



Université Sidi Mohamed Ben Abdellah
Faculté des Sciences et Techniques de Fès
Département de Génie Industriel



Mémoire de Projet de fin d'étude

Préparé par

ERRIAHI EL-IDRISSI BOUTAINA

Pour l'obtention du diplôme d'Ingénieur d'Etat

Spécialité : Ingénierie en Mécatronique

Intitulé

Réalisation d'un plan de maintenance préventive
de la nouvelle unité de production de l'acide
sulfurique du projet ODI/P1

Lieu : JACOBS ENGINEERING SA

Réf : 11/IMT 2015

Soutenu le 1^{er} Juillet 2015 devant le jury :

- Monsieur CHAFI Anas (Encadrant pédagogique)
- Monsieur NADIF Abdelkrim (Encadrant industriel)
- Monsieur ENNADI Abdelilah (Examinateur)
- Monsieur HAOUACH Said (Examinateur)



JACOBS
Engineering SA

Dédicaces

Chère mère, cher père ...

Vous le savez bien, rien ne m'a préparé à être ce que je suis aujourd'hui.

Je ne sais pas comment ou par où commencer, tout était presque impossible hier... grâce à vous, j'ai appris comment prendre l'impossible avec mes deux mains et le remodeler afin de créer mon monde, pour que l'impossible devienne mon outil et mon arme du combat.

Vous m'avez toujours appris à être fière, fière de quoi au juste ... ? Je ne sais pas, un concept.

Je me suis d'ailleurs toujours demandé comment vous aviez réussi à m'injecter cette fierté dans le sang.

Aujourd'hui, cette fierté est devenue ma seule possession et ma seule richesse.

Chère sœur (Meryem) ...

Tu as toujours été en avance, tu es arrivée 3 ans avant moi, et tu as toujours été la préférée de notre père...

Tu as choisi de partir loin, tu as tout quitté... tes amis, ta famille... et finalement nos chemins se sont séparés et nous nous sommes éloignées.

Aujourd'hui, je me souviens de tes paroles lorsque tu me disais que je suis née sur une planète, je ne suis pas née dans une maison, ni dans un quartier, ni dans une ville, ni dans un pays, et que tous les pays m'appartiennent... toutes les langues, tous les parfums....

Chère sœur (Hind) ...

Tu as toujours été ma préférée, je te l'ai déjà montré, parfois avec une sorte de gentillesse, parfois avec beaucoup de violence...

A vous tous ... Que ce modeste travail vous honore et vous témoigne mes reconnaissances.

Boutaina

Remerciements

En préambule à ce rapport, je remercie la direction JACOBS ENGINEERING SA, pour m'avoir accueillie dans l'entreprise et permis de découvrir un secteur d'activité en constante évolution,

Mes vifs remerciements sont adressés à mon encadrant pédagogique **M.ANAS CHAFI**, pour l'aide et les conseils concernant les missions évoquées dans ce rapport, et pour la qualité de son enseignement tout au long de ma formation.

Je remercie par la même occasion mon encadrant industriel, **M.ABDELKRIM NADIF** manager construction, à qui j'exprime ma reconnaissance pour l'encadrement qu'il m'a prodigué tout au long de ma période de stage. Je tiens d'emblée à vous remercier spécialement de tout l'intérêt que vous aviez bien voulu porter à mon travail, vos conseils, vos explications et remarques pertinentes.

Je tiens à remercier aussi toute l'équipe pédagogique de la faculté des sciences et technique de Fès, et les intervenants professionnels responsables de la formation Mécatronique de nous avoir préparé à atteindre ce stade qui nous a permis de confronter la vie professionnelle ; je remercie spécialement le responsable de notre filière **M.HAMED** pour sa persévérance et sa détermination à rendre de notre formation, une formation de très bonne qualité.

Je tiens à remercier tout particulièrement et à témoigner toute ma reconnaissance aux personnes suivantes, pour l'expérience enrichissante et pleine d'intérêt qu'elles m'ont fait vivre durant ces 4 mois au sein de l'entreprise JESA.

A monsieur **ABDELKRIM OUARIACHI**, du département qualité, pour son accueil et la confiance qu'il m'a accordée dès mon arrivée dans l'entreprise.

A monsieur **HICHAM BELMAATI** responsable COMMISSIONING électrique, et à son équipe, je serais vaniteuse si je me devais énumérer en ces quelques lignes vos remarquables qualités humaines et professionnelles, merci pour m'avoir intégrée rapidement au sein de l'entreprise et m'avoir accordé toute votre confiance ; pour le temps que vous m'avez consacré tout au long de cette période, sachant répondre à toutes mes interrogations ; sans oublier votre participation au cheminement de ce rapport.

A monsieur **MUNEEB HODEKAR** de l'équipe PIPING, qui ne s'est pas attardé à m'orienter et à m'encourager afin de donner le meilleur de moi-même.

A messieurs **SAMAD, OUADACH, TANOUNI, ELOUAFY**, que je tiens à remercier pour leur assistance, conseils et explications durant ces 4 mois.

Finalement je remercie tous les employés JESA, toujours disponibles et bienveillants. À tous ces intervenants, je présente mes remerciements, mon respect et ma gratitude.

Puisse cette étude apporter la pleine satisfaction à tous ceux qui la lisent.

SIGLES ET ACRONYMES

OCP	: Office Chérifien des Phosphates
JESA	: Jacobs Engineering SA
ODI	: Owner Direct Investment
AFC	: African Fertilizers Complex
EPCM	: Engineering, Procurement, Construction management
SAP	: Sulfuric Acid Plant
DAP	: DiAmmonium Phosphate
PAP	: Phosphoric Acid Plant
OSBL	: OutSide Battery Limits
JPH	: Jorf Phopshate Hub
PMP	: Pakistan Maroc Phosphore
DI	: Demande d'intervention
OT	: Ordre de Travail
AMDEC	: Analyse des Modes de Défaillances leurs effets et leurs criticités
HP	: Haute pression
2TUP	: 2 Trucks unified process
EMP	: Euro Maroc Phosphore
HRS	: HeatRecovery System

Liste des tableaux

TABLEAU 1 : TABLEAU DES TACHES EFFECTUEES SUR GANT	21
TABLEAU 2 : LES RESSOURCES NECESSAIRES POUR CHAQUE NIVEAU DE MAINTENANCE	26
TABLEAU 3 : TABLEAU DES COEFFICIENTS DE CRITICITE	30
TABLEAU 4 : TABLEAU DES DUREES DES ARRETS EN HEURE	33
TABLEAU 5 : TABLEAU DES POMPES LES PLUS IMPORTANTES DE L'ATELIER SULFURIQUE	35
TABLEAU 6 : GRILLE D'EVALUATION DE LA CRITICITE.....	36
TABLEAU 7 : LES POMPES LES PLUS CRITIQUES SELON LA METHODE PIEU	37
TABLEAU 8 : FONCTIONS DE L'ANALYSE PIEUVRE DES POMPES D'ACIDE	41
TABLEAU 9 : TABLEAU DES FONCTIONS DE L'ANALYSE PIEUVRE DE LA POMPE HP D'EAU D'ALIMENTATION	42
TABLEAU 10 : TABLEAU-RESULTAT AMDEC POMPE HP D'EAU D'ALIMENTATION	53
TABLEAU 11 : RESULTAT DE L'ETUDE DE L'ANALYSE AMDEC DES POMPES D'ACIDE	57
TABLEAU 12: IMPACT RELATIF DE CHAQUE CAUSE SUR L'EFFET.....	64
TABLEAU 13 : CLASSIFICATION DES CAUSES DE DEFAILLANCE DES PALIERS LISSES DE LA POMPE HP D'EAU D'ALIMENTATION	65
TABLEAU 14 : CLASSIFICATION DES CAUSES DE DEFAILLANCE DES PALIERS A ROULEMENTS DES POMPES D'ACIDE	65
TABLEAU 15 : GRILLE 5 POURQUOI DES PALIERS A ROULEMENTS DES POMPES DE CIRCULATION D'ACIDE.....	67
TABLEAU 16 : GRILLE 5 POURQUOI POUR LE PROBLEME DES PALIERS LISSES DE LA POMPE HP D'EAU D'ALIMENTATION	68

Liste des figures

FIGURE 1: LOCALISATION DE 4 PROJETS ODI	13
FIGURE 2: LES ZONES DU PROJET ODI-P1	14
FIGURE 3: VUE REELLE D'UNE ODI	14
FIGURE 4: SYNOPTIQUE DE L'UNITE SAP	18
FIGURE 5 : SCHEMA DE PRINCIPE DU SYSTEME HRS	19
FIGURE 6: UTILISATION VAPEUR HRS DANS LA PRODUCTION DE L'ENERGIE ELECTRIQUE	19
FIGURE 7: DIGRAMME GANT	21
FIGURE 8: LES OBJECTIFS DE LA MAINTENANCE	24
FIGURE 9: LES TYPES DE LA MAINTENANCE	24
FIGURE 10: CYCLE DE MAINTENANCE PREVENTIVE SYSTEMATIQUE	25
FIGURE 11: SCHEMATISATION DE LA MAINTENANCE PREVENTIVE CONDITIONNELLE	26
FIGURE 12: DIAGRAMME D'ISHIKAWA	28
FIGURE 13: PARETO DES ARRETS AVEC LES PLUS LONGUES DUREES	34
FIGURE 14: METHODE 2TUP	39
FIGURE 15: DIAGRAMME DE L'ANALYSE BETE A CORNES DES POMPES DE CIRCULATION DE L'ACIDE	40
FIGURE 16: DIAGRAMME DE L'ANALYSE BETE A CORNES DE LA POMPE HP D'EAU D'ALIMENTATION	40
FIGURE 17: SCHEMA DE L'ANALYSE PIEUVRE DES POMPES D'ACIDE	41
FIGURE 18: SCHEMA DE L'ANALYSE PIEUVRE DE LA POMPE HP D'EAU D'ALIMENTATION	42
FIGURE 19: EMPLACEMENT DES DEUX POMPES 401AAP01 ET 401AAP02 DANS LE BAC COMMUNERREUR ! SIGNET NON DEFINI.	
FIGURE 20: VUE REELLE DU BAC COMMUN D'ACIDE ET DES DEUX POMPES D'ACIDE	43
FIGURE 21: POMPE HP D'EAU D'ALIMENTATION ET LA POMPE RESERVE	44
FIGURE 22: VUE REELLE DES DEUX POMPES AAP09 ET AKP09	44
FIGURE 23: EMPLACEMENT DE LA POMPE ULTIME SECOURS	45
FIGURE 24: FICHE SIGNALETIQUE DE LA POMPE 401AAP01	46
FIGURE 25: LA PARTIE SUPERIEURE DE LA POMPE IMMERGEE DANS LE BAC COMMUN D'ACIDE	46
FIGURE 26: FICHE SIGNALETIQUE DE LA POMPE DE CIRCULATION D'ACIDE	47
FIGURE 27: LA POMPE HP D'EAU D'ALIMENTATION DE LA CHAUDIERE	48
FIGURE 28: RESULTATS AMDEC DE LA POMPE HP D'EAU D'ALIMENTATION	55
FIGURE 29: RESULTATS AMDEC DES POMPES DE CIRCULATION D'ACIDE	59
FIGURE 30: DIAGRAMME ISHIKAWA DES PALIERS LISSES	61
FIGURE 31: METHODE ISHIKAWA DES POMPES D'ACIDE	63
FIGURE 32: LA CONDUITE D'ASPIRATION DE LA POMPE HP D'EAU D'ALIMENTATION DE LA CHAUDIERE	72
FIGURE 33: SCHEMATISATION DE LA SOLUTION A L'AIDE DU PID	73
FIGURE 34: PREMIERE SOLUTION SOUS FORME GRAFCET	74
FIGURE 35: LES INTERLOCKS LIES A LA POMPE HP D'EAU D'ALIMENTATION DE LA CHAUDIERE	74
FIGURE 36: INTERLOCKS DE LA POMPE HP APRES MODIFICATIONS	75

SOMMAIRE

DEDICACES	1
REMERCIEMENTS	2
SIGLES ET ACRONYMES.....	3
LISTE DES TABLEAUX.....	4
LISTE DES FIGURES.....	5
SOMMAIRE	6
INTRODUCTION	9
CHAPITRE 1 : PRESENTATION DE L'ORGANISME D'ACCUEIL ET DU CONTEXTE DE L'ETUDE	10
I. Présentation de l'organisme d'accueil :.....	11
1. Présentation du complexe industriel JORF-LASFAR :	11
2. Présentation du groupe OCP :.....	11
3. JACOBS ENGINEERING :	11
4. Présentation de l'organisme d'accueil JESA :	12
4.1 Fiche signalétique :	12
4.2 Les projets JESA :	12
II. Présentation et localisation du projet :	13
1. Introduction :.....	13
2. Description de l'atelier sulfurique :	15
2.1 Description de l'atelier sulfurique :	15
2.1.1 Le circuit vapeur :	15
2.1.2 Le circuit d'Air :	16
2.1.3 Le circuit Eau :	16
2.2 Production de l'acide sulfurique :	16
2.2.1 Four de combustion :	16
2.2.2 Convertisseur et échangeurs :	17
2.2.3 Eliminateurs de brumes :	17
2.2.4 L'Absorption de SO ₃ et sa transformation en H ₂ SO ₄ :	17
2.2.5 Réservoir de pompage de l'acide :	18
2.2.6 Refroidisseurs d'acide :	18
2.3 L'amélioration apportée à la nouvelle unité de production de l'acide sulfurique	18
2.3.1 Le système HRS :	18
3. Problématique et enjeu du projet :	20
3.1 Digramme GANT	21
CHAPITRE 2 : LES NOUVEAUX ENJEUX DE LA MAINTENANCE ET LES OUTILS DE RESOLUTION DE PROBLEME.....	22
I. Présentation de la maintenance	23
1. Définition et évolution de la maintenance.....	23
2. Objectifs de la maintenance	24
3. Les types de la maintenance	24
3.1 La maintenance corrective	25
3.2 La maintenance préventive	25
3.2.1 La maintenance préventive systématique	25
3.2.2 Maintenance préventive conditionnelle	26
4. Les niveaux de la maintenance.....	26

5. Conclusion	27
II. Les outils et méthodes utilisés :	28
1. Méthode QQQCP :	28
1.1 Définition :	28
1.2 Objectifs de la méthode :	28
2. Diagramme ISHIKAWA :	28
2.1 Définition :	28
2.2 Méthode d'application :	29
3. Analyse AMDEC :	29
3.1 Définition et objectifs de la démarche :	29
3.2 Mise en œuvre :	30
3.3 Criticité des conséquences :	30
4. Conclusion	31
CHAPITRE 3 : ANALYSE DE L'EXISTANT ET L'ETUDE DETAILLEE DU PROJET PAR LA METHODE 2TUP	32
I. Analyse de l'existant	33
1. Présentation de l'organisme PAKPHOS	33
2. Classification des équipements à traiter	33
3. Détermination des pompes critiques de l'atelier sulfurique	34
3.1 La méthode PIEU	35
II. La démarche 2TUP (2 TRACKS UNIFIED PROCESS) : Cycle Y	39
1. Définition de la méthode :	39
2. Etude fonctionnelle	39
2.1 Application de bête à cornes :	40
2.2 Application de l'analyse Pieuvre :	41
2.3 Localisation des pompes étudiées :	43
3. Etude technique :	45
3.1 Pompes de circulation d'acide :	45
3.1.1 Performances techniques de la pompe de circulation d'acide vers la tour de séchage	46
3.1.2 Construction :	47
3.1.3 Matériaux :	47
3.2 Pompe Haute pression de l'eau d'alimentation de la chaudière :	47
3.2.1 Performances techniques de la pompe HP d'eau d'alimentation de la chaudière	48
3.2.2 Construction :	48
3.3 Impact du milieu sur le fonctionnement des pompes :	49
3.4 Exigences d'exploitation et exigences techniques :	50
3.5 Influence de la panne d'une pompe sur la production :	50
4. Phase réalisation : Etude AMDEC	51
4.1 Mise en œuvre	51
4.2 Résultats-tableau de l'analyse AMDEC de la pompe HP d'eau d'alimentation	51
4.2.1 Le découpage de la pompe HP d'eau d'alimentation de la chaudière :	52
4.3 Résultats-tableau de l'analyse AMDEC des pompes de circulation d'acide	56
4.3.1 Le découpage de la pompe de circulation d'acide	56
4.4 Récapitulatif des deux études AMDEC :	59
5. Diagramme ISHIKAWA de la pompe HP d'eau d'alimentation	60
5.1 Identification du problème :	60
5.2 Application du diagramme ISHIKAWA	60
6. Diagramme ISHIKAWA des pompes de circulation d'acide	62
6.1 Identification du problème	62
6.2 Application du diagramme ISHIKAWA :	62

III. Récapitulatif des résultats d'études	64
IV. Conclusion.....	69
CHAPITRE 4 :ETUDE D'UNE AMELIORATION TECHNIQUE DE LA POMPE HP D'EAU D'ALIMENTATION	70
I. Introduction :.....	71
1. Problème étudié :.....	71
2. Solution proposée :	71
II. Outils de commande de la pompe HP d'eau d'alimentation de la chaudière.....	72
1. Le logiciel utilisé :	72
2. Solution sous forme de GRAFCET et adaptation au logiciel CENTUM VP	72
III- Etude technico économique	76
CONCLUSION GENERALE	77
BIBLIOGRAPHIE.....	78
WEBOGRAPHIE	78
LISTE DES ANNEXES	80

Introduction

Jacobs Engineering S.A (JESA) passe à la vitesse supérieure et étend ses activités sur le continent en s'attaquant à l'AFRIQUE avec un projet ODI qui regroupe 10 usines identiques de production des engrais dans l'objectif de devenir une référence africaine dans les domaines de l'infrastructure et du bâtiment.

Lorsqu'il s'agit d'un projet d'une très grande ampleur, chaque arrêt de production a un impact décisif sur la production, et l'élimination de ce problème constitue l'objet de ce projet de fin d'études.

Notre mission consiste à réaliser un plan de maintenance préventive de la nouvelle unité de production de l'acide sulfurique, un projet qui a pour vocation initiale d'assurer le bon fonctionnement des outils de production; étroitement liée à l'incessant développement des technologies, à l'apparition de nouveaux modes de gestion, à la nécessité de réduire les coûts de production dans une économie de marché international.

Afin de réaliser cette mission, nous avons articulé le travail selon plusieurs chapitres ; le premier chapitre contient une brève présentation de l'organisme d'accueil JESA, à travers sa création, son historique, ses investissements, ses projets à long et à court terme.

Le deuxième chapitre est destiné à la définition de la maintenance, ses objectifs, types et niveaux, ensuite une définition des méthodes que nous avons utilisées pour la résolution de la problématique.

Le troisième chapitre met l'accent, d'une part, sur l'étude de l'existant, et la détermination des équipements critiques, et d'autre part, sur l'analyse détaillée du projet selon la méthode 2TUP ; vient ensuite une partie où nous avons présenté le plan de maintenance préventive comme résultat de l'étude AMDEC effectuée au préalable.

Pour terminer, un autre chapitre est dédié aux propositions des solutions techniques, et des recommandations qui résument l'ensemble des résultats obtenus.



CHAPITRE 1 : PRESENTATION DE L'ORGANISME D'ACCUEIL ET DU CONTEXTE DE L'ETUDE



Dans ce chapitre, nous allons présenter une fiche descriptive de l'organisme d'accueil au sein duquel j'ai passé mon projet fin d'études, ainsi que le contexte général du projet

I. Présentation de l'organisme d'accueil :

1. Présentation du complexe industriel JORF-LASFAR :

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

Cet ensemble qui s'étend sur 1700 hectares, permet de produire chaque année 2 millions de tonnes de P₂O₅ 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 million de tonnes d'ammoniac. Les besoins en énergie du complexe sont satisfaits par une centrale de 111 MW utilisant la chaleur de récupération.

Une partie de la production est transformée 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.

2. Présentation du groupe OCP :

Leader mondial sur le marché du phosphate et des produits dérivés, le groupe OCP est un acteur de référence incontournable sur le marché international depuis sa création en 1920.

Présent sur toute la chaîne de valeur, OCP extrait, valorise et commercialise du phosphate et des produits dérivés, acide phosphorique et engrais. Il est le premier exportateur mondial de roches et d'acide phosphorique, et l'un des plus importants producteurs d'engrais.

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

La variété et la qualité des sources des phosphates contenus dans le sous-sol marocain, parmi les plus importantes au monde, assurent la richesse de la gamme de produits offerts par OCP. Sa stratégie commerciale repose notamment sur un portefeuille de produits innovants et de qualité, adaptés à la diversité des sols et des variétés végétales. Sa capacité industrielle massive, couplée à la flexibilité de son appareil productif, lui assure une structure de coûts optimale.

3. JACOBS ENGINEERING :

JACOBS engineering est un bureau d'études et de conseil américain en ingénierie.

Pour JACOBS, la sécurité est plus qu'un manuel de politique. C'est une méthode de vie.

JACOBS met en œuvre sa culture de compassion - une culture dans laquelle la sécurité, la santé et le bien-être sont des priorités absolues.

Cette culture de sécurité s'étend à l'extérieur des murs du bureau, au-delà du site du projet, dans les voitures, et dans les maisons ; affectant tous les gens avec lesquels JACOBS interagit partout dans le monde.

« BEYOND ZERO » est le nom du programme de sécurité, et c'est à chaque personne qui fait partie de l'organisme de faire de la sécurité une valeur personnelle qu'elle doit vivre chaque jour.

4. Présentation de l'organisme d'accueil JESA :

Nicolas SIMONIN, directeur général de Jacobs Engineering SA (JESA), décrit en ces termes la coentreprise née du rapprochement en 2010 de la compagnie marocaine OCP, pionnier mondial en termes de valorisation de phosphate, et du groupe américain Jacobs, l'un des leaders mondiaux en ingénierie : « C'est comme l'enfant unique de deux parents qui s'aiment et vivent ensemble ».

Jacobs Engineering SA ou JESA est donc le fruit d'un partenariat entre le groupe JACOBS et l'OCP. Les deux groupes ont signé un accord sous forme de joint-venture le 19 février 2010. Ceci a permis la création d'une société mixte d'ingénierie qui fournira des prestations de gestion de programmes, de gestion de projets, et d'ingénierie pour des projets inscrits dans le programme d'investissement de l'OCP de 5 milliards de dollars au Maroc. La nouvelle société utilisera les systèmes et outils d'ingénierie Jacobs et sera pourvue en personnel OCP et Jacobs, ainsi qu'en personnel recruté localement.

Le capital de Jacobs Engineering SA est de 45 000 000 Dirhams avec un effectif de 258 personnes. Elle connaît une diversité culturelle assez importante, puisqu'elle compte plus de 8 nationalités différentes.

Les missions de JESA peuvent être résumées comme suit :

- Maîtrise d'ouvrage déléguée pour le programme stratégique,
- Support pour les études de faisabilité,
- Réalisation des études conceptuelles et « basiques »,
- Aggrandir la part de marché des clients « phosphatés »,
- Cibler d'autres secteurs d'activité en Afrique du nord et ouest,
- Devenir un centre d'ingénierie pluridisciplinaire pour servir tout le continent.

4.1 Fiche signalétique :

Raison sociale	: Jacobs Engineering SA (JESA)
Forme juridique	: Société Anonyme
Directeur général	: M.NICOLAS SIMONIN
Secteur d'activité	: Ingénierie, coordination et supervision de travaux industriels
Capital social	: 45 000 000 Dirhams
Chiffres d'affaires	: 600 000 000 Dirhams
Siège social	: Zénith Millenium, Immeuble 5, Sidi Maârouf, Casablanca
Téléphone	: 0522 877 000

4.2 Les projets JESA :

JESA représente une puissante combinaison de ressources d'ingénierie et de gestion de programmes afin d'accompagner l'OCP dans la mise en œuvre de ses plans de développement stratégiques, notamment les infrastructures nécessaires au développement de la plate-forme JPH de JORF LASFAR (JORF Phosphate Hub).

La réalisation de grands projets structurants ont vu le jour dans ce cadre, notamment : **Slurry Pipeline, Downstream, JPH, Line-E, les ODI, Concentration...**

II. Présentation et localisation du projet :

1. Introduction :

L'ODI est un projet EPCM pris par Jacobs dans le cadre de la joint-venture JESA. Depuis le 10 janvier 2012, les travaux de réalisation ont connu leur premier coup de pioche pour la construction de la première usine (P1).

Ce ne sont pas moins de 17 hectares qui sont consacrés à cette plateforme. Un projet qui compte outre une ligne de production d'acide sulfurique d'une capacité de 4 200 tonnes par jour, une centrale thermoélectrique de capacité maximale de 62 Mégawatts, sans oublier la mise en place d'une ligne de production d'acide phosphorique d'une capacité de 1 400t/J et d'une unité de granulation d'une capacité annuelle de 950 000 tonnes d'engrais.

En ce qui concerne le stockage d'engrais, deux halls d'une capacité totale de 200.000tonnes ont été construit dans la zone DAP.

Ce projet contribuera :

- Au développement de la région d'El Jadida à travers la création de postes d'emploi directs et indirects ;
- A l'augmentation de la capacité de production globale de di-ammonium de phosphate (DAP) dans la plate-forme industrielle de Jorf-Lasfar;
- Au renforcement de l'industrie chimique au Maroc et à la consolidation de ses compétences concurrentielles à valeur ajoutée sur le plan national et régional ;
- A la création d'une valeur pour les entreprises marocaines opérant dans le secteur du bâtiment et des travaux publics et autres.

Une ODI est donc une unité autonome de production des engrais DAP d'une capacité de 1Mt/an chacune.

Nous sommes en face d'un projet de 10 ODI identiques, dont 4 ont déjà vu le jour : P1, P3 et P2, P5. P1 et P3 sont déjà en phase finale tandis que P2, P5 sont en phase de construction.

La figure 1 met représente la localisation des 4 projets en cours de construction.



Figure 1: Localisation de 4 projets ODI

L'objectif majeur de ce projet est de répondre à la demande des clients de l'OCP en termes d'approvisionnement en engrais et de s'aligner avec la stratégie du groupe visant à occuper la position de leader mondial.

La figure 2 représente les différentes zones de l'usine ODI/P1.

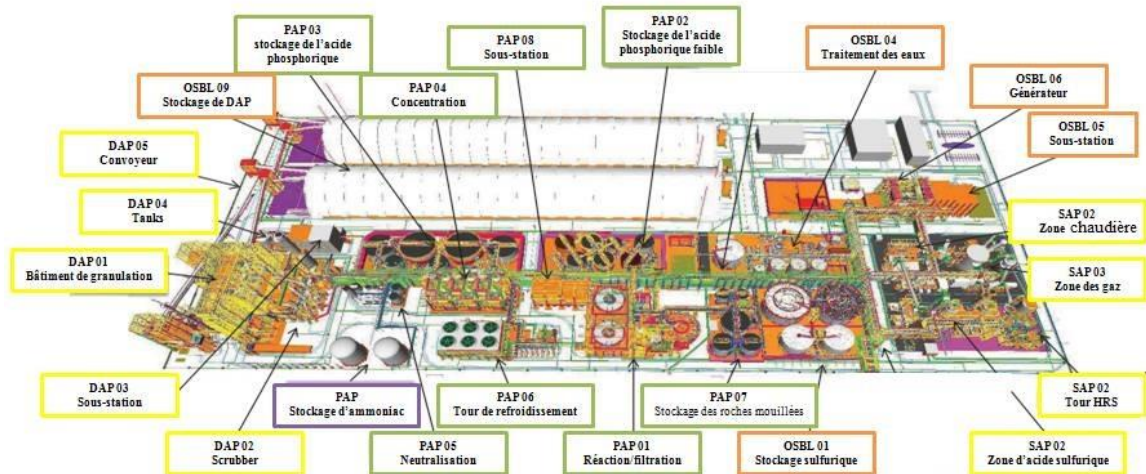


Figure 2: Les zones du projet ODI-P1

Une unité ODI compte cinq zones principales :

- Zone OSBL : Pour le stockage de matériels et des eaux de mer,
- Zone SAP : Pour la production de l'acide sulfurique,
- Zone PAP : Pour la production de l'acide phosphorique,
- ZONE DAP : Pour la production des engrais,
- Zone de stockage DAP.

La figure 3 met au clair l'usine pendant la phase de construction.



Figure 3: Vue réelle d'une ODI

2. Description de l'atelier sulfurique :

Dans cette partie on s'intéressera à l'activité majeure de l'atelier sulfurique. Il s'agit de la production de l'acide sulfurique nécessaire à la production de l'acide phosphorique ainsi que la vapeur d'eau du procédé. On passera en revue toutes les installations qui composent cet atelier en précisant les différents circuits existants.

2.1 Description de l'atelier sulfurique :

L'acide sulfurique (H_2SO_4) constitue un élément de base dans la fabrication des engrais DAP et sert de produit intermédiaire pour la production d'acide phosphorique.

L'atelier sulfurique se compose d'une seule ligne conçue pour la fabrication d'acide sulfurique à 98,5% (4200TMH/j) et de la vapeur haute pression et moyenne pression destinées principalement à la fabrication de l'acide phosphorique et à la production de l'énergie électrique.

La ligne de production d'acide sulfurique est composée principalement de :

- ❖ Une turbine,
- ❖ Une moto-soufflante,
- ❖ Un four,
- ❖ Une chaudière de récupération,
- ❖ Un ballon de purge,
- ❖ Un filtre à air,
- ❖ Un filtre à gaz chaud,
- ❖ Une tour de séchage,
- ❖ Une tour d'absorption finale,
- ❖ Des pompes : 4 pompes circuit d'huile, 3 pompes dans les réservoirs,
- ❖ 5 refroidisseurs d'acide,
- ❖ Un échangeur,
- ❖ Un économiseur surchauffeur,
- ❖ 2 bacs d'acide,
- ❖ Un convertisseur,
- ❖ Une tour HRS

Les 3 circuits principaux de l'atelier en question sont :

2.1.1 Le circuit vapeur :

La production de la vapeur est une activité essentielle au sein de l'atelier sulfurique. En effet, une grande partie de la vapeur produite est utilisée directement pour faire tourner les groupes turbo-alternateurs de la centrale électrique.

La vapeur haute pression : L'eau alimentaire de la chaudière est chauffée par le gaz dans l'Economiseur-surchauffeur avant d'être chargée dans la chaudière de récupération et se transforme en vapeur sous une pression de 60 bars. La vapeur passe ensuite par l'Economiseur-surchauffeur et les surchauffeurs. La température de la vapeur est amenée à environ 499°C à la sortie de la surchauffeur.

La vapeur moyenne pression : La vapeur moyenne pression légèrement surchauffée est récupérée à la sortie de la moto soufflante à plus de 300°C.

La vapeur basse pression : L'unité produit également la vapeur basse pression. Il s'agit de la vapeur récupérée de l'extraction journalière de la chaudière de récupération dans le ballon de détente. Cette vapeur basse pression est utilisée pour maintenir à chaud la tuyauterie de soufre et pour le refroidissement de ses canaux.

2.1.2 Le circuit d'Air :

Air instrument : Il est d'une utilité essentielle pour le fonctionnement des instruments de régulation qui utilisent cet air comme fluide de commande ou de puissance.

Air de service : L'air de service est utilisé principalement pour les travaux d'entretien, le nettoyage par soufflage des poussières et le séchage des équipements et tuyauteries. L'air est fourni pour purger la ligne de vidange de la cheminée.

2.1.3 Le circuit Eau :

L'eau alimentaire de chaudière : Elle est exclusivement à la production de la vapeur haute pression.

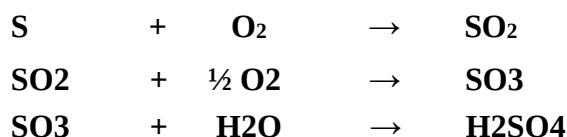
L'eau de mer : Elle est destinée à l'usage exclusif des refroidisseurs d'acide. L'eau de mer passe tout d'abord par un filtre équipé d'un tamis puis entre dans les refroidisseurs avant de s'écouler dans la fosse de mise à l'égout d'une tuyauterie souterraine.

L'eau d'incendie : Elle est utilisée dans les douches d'incendie installées aux alentours des unités.

2.2 Production de l'acide sulfurique :

L'acide sulfurique est fabriqué dans cette usine en partant du soufre comme matière première. Les principales phases du procédé consistent d'abord à brûler le soufre pour former de l'anhydride sulfureux SO_2 , ensuite le convertir en SO_3 et par la suite combiner de l'anhydride sulfurique SO_3 avec l'eau de procédé pour former une solution contenant 98/99% d'acide sulfurique H_2SO_4 .

Les réactions chimiques s'écrivent dans l'ordre :



Les étapes de production sont fonction des éléments principaux de l'installation :

2.2.1 Four de combustion :

Le soufre liquide est pompé de la fosse à soufre liquide vers le four à travers cinq brûleurs permettant sa pulvérisation et donc une combustion totale pour produire de l'anhydride sulfureux (SO_2). Avant d'entrer dans le four, l'air est nettoyé dans un filtre à air et séché par l'acide (H_2SO_4) dans une tour de séchage pour en éliminer la vapeur d'eau. Si elle n'est pas éliminée, l'humidité de l'air forme un condensat d'acide qui provoque la corrosion et d'autres problèmes liés au procédé.

L'air est aspiré par la tour de séchage et propulsé vers le four par la soufflante.

La température de combustion varie de 950 à 1150°C, le mélange gazeux après combustion à une teneur de 8 à 12% en volume de SO_2 . La réaction chimique du soufre avec de l'air est une réaction exothermique : produit une grande quantité de chaleur.

La température du gaz SO_2 à la sortie du four est plus élevée que la température admissible pour l'étape de conversion, c'est pourquoi un échangeur dans la chaudière dite de récupération cède l'excès de l'énergie du gaz à l'eau alimentaire pour produire de la vapeur et prépare son entrée pour le convertisseur.

Avant d'arriver au convertisseur, le gaz sortant de la chaudière passe par un filtre afin d'éliminer les poussières contenues dedans pour empêcher l'encrassement des couches du catalyseur.

2.2.2 Convertisseur et échangeurs :

Le convertisseur permet d'effectuer la réaction entre l'anhydride sulfureux (SO_2) et l'oxygène (O_2) afin de former l'anhydride sulfurique (SO_3).

Il comprend quatre couches d'un catalyseur- le pentoxyde de vanadium (V_2O_5)-, dont la fonction est d'accélérer cette réaction qui est exothermique et également réversible. Dans les trois premières couches 95% de la conversion a lieu. Le SO_3 formé est tiré du gaz (absorption intermédiaire) avant qu'il ne soit envoyé vers la quatrième couche. La plus grande partie de SO_2 restant est converti en SO_3 dans la quatrième couche avant d'aller vers la tour d'absorption finale. La température d'entrée du gaz vers chaque couche du convertisseur doit être correctement maintenue afin d'obtenir la conversion requise.

2.2.3 Eliminateurs de brumes :

Des éliminateurs de brumes sont installés dans les trois tours d'acide, ils éliminent la brume acide de l'air ou du gaz et dans le cas de la tour d'absorption finale ils donnent une bonne apparence à la cheminée.

2.2.4 L'Absorption de SO_3 et sa transformation en H_2SO_4 :

Le SO_3 ne se combine pas directement avec l'eau mais se combine indirectement par absorption (ou dissolution) dans l'acide sulfurique à 98-99%, cette opération a lieu dans deux tours d'absorption, la première phase ayant lieu avant la conversion totale de SO_2 en SO_3 , cette phase est nommée absorption intermédiaire. Le fait de retirer le SO_3 du gaz avant d'atteindre la quatrième couche active la réaction de conversion et permet d'obtenir un rendement global meilleur.

Le reste de SO_3 est absorbé dans la tour d'absorption finale après conversion dans la quatrième couche du convertisseur.

L'acide fort fourni à la tour de séchage est affaibli par les vapeurs d'eau qu'il élimine de l'air. Dans les tours d'absorption, l'acide est renforcé par l'absorption du gaz SO_3 . L'acide de la tour de séchage est maintenu à la concentration correcte au moyen de mélange direct d'acide plus fort venant du système intermédiaire d'absorption d'acide. L'acide dans les réservoirs de pompage est maintenu à la concentration désirée pour l'absorption du gaz SO_3 par addition d'eau pure et le mélange avec l'acide du système de séchage.

La tour de séchage et la tour d'absorption intermédiaire sont alimentées en acide sulfurique par un réservoir commun et la tour d'absorption finale par un autre réservoir différent.

L'absorption de la vapeur d'eau dans la tour de séchage élève la température de l'acide. Des refroidisseurs permettent la diminution de sa température avant sa réutilisation. L'acide frais assèche mieux l'air que l'acide chaud. Un acide fort (de 98-99%) à une température d'environ 800°C est plus favorable à l'absorption de SO_3 .

L'absorption de SO_3 et de la vapeur d'eau par l'acide augmente constamment le volume de H_2SO_4 dans les réservoirs de pompage. C'est pourquoi l'acide produit venant des systèmes

d'absorption et de séchage est refroidi et continuellement pompé vers l'unité 12 afin de maintenir un niveau constant dans les réservoirs de pompage.

2.2.5 Réservoir de pompage de l'acide :

Le niveau minimum de fonctionnement dans le réservoir de pompage R02 et R01 est d'environ 820mm. Ce niveau évite les problèmes de cavitation des pompes.

Le débit d'acide dans chaque tour doit rester essentiellement constant, même lorsque la cadence de marche varie. L'augmentation de température dans le circuit d'acide dans les deux tours d'absorption constitue une bonne référence du débit d'acide dans ces tours.

2.2.6 Refroidisseurs d'acide :

Les refroidisseurs sont conçus pour refroidir l'acide sulfurique fort à un niveau de température acceptable pour réduire la corrosion de l'équipement et produire le maximum de séchage et d'absorption.

Les refroidisseurs d'acide sont des échangeurs tubulaires horizontaux à tubes d'eau de mer.

Pour résumer l'activité de l'atelier sulfurique nous avons réalisé un synoptique de cette unité présenté par la figure 4.

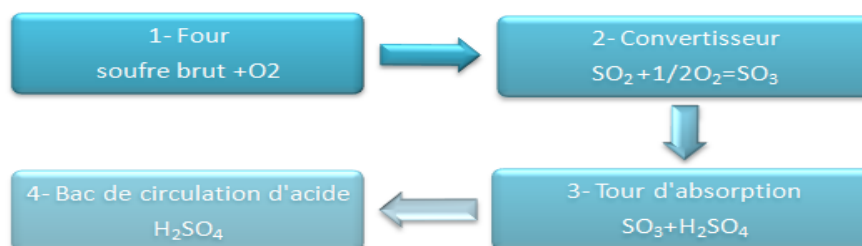


Figure 4: Synoptique de l'unité SAP

En effet, on a constaté qu'en plus de la production de l'acide sulfurique, on produit également de la vapeur d'eau au sein de cette unité pour produire de l'énergie électrique qui sera par la suite récupérée par la tour HRS qui présente le nouveau concept de la nouvelle unité de l'acide sulfurique dans le projet ODI/P1,

2.3 L'amélioration apportée à la nouvelle unité de production de l'acide sulfurique

2.3.1 Le système HRS :

L'OCP a investi 22 MDH pour concevoir et réaliser un système HRS (HEATRECOVERY System) à JORF LASFAR, il s'agit d'une tour qui remplace la tour d'absorption intermédiaire, elle sert à récupérer la chaleur gaspillée pour produire de l'énergie électrique.

Le principe du système HRS est montré dans le schéma de la figure 5.

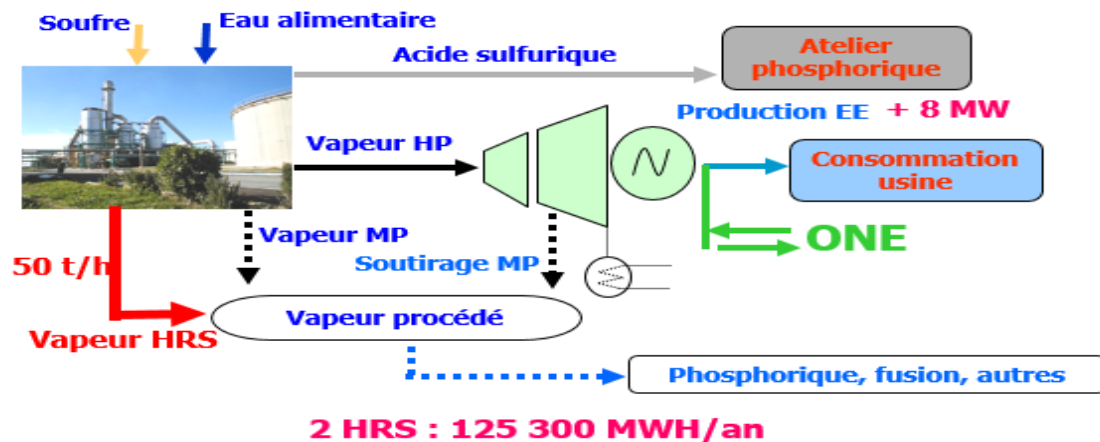


Figure 5 : Schéma de principe du système HRS

C'est une amélioration d'une importance capitale pour la protection de l'environnement dans la région.

Les normes internationales exigent une émission de 2kg SO₂/ tonne d'acide produite (cas des unités récentes PMP et EMP). Au niveau de l'ODI, le rejet sera de 0,66 kg SO₂/ tonne d'acide produite et va bien au-delà des exigences légales. Cette amélioration fait suite à la grande concentration d'unité de production d'acide sulfurique sur la plateforme Jorf.

L'impact de ce système pour une installation telle que l'ODI est de :

- ❖ Production électrique supplémentaire de 8 à 9 MW ;
- ❖ Réduction de la consommation d'eau de mer de 2500 m³

La vapeur produite est utilisée dans la production de l'énergie électrique comme montré dans la figure6.

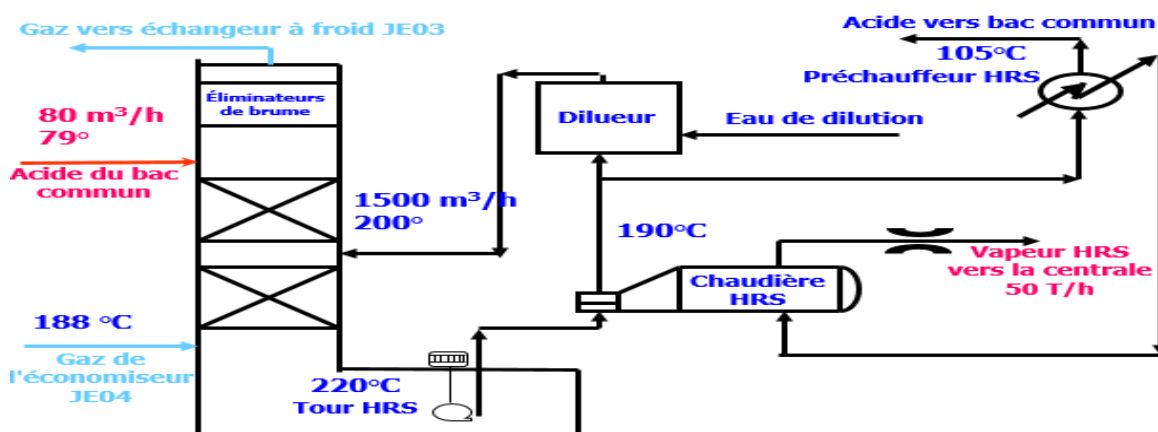


Figure 6: Utilisation vapeur HRS dans la production de l'énergie électrique

L'apport projet HRS :

- + Une quantité de vapeur supplémentaire générée : 50 t/h par unité
- + Un gain en énergie électrique : 125 300 MWH/an pour deux unités
- + La déduction de l'équivalent de cette énergie sera réduite de la production de l'ONE
- + La réduction de l'émission de CO₂ est de : 93 000 T CO₂/an

3. Problématique et enjeu du projet :

Dans le cadre de réduire la probabilité de défaillance ou la dégradation du fonctionnement des machines ; le projet qui nous a été confié consiste à réaliser un plan de maintenance préventive pour la nouvelle unité de production de l'acide sulfurique du projet ODI/P1.

Pour ce faire, il nous a été demandé de :

- ❖ Comprendre le processus de fabrication de l'acide sulfurique ;
- ❖ Connaitre tous les équipements constitutifs de l'atelier ;
- ❖ Classifier les équipements selon plusieurs critères et dégager les équipements critiques de l'atelier ;
- ❖ Construire un groupe de travail et analyser les modes de défaillance, leurs effets et leurs criticités selon l'analyse AMDEC ;
- ❖ Faire une étude ISHIKAWA des causes les plus critiques, et une autre étude 5pourquoi pour dégager les causes racines ;
- ❖ Rédiger un plan de maintenance préventive ;
- ❖ Proposer des solutions techniques amélioratrices ;
- ❖ Estimer une étude économique.

3.1 Digramme GANT

J'ai décomposé le travail selon plusieurs tâches et pour parvenir à respecter le planning, j'ai fait recours à la méthode GANT présentée dans le diagramme de la figure 7 et expliqué dans le tableau 1.

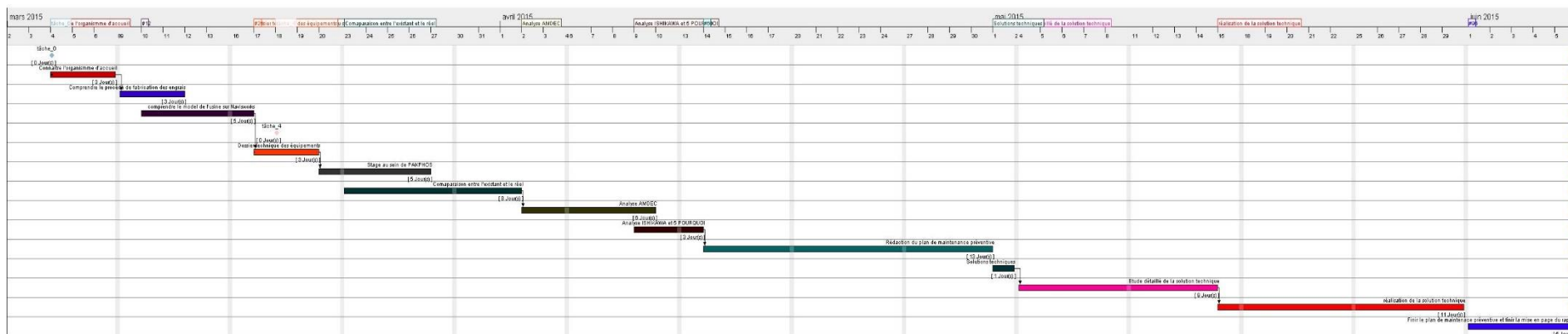


Figure 7: Digramme GANT

Tableau 1: Tableau des tâches effectuées sur GANT

GANTT project			
Nom	Date de dé...		Date de fin
• Connaître l'organisme d'accueil	04/03/15	06/03/15	
• Comprendre le procédé de fabrication des engrais	09/03/15	11/03/15	
• comprendre le model de l'usine sur Navisworks	10/03/15	16/03/15	
• Dossier technique des équipements	17/03/15	19/03/15	
• Stage au sein de PAKPHOS	20/03/15	26/03/15	
• Comaparaision entre l'existant et le réel	23/03/15	01/04/15	
• Analyse AMDEC	02/04/15	09/04/15	
• Analyse ISHIKAWA et 5 POURQUOI	09/04/15	13/04/15	
• Entamer la rédaction du plan de maintenance préventive	14/04/15	30/04/15	
• Proposer des solutions techniques	01/05/15	01/05/15	
• Etude détaillé de la solution technique	04/05/15	14/05/15	
• Réalisation de la solution technique et simulation du résultat	15/05/15	29/05/15	
• Etablir le plan de maintenance préventive et la solution technique choisie	01/06/15	05/06/15	



CHAPITRE 2 : LES NOUVEAUX ENJEUX DE LA MAINTENANCE ET LES OUTILS DE RESOLUTION DE PROBLEME



CE CHAPITRE EST CONSACRE AU
CONCEPT DE LA MAINTENANCE, ET
AUSSI A LA DEFINITION DES METHODES
UTILISEES POUR LA RESOLUTION DES
PROBLEMES

I. Présentation de la maintenance

1. Définition et évolution de la maintenance

Méconnue, sous- estimée voire méprisée, jugée trop coûteuse, la maintenance prend une importance croissante et se révélera dans les années qui viennent une des fonctions clés de l'entreprise ;

L'évolution de la maintenance se manifeste dans le passage du concept d'entretien à celui de la maintenance. Ce changement d'appellation reflète en fait une lente et longue évolution.

❖ **Dans un premier temps**, l'entretien consistait à prendre soin des différents types de matériel - entretien d'exploitation, comprenant le nettoyage, la lubrification, le graissage -, à attendre la panne pour réparer et changer les pièces - entretien curatif -, à rechercher certains aménagements - entretien d'amélioration

❖ **Dans un deuxième temps**, est venu s'ajouter un entretien préventif de type systématique visant à éviter la panne par des contrôles et des changements de pièces à intervalles réguliers.

❖ **Enfin**, las de procéder à des changements systématiques de pièces encore en bon état et de devoir périodiquement arrêter la production pour ces interventions, les responsables de ce qui est en train de devenir la maintenance s'orientent désormais vers une maintenance conditionnelle, c'est-à-dire subordonnée à l'apparition d'indicateurs de l'opportunité d'une intervention de maintenance préventive.

Le slogan : « **Entretien c'est subir, la maintenance c'est maîtriser** » résume bien le changement d'attitude.

D'après la norme française NF EN 13306 X 60-319, la maintenance peut-être définie par : "l'ensemble de toutes les actions techniques, administratives et de management durant le cycle de vie d'un bien, destinées à le maintenir ou à le rétablir dans un état dans lequel il peut accomplir la fonction requise".

Le rôle principal d'un service maintenance est de maintenir les capacités opérationnelles des moyens de production, ainsi que leurs valeurs patrimoniales. Ces capacités opérationnelles sont nécessaires pour servir une commande non pas lorsque l'entreprise peut l'honorer, mais au moment où le client la demande. La valeur patrimoniale peut s'envisager comme l'allongement de la durée de vie utile des machines et équipements, ce qui repousse ou annule la nécessité d'un nouvel investissement, ou en facilite la revente.

Formulé ainsi, il apparaît évident que ce rôle ne peut s'envisager que de manière dynamique et proactive.

- ✚ Si l'on attend une panne pour réagir, la capacité opérationnelle n'est plus maintenue.
- ✚ Si l'on attend une dégradation pour réagir, la valeur patrimoniale est déjà amoindrie.

2. Objectifs de la maintenance

Les objectifs de la maintenance, sont nombreux :

- ✚ Assurer la qualité et la quantité des produits fabriqués, tout en respectant les délais.
- ✚ Optimiser les actions de maintenance (exemple : réduire la fréquence des pannes).
- ✚ Contribuer à la création et au maintien de la sécurité au travail.
- ✚ Consolider la compétitivité de l'entreprise (exemple : améliorer la productivité).

La figure 8 représente les objectifs de la maintenance sous forme de schéma.

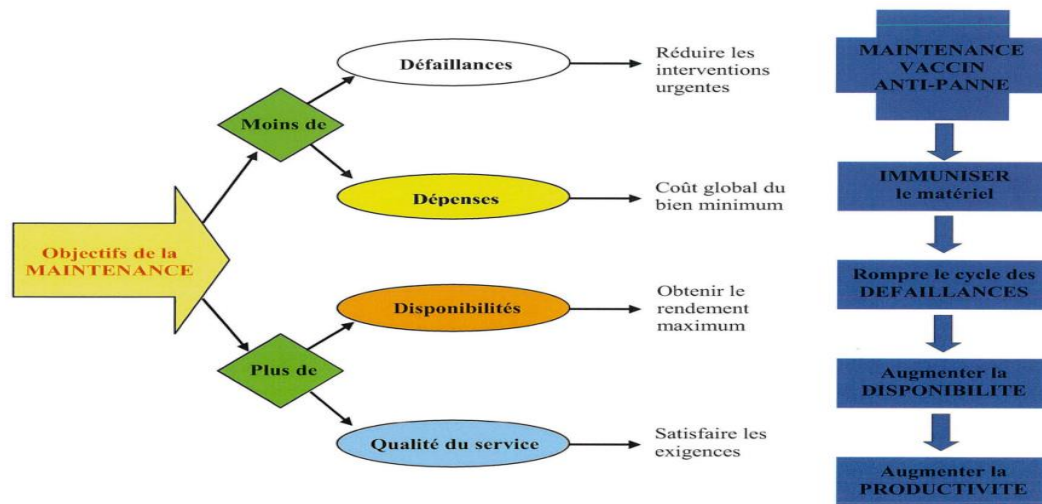


Figure 8: Les objectifs de la maintenance

3. Les types de la maintenance

Il existe deux principales familles de maintenance que l'on peut repérer sur la figure ci-dessous : la maintenance corrective et la maintenance préventive. La maintenance corrective est celle que le système subit lorsque la panne est déjà présente et qu'il faut réparer. La maintenance préventive est celle qui permet d'anticiper et de prévenir les défaillances.

La figure 9 illustre les types maintenance qui existent.

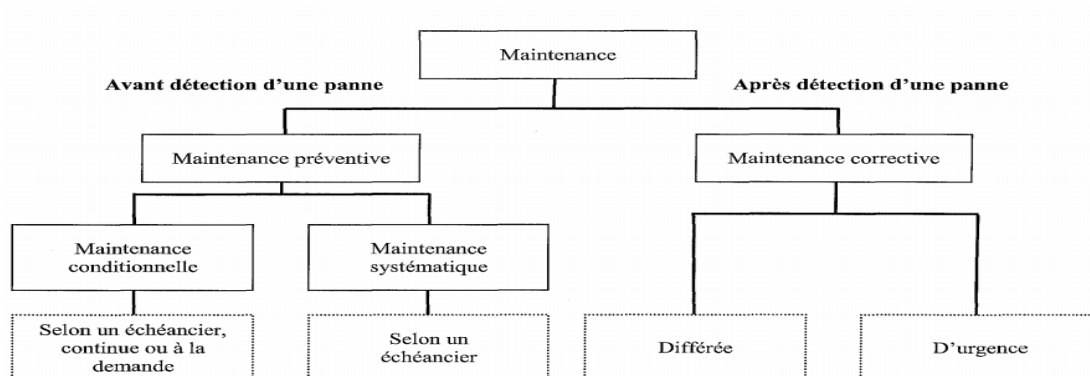


Figure 9: Les types de la maintenance

3.1 La maintenance corrective

«Maintenance exécutée après détection d'une panne et destinée à remettre un bien dans un état dans lequel il peut accomplir une fonction requise.» (Extrait norme NF EN 13306 X 60-319).

La maintenance corrective est souvent perçue comme la forme primaire de la maintenance car l'intervention a lieu « en urgence » une fois la défaillance survenue.

La logique de cette politique de maintenance est assez simple : lorsqu'une machine est défectueuse, il faut la réparer, ce qui sous-entend que si elle fonctionne, on n'y « touche » pas.

3.2 La maintenance préventive

« Maintenance exécutée à des intervalles prédéterminés ou selon des critères prescrits et destinée à réduire la probabilité de défaillance ou la dégradation du fonctionnement d'un bien. » (Extrait norme NF EN 13306 X 60-319).

La maintenance préventive se fonde sur l'adage "mieux vaut prévenir que guérir", sur la connaissance des machines, la prise en compte des signes précurseurs et le réalisme économique.

La maintenance préventive vise à réduire les coûts des pannes et de maintenance en prenant pour base le constat que la plupart des réparations et immobilisations coûteuses auraient pu être réduites ou évitées par un entretien constant et préventif. En effet elle doit permettre d'éviter les défaillances des matériels en cours d'utilisation et l'analyse des coûts doit mettre en évidence un gain par rapport aux défaillances qu'elle permet d'éviter.

3.2.1 La maintenance préventive systématique

« Maintenance préventive exécutée à des intervalles de temps préétablis ou selon un nombre défini d'unités d'usage mais sans contrôle préalable de l'état du bien. » (Extrait norme NF EN 13306 X60-319).

Cette méthode nécessite de connaître : le comportement des équipements, les usures et les modes de dégradation. Elle intervient à intervalles fixés sur la base du minimum de vie des composants, donné par l'expérience et/ou par le constructeur. C'est pourquoi ce type de maintenance est aussi appelé maintenance préventive fondée sur la durée de fonctionnement.

La maintenance systématique est un cycle fermé représentée par la figure 10.

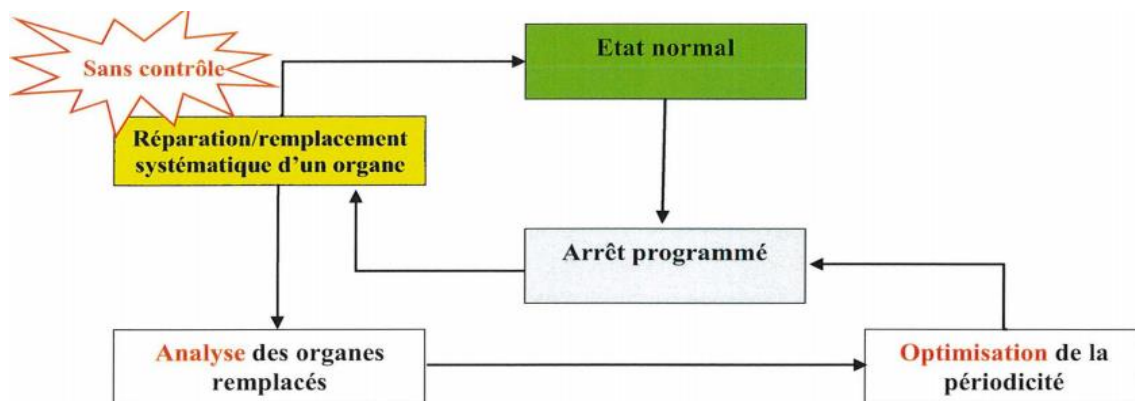


Figure 10: Cycle de maintenance préventive systématique

3.2.2 Maintenance préventive conditionnelle

« Maintenance préventive basée sur une surveillance du fonctionnement du bien et/ou des paramètres significatifs de ce fonctionnement intégrant les actions qui en découlent. La surveillance du fonctionnement et des paramètres peut être exécutée selon un calendrier, ou à la demande, ou de façon continue.» (Extrait norme NF EN 13306 X 60-319).

Lorsque le paramètre suivi dépasse le seuil d'alarme il faut prévoir une intervention pour remettre en condition normale l'équipement. En effet, la détection d'un dépassement d'un seuil d'alerte affecté à l'évolution du paramètre étudié déclenche le diagnostic des causes de la défaillance. Cela est exprimé clairement dans la figure 11. Les conclusions de ce diagnostic permettent de définir l'intervention de maintenance.

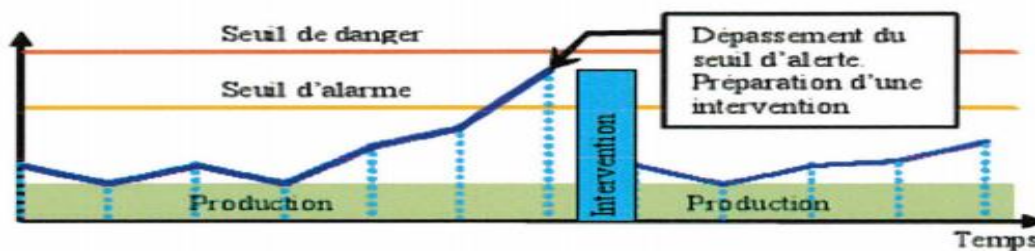


Figure 11: Schématisation de la maintenance préventive conditionnelle

La maintenance préventive conditionnelle est donc subordonnée à des mesures et à des diagnostics précis de l'état de dégradation de la machine. La nature de ces mesures dépend de la machine à suivre. Cela peut être des mesures de vibration, des analyses d'huile, des thermographies infrarouges.

4. Les niveaux de la maintenance

Une autre condition pour réussir un système de maintenance est de spécifier les niveaux de maintenance dans l'entreprise. Suivant la norme NF X60-010, il existe cinq niveaux de maintenance qui classent les opérations à réaliser selon leur complexité. Ces niveaux sont illustrés dans le tableau 2.

Tableau 2: Les ressources nécessaires pour chaque niveau de maintenance

Niveaux	Personnel d'intervention	Moyens
I	Exploitant sur place	Outillage léger défini dans les instructions d'utilisation
II	Technicien habilité sur place	Outillage léger défini dans les instructions d'utilisation, plus pièce de rechange trouvées à proximité dans délai
III	Technicien spécialisé sur place ou en local de maintenance	Outillage prévu plus appareils de mesure, banc d'essai, de contrôle etc.
IV	Equipe encadrée par un encadrant spécialisé en atelier centrale	Outillage général plus spécialisé, matériel d'essai, de contrôle, etc.
V	Equipe complète, polyvalente en atelier central	Moyens proches de la fabrication par le constructeur

-**Niveau I** : Réglages simples prévus par le constructeur au moyen d'organes accessibles sans aucun démontage d'équipement ou échange d'éléments accessibles en toute sécurité.

-**Niveau II** : Dépannage par échange standard d'éléments prévus à cet effet ou opérations mineures de maintenance préventive.

-**Niveau III** : Identification et diagnostic de pannes, réparation par échange de composants fonctionnels, réparations mécanique mineures.

-**Niveau IV** : Travaux importants de maintenance corrective ou préventive.

-**Niveau V** : Travaux de rénovation, de reconstruction ou de réparations importantes confiées à un atelier central.

Ces niveaux de maintenance font référence à la complexité des tâches à effectuer et aux ressources humaines et matérielles nécessaires à la réalisation de chacune des tâches.

Le système de maintenance ainsi situé permet de préciser, de limiter et de dégager les responsabilités et les attentes envers ce système. Cependant, ceci constitue une condition nécessaire mais malheureusement non suffisante pour réussir l'implantation d'un système de maintenance dans une entreprise.

5. Conclusion

La stratégie de maintenance a des répercussions directes sur l'exploitation d'un système, sur la production et bien évidemment sur les charges financières. Lors du choix de la méthode de maintenance, il faut arbitrer entre les performances que l'on souhaite obtenir du système de production et les coûts que l'on est prêt à assumer pour le maintenir. Il faut donc trouver un équilibre entre un niveau de disponibilité des équipements que l'on veut garantir et un niveau acceptable des coûts directs de maintenance (personnel, matériels).

Si produire c'est exploiter un équipement de production pour en obtenir des produits finis, maintenir c'est assurer la disponibilité de la production.

II. Les outils et méthodes utilisés :

1. Méthode QQQQCP :

1.1 Définition :

« Un problème bien posé est à moitié résolu »

Le QQQQCP est une méthode pour éclaircir une situation donnée, décrire un processus et planifier des actions. Elle pose 6 questions relatives à cette situation afin de collecter le maximum de données.

Cette méthode est souvent utilisée pour structurer une procédure ou pour construire efficacement une action corrective.

Cet outil consiste à se poser toutes les questions suivantes :

- ✚ Qui ? Qui est concerné ?
- ✚ Quoi ? De quoi s'agit-il
- ✚ Où ? A quel endroit a eu, ou aura, lieu la situation ?
- ✚ Quand ? A quel moment, à quelle périodicité la situation a eu, ou aura, lieu ?
- ