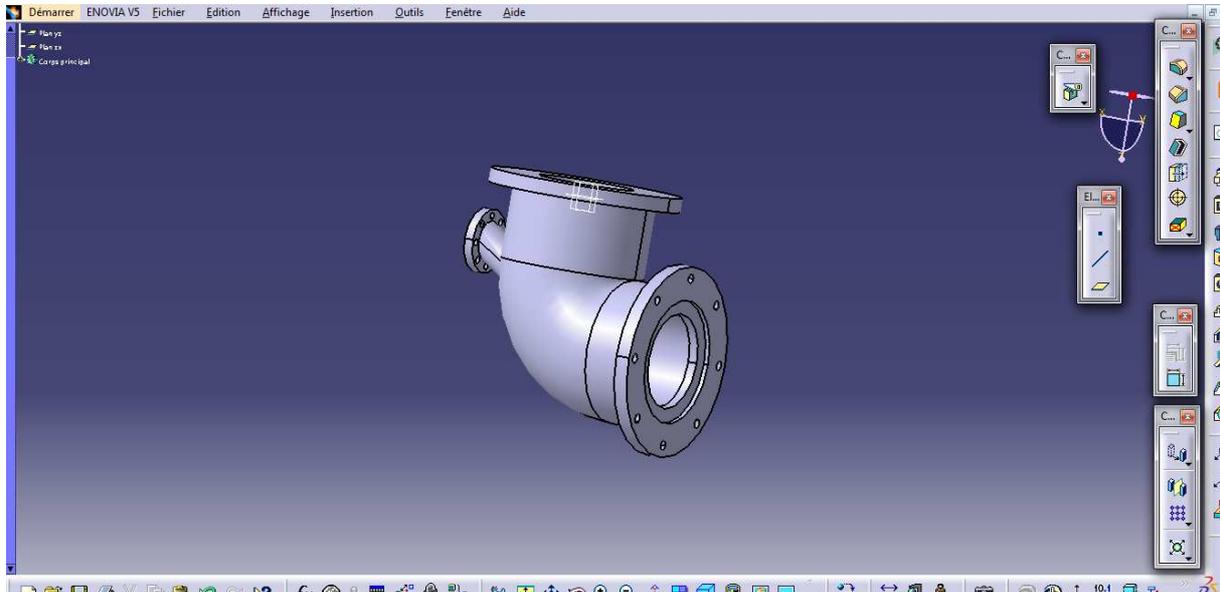


Figure III-18 : Coude 90°

Les vannes ‘papillon’, une monté à la sortie du réservoir, diamètre 150 mm et l’autre à la sortie de la trémie, diamètre 200 mm (voir les vues d’ensemble), ce sont les vannes les plus adéquates, ce type de vannes ne dégrade pas le catalyseur :

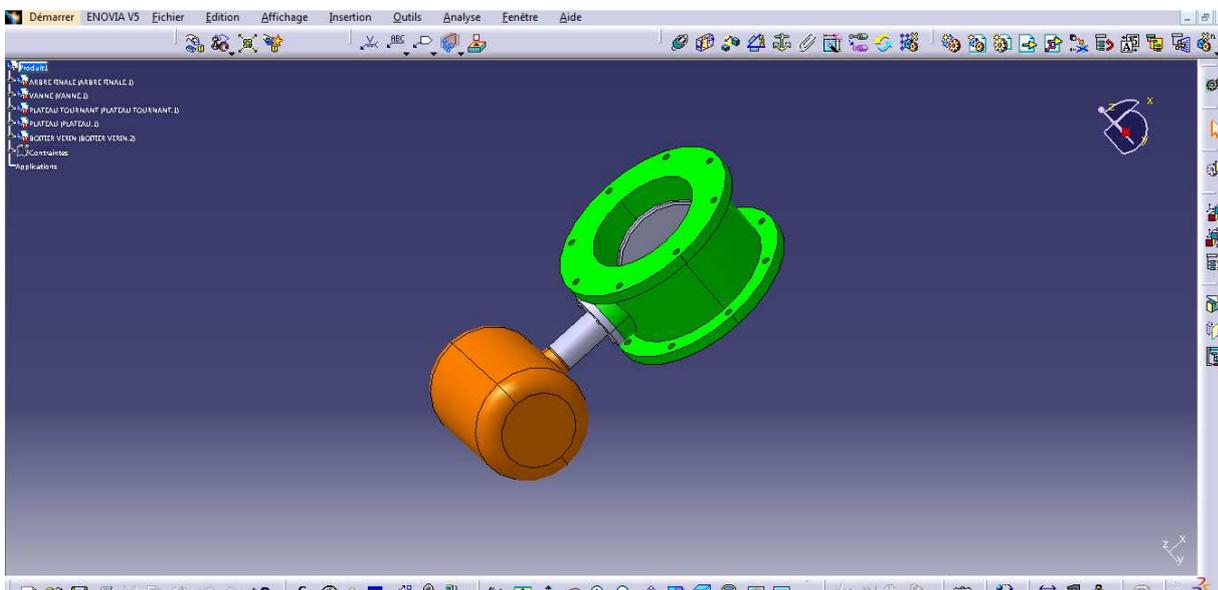


Figure III-19 : Vanne Papillon

### Assemblage final

Finalement le système complet avec des décolmateurs et des détecteurs de niveau (voir annexes IX et XI), et sur la sortie du coude en bas on va monter le flexible approprié (voir annexe VII).



Puisque l'accès au bout de fil du BIG BAG (voir chapitre II) est occasionnel, et puisque ce n'est pas possible d'installer un escalier fixe afin de respecter la mobilité du système, on a utilisé une échelle à crinoline comme vous voyez sur l'image ci-dessous :

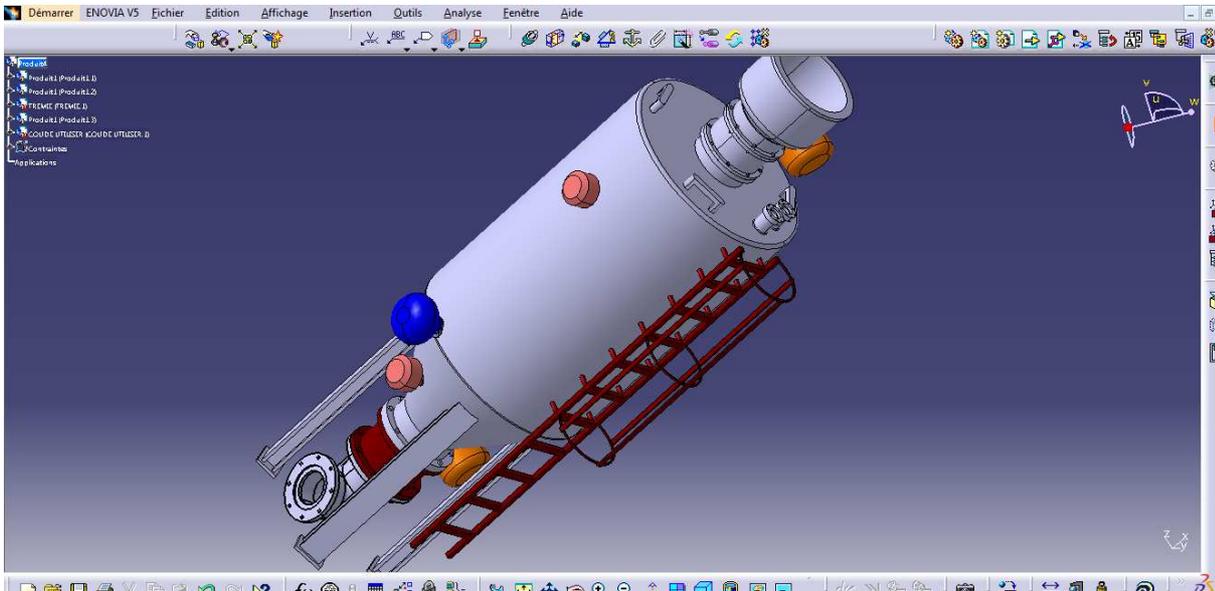


Figure III-20 : Vue d'ensemble I

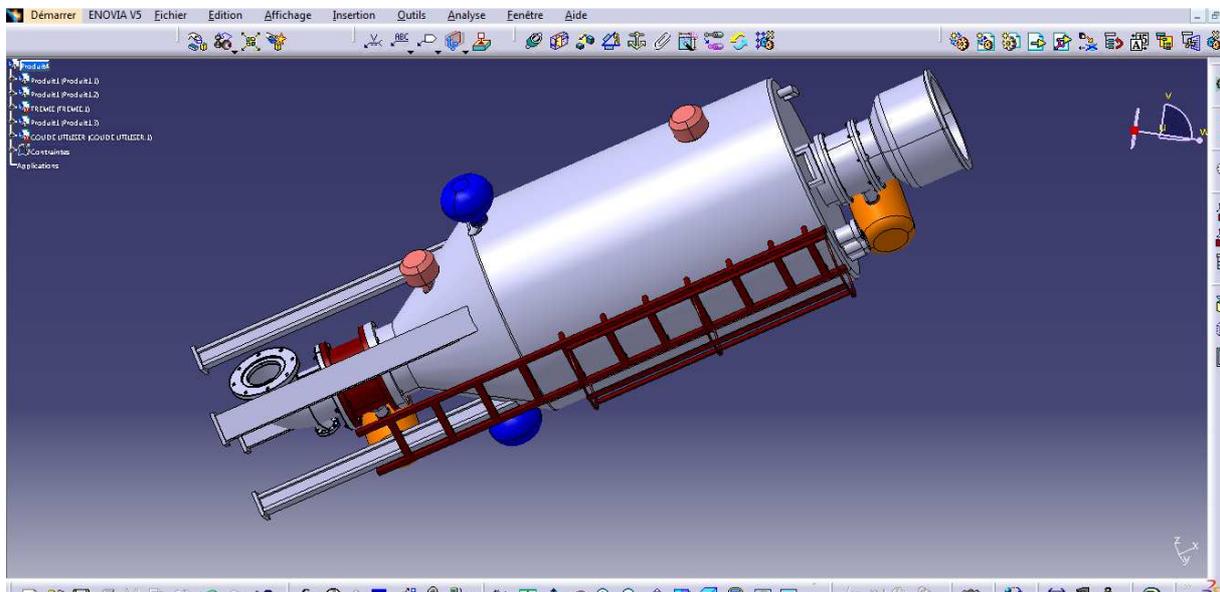


Figure III-21 : Vue d'ensemble II

## 8. Conclusion

Après avoir concevoir le système l'adéquat pour le transport du catalyseur vers les différentes passes du convertisseur, il faut faire une évaluation des gains apportés par le projet afin de bien valoriser l'utilité du système étudié et conçu.



## Chapitre IV

# Etude technico-économique

Le présent chapitre a pour objectif l'évaluation des gains, apportés par le système conçu de transport pneumatique du catalyseur vers les passes du convertisseur.

### 1. Introduction

Afin de pouvoir évaluer la valeur ajoutée aux projets ODI's et même aux anciennes unités de production du groupe OCP, vu que le système est adaptable à tous les convertisseurs et approprié pour le transport et l'installation du catalyseur dans les passes de ce dernier, une étude économique se fait pour estimer les gains apportés.

On a évalué le gain apporté, en investissement humain, en temps, et en budget. En comparant les gains futurs de ce projet au coût initial de l'investissement.

### 2. Evaluation des gains

L'évaluation des objectifs déjà fixés au début de mon rapport se fait selon trois plans :

- Sur le plan économique ;
- Sur le plan des ressources humaines (surtout la main d'œuvre) ;
- Sur le plan écologique.

#### 2.1. Sur le plan économique

Les calculs montrent que la durée couvrant la méthode de transfert du catalyseur aux passes du convertisseur, appliquée actuellement, est de plus de 40 jours, avec un débit d'environ 2169,3125 Kg/h environ trois BIG BAG par heure. Tandis que mon système, avec un débit de 5000Kg/h,



nécessite au maximum 17 jours pour transférer toute la quantité du catalyseur aux différentes passes du convertisseur. Cela donne un gain d'au moins de 22 jours de production.

Les données résumées dans le tableau suivant montrent la production d'une seule usine :

**Tableau IV-1 : La production d'une seule usine**

PRODUITS	QUANTITES
Acide sulfurique	4200 tonnes/jour
Acide phosphorique	1400 tonnes/heure c.-à-d. 22400 tonne/jour
Engrais : D.A.P	950 000 tonnes/an c.-à-d. 2602,739 tonnes/jour
Centrale thermoélectrique	40 mégawatts/jour

D'où on obtient les gains suivants :

**Tableau IV-2 : Les gains apportés par le projet**

PRODUITS	QUANTITES
Acide sulfurique	4200 X 22 jours = 92400 tonnes
Acide phosphorique	22400 X 22 jours = 492800 tonnes
Engrais : D.A.P	2602,739 X 22 jours = 57260,258 tonnes
Centrale thermoélectrique	40 X 22 jours = 880 mégawatts

Cinq usines fonctionnent actuellement (Maroc Phosphore, BUNGE, PAKISTAN, EMAPHOS, IMACID), tandis que quatre autres sont en cours de construction, cela veut dire que ces gains sont multipliés par neuf fois (nombre total des usines de production) ce qui résulte un gain annuel de :

- 831 600 Tonnes d'acide sulfurique ;
- 4 435 200 Tonnes d'acide phosphorique ;
- 515 342,33 Tonnes de D.A.P ;
- 8712 Mégawatts d'électricité.

Donc une fortune à gagner économiquement.

## 2.2. Sur le plan des ressources humaines

L'inhalation de la poussière de notre catalyseur, est le principal mode d'exposition. Le vanadium inhalé est éliminé via les urines, donc le rein est le principal organe de stockage.



Les altérations rénales résultantes sont généralement irréversibles. En plus le contact au catalyseur provoque l'irritation des yeux et des voies respiratoires. Les inhalations accidentelles peuvent être arrivées au milieu du convertisseur au moment de la pulvérisation du catalyseur. Ce système pneumatique raccourcit la durée de contact des ouvriers et du catalyseur, d'où le risque d'exposition est réduit à moitié par rapport à la méthode de transfert actuelle.

En plus, l'effort physique lié aux ouvriers est diminué par comparaison à la méthode actuelle de transport et d'installation du catalyseur dans le convertisseur.

Aussi, le nombre d'ouvriers impliqués dans l'opération de transfert du catalyseur par mon système pneumatique est au maximum cinq personnes au lieu de seize personnes de la méthode existante. Deux ouvriers près du réservoir contrôlent les pressions et les différentes grandeurs et assurent avec soins la mise en œuvre du système ainsi que les autres pulvérisent le catalyseur dans les passes du convertisseur.

### 2.3. Sur le plan écologique

Les chercheurs scientifiques ont affirmé que de faibles doses de vanadium (10 – 20 mg/L) ont des effets néfastes sur les plantes et comme c'est déjà cité, le catalyseur contient du vanadium. Notant bien que les plantes et surtout les plantes vertes ont une place très importante dans la chaîne alimentaire au milieu naturel. Ce sont des producteurs de matières organiques c'est-à-dire de la nourriture aux autres êtres vivants.

En plus ils dégagent de l'oxygène dans l'atmosphère par photosynthèse. Parmi les résultats des études rapportées sur la toxicité chronique du vanadium sur les micro-organismes du sol, la valeur la plus faible est de 1,6 mg/kg/j.

En ce qui concerne les plantes terrestres, la donnée de toxicité chronique la plus faible est de 25 mg/kg de matière sèche.

Chez les oiseaux et les mammifères de nombreuses études sur la toxicité chronique du vanadium ont été rapportées, elle varie de 0,244 à 98,7 mg/kg/j pour les oiseaux et de 0,022 à 21695 mg/kg/j pour les mammifères.

Notre système de transport pneumatique est fermé. Le cheminement du catalyseur se fait dans des conduites l'isolant du milieu extérieur. Donc il n'y a pas de contamination du milieu écologique, et il préserve les milieux naturels terrestres et aquatiques.

On conclue que le système de transport pneumatique qu'on a conçu n'est pas nuisible à l'environnement.

### 3. Etude économique du système

Le tableau suivant montre le coût estimé de mon système pneumatique :

**Tableau IV-4 : Etude économique du système**

Nombre	Désignation	Prix unitaire (Dhs)	Prix (Dhs)
1	Réservoir de transfert (tôle d'acier)	65 Dhs/kg	24050
1	Coude	309	309
4	Tuyaux flexibles Diamètre 150 mm	550	2200



4	Profilés (HEB 100)	4 Dhs/kg	2662,272
1	Vanne papillon :		
	Diamètre 150 mm	33712,93	33712,93
1	Diamètre 200 mm	46004,34	46004,34
1	Trémie	6 Dhs/kg	3250
1	Vanne de dégazage	200	200
2	Détecteur de niveau	2000	4000
		<b>TOTAL :</b>	<b>116 388,53</b>

Le prix total donné présente le prix des composantes constituant le système sans prendre la main d'œuvre que va souder le réservoir et la trémie, et réaliser le montage des équipements.

#### 4. conclusion

Dans ce chapitre, on a résumé le travail effectué en chiffrant les gains et exposant leurs apports directs et indirects à la production.



## Conclusion générale

Arrivant à la fin de ce projet de fin d'études, concernant l'étude et la conception d'un système pour l'installation du catalyseur dans les quatre passes du convertisseur, présentant le bilan du travail effectué.

D'abord il fallait bien comprendre le fonctionnement de la société et ses différents services et surtout le service d'accueil, et s'y intégrer afin de pouvoir bénéficier de la collaboration du personnel et de leurs conseils.

Ensuite, on a commencé l'étude par une analyse de l'existant pour bien saisir les problèmes du système actuel et de la méthode traditionnelle. C'est dans ce cadre qu'on a réalisé une analyse fonctionnelle pour proposer des solutions adéquates qui résolvent les problèmes du système actuel tout en satisfaisant les exigences du cahier des charges.

D'après mon étude, il s'est avéré que je suis obligé de concevoir un système performant, efficace et adéquat, pour transporter et installer le catalyseur dans les différentes passes du convertisseur, tout en veillant à ne pas endommager le catalyseur, et bien sur, conserver ses caractéristiques physico-chimiques, sa forme, et sa taille.

Sous cette perspective, on a conçu un système de transport pneumatique, facile à manipulé. Ce système est modélisé sous Catia V5, après l'avoir dimensionné selon les normes européennes. En étudiant finalement l'équipement critique sous pression, plus précisément le réservoir sous Catia V5, on a aboutit à la conception d'un système qui résous tous les problèmes rencontrés lors du transfert du catalyseur aux passes du convertisseur.

Ma vision concernant la réalisation du projet, consiste à élaborer un planning de ce dernier pour suivre et analyser son avancement. Le suivi du projet commence par la supervision dans les chantiers et par des réunions journalières pour l'acquisition des informations nécessaires de la part des agents et des personnes responsables, et afin de vérifier qu'il est conforme aux exigences du cahier des charges.

Enfin, on signale que la vie professionnelle demande certaines rigueurs au niveau relationnel, à titre d'exemple : le respect de la hiérarchie et l'esprit d'équipe pour améliorer la qualité des services, développer le sens de contact et les relations humaines, dans le but d'exécuter les tâches dans des meilleures conditions de travail.



### Bibliographie :

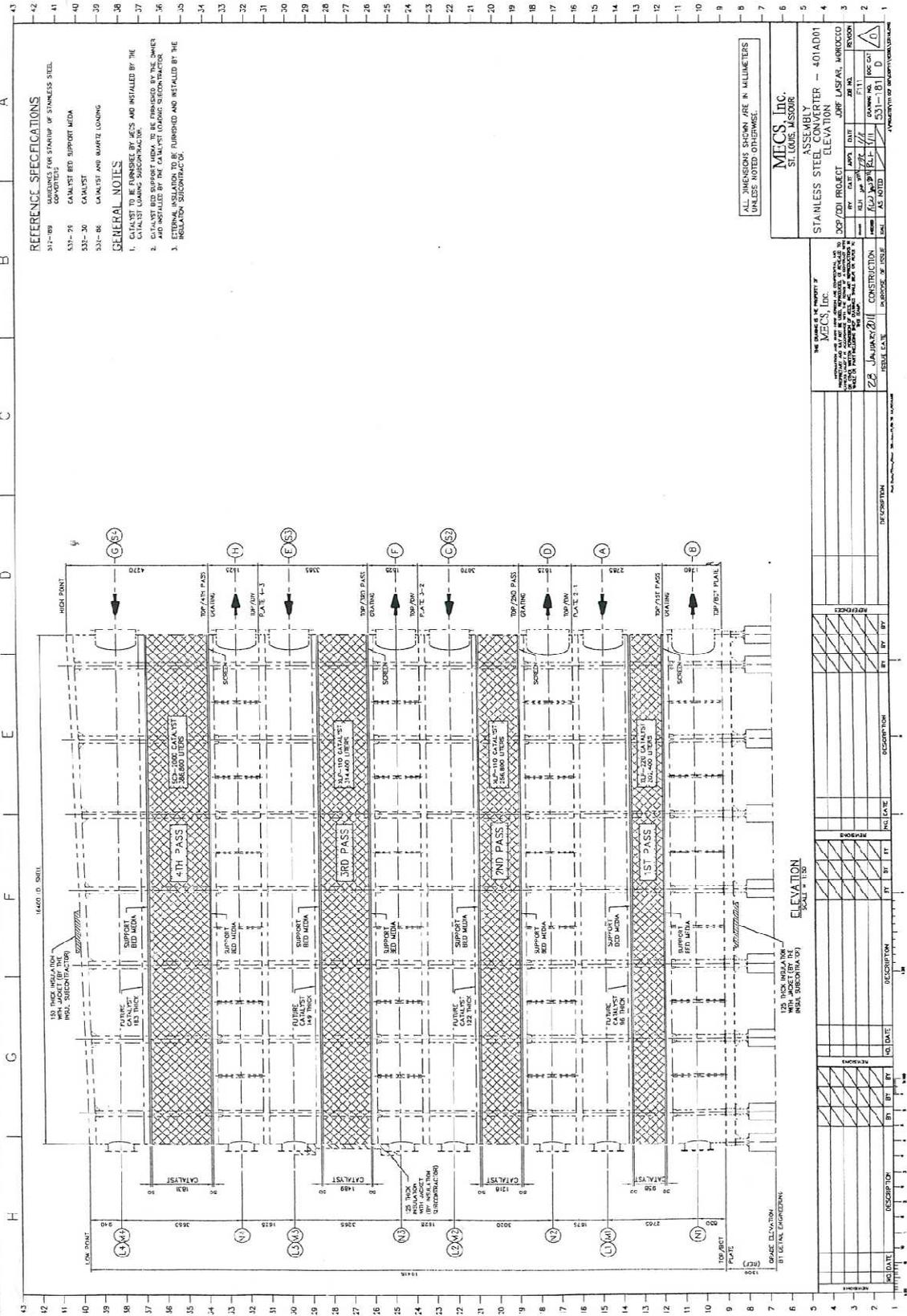
- Cours «Mécanique des fluides », M. HAMMOUMI, Professeur à la FST de Fès ;
- A COMPREHENSIVE SCALING UP TECHNIQUE FOR PNEUMATIC TRANSPORT SYSTEMS, By Chandana Ratnayake, Département of Technology Telemark University College ;
- PNEUMATIC CONVEYING DESIGN GUIDE (second édition) by David MILLS ;
- PNEUMATIC CONVEYING OF BULK SOLIDS by P.W. Wypych (University of Wollongong) ;
- AERODYNAMIQUE ET TURBULENCE DANS LES CYCLONES SEPARATEURS par Nadjib GHITI
- STATIQUE ET DYNAMIQUE DES FLUIDES par Stéphane CHAUSSEMENT (Université d'Angers, Date : Janvier 2011) ;
- INERIS : VANADIUM ET SES COMPOSÉES, Responsable du programme :  
M. Bisson, Experts : V. Bonnomet – G.Gay – F.Ghillebaert – D.Guillard –L.Lethielleux – K.Tack ;
- MECANIKES DES FLUIDES : Exemples d'application du chapitre I, DUNOD ;
- SULPHURIC-ACID ON THE WEB TM (MECS) ;
- CODAP 2010 ;



# Les Annexes



**UNIVERSITÉ SIDI MOHAMMED BEN ABDELLAH - FÈS**  
**FACULTÉ DES SCIENCES ET TECHNIQUES**  
**DÉPARTEMENT DE GÉNIE MÉCANIQUE**





**Annexe I : Plan du convertisseur I**





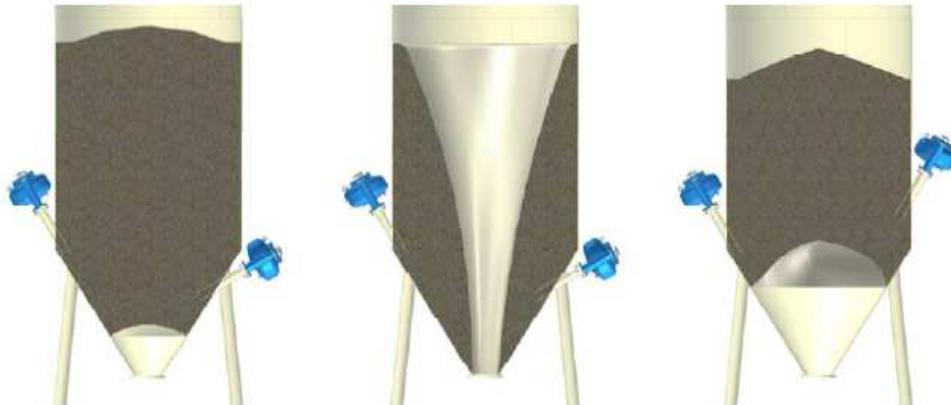
### Annexe II : Plan du convertisseur II

Coefficient de sécurité (s)	Conditions générales de calculs (sauf réglementation particulière)
1,5 à 2	Cas exceptionnels de grande légèreté. Hypothèses de charges surévaluées.
2 à 3	Construction où l'on recherche la légèreté (aviation). Hypothèses de calcul la plus défavorable (charpente avec vent ou neige, engrenages avec une seule dent en prise ...).
3 à 4	Bonne construction, calculs soignés, haubans fixes.
4 à 5	Construction courante (légers efforts dynamiques non pris en compte. Treuils.)
5 à 8	Calculs sommaires, efforts difficiles à évaluer (cas de chocs, mouvements alternatifs, appareils de levage, manutention).

Annexe  
de

III :  
coefficients  
sécurité

Exemples  
d'implantation :



### Annexe IV : Montage des décolmateurs

NUANCES D'ACIER		CARACTERISTIQUES MECANQUES			
NOM	NUMERO	Limite conventionnelle d'élasticité Rp0.2 mini (Mpa)	Résistance à la traction Rm (Mpa)	Allongement A% mini	
				longitudinal	transversal
P265GH	1,0425	265	410-570	23	21
P235GH	1,0345	235	360-500	25	23

### Annexe V : Caractéristiques Acier P235GH I

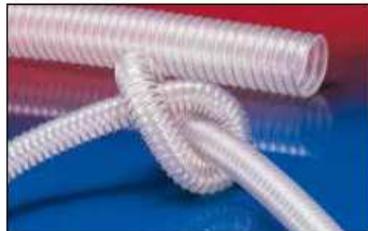


Norme :		EN10217-1	EN10217-2 EN10217-5	EN10216-2	DIN17175
Nuance (N° du matériau selon EN10088-1)		P235TR1 (1.2054) P235TR2 (1.2055)	P235GH (1.0345)	P235GH (1.0345)	St 35.8 (1.0305)
Spécifique	Qualité du tuyau ERW = Soudé Long SAW = Soudé Spirale Seamless = Sans soudure	ERW	ERW / SAW	Seamless	Seamless
	Plage de diamètre	DN15 à 1000		DN15 à 700	
	Masse Volumique $\rho$ (kg/m <sup>3</sup> )	7,87	7,87	7,87	7,87
	Pression Admissible $P_b$ (bar) <sup>(1)</sup>	25	25	25	25
Mécanique	Résistance à la traction $R_m$ (N/mm <sup>2</sup> )	≥ 360	≥ 360	≥ 360	≥ 360
	Limite Elastique à 20°C $R_{el(20°C)}$ (N/mm <sup>2</sup> )	235	235	235	235
	Module d'élasticité à 20°C $E_{(20°C)}$ (N/mm <sup>2</sup> )	212 000	212 000	212 000	212 000
	Contrainte axiale max. $\sigma_{max}$ (N/mm <sup>2</sup> ) à 100°C	190	190	190	190
Thermique	Coeff. de conductivité Thermique $\lambda$ W/(mK)	52,33	52,33	52,33	52,33
	Capacité Thermique $c$ (kJ/(KgK))	0,46	0,46	0,46	0,46
	Coeff. expansion $\alpha_{(20°C)}$ à 20°C ( $\times 10^{-6}$ K <sup>-1</sup> )	11,9	11,9	11,9	11,9

### Annexe VI : Caractéristiques Acier P235GH II

## TUYAUX D'ASPIRATION, GAINES DE VENTILATION ET TUYAUX DE REFOULEMENT

### AIRDUC® PUR 351 MHF - exécution mi-lourde



Tuyau d'aspiration et de refolement

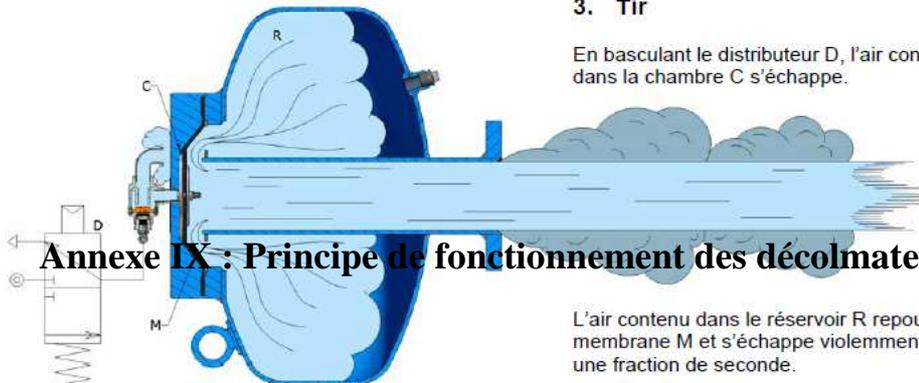
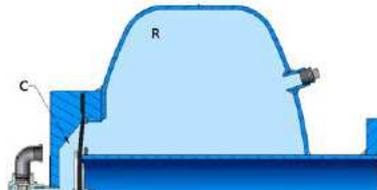
- pour matières abrasives comme les poussières, la poudre, les fibres, les copeaux et les granulats
- pour les médiums gazeux et liquides
- pour les installations de dépoussiérage et les aspirateurs industriels
- pour les aspirateurs, les engins de manutention et les compresseurs
- pour les tondeuses et les aspirateurs à feuilles
- pour l'industrie alimentaire, pharmaceutique et chimique  
comme tuyau de protection résistant
- hautement résistant au frottement, intérieur lisse, caractéristiques d'écoulement optimisées, flexible, haute résistance à la traction et à la déchirure
- Paroi de qualité alimentaire selon la FDA 21 CFR 177.2600 et 178.2010, la directive CE 2002/72/EG y compris la directive rectificative la plus récente 2007/19/EG, recommandation allemande XXXIX BfR Polyuréthane
- Homologation selon la directive européenne 2002/72/CE, y compris la directive rectificative la plus récente 2007/19/CE accordée par un institut de contrôle indépendant pour l'ensemble du tuyau
- inodore et insipide, résistant aux microbes et à l'hydrolyse, bonne résistance aux huiles minérales et à l'essence, bonne résistance aux produits chimiques, bonne résistance aux rayons UV et à l'ozone, très bonne flexibilité à basse température, petits rayons de courbure, sécurisé contre les marques de pliage, exempt de plastifiants et d'halogènes, étanche aux gaz et aux liquides, peu inflammable selon UL94-HB
- à capacité de décharge de l'électricité (selon BGR 132, anciennement ZH 1/200) lorsque la spirale est mise à terre

**Domaine d'application :** Tuyau d'aspiration et de refolement  
**Construction :** exécution mi-lourde  
**Renforcement :** Spirale en fil d'acier  
**Matériau :** PUR à base d'ester  
**Longueur :** 10 m  
**Plage de température :** env. -40 °C à env. +90 °C  
**Couleur :** transparent naturel

### Annexe VII : Type du flexible utilisé



Les décolmateurs AIR-JET sont des appareils destinés à faciliter l'écoulement des produits pulvérulents, ou granuleux, hétérogènes, secs ou légèrement humides stockés dans des trémies ou silos.



AJ150

Le réservoir R est alimenté en air comprimé par un orifice calibré percé dans la membrane.

## 2. Prêt pour le tir

Le remplissage du réservoir R terminé, les pressions entre le réseau et l'appareil sont équilibrées.

La membrane M est fermée et l'appareil prêt à fonctionner.

## 3. Tir

En basculant le distributeur D, l'air contenu dans la chambre C s'échappe.

## Annexe IX : Principe de fonctionnement des décolmateurs

L'air contenu dans le réservoir R repousse la membrane M et s'échappe violemment en une fraction de seconde.



**Annexe XI : Détecteur de niveau**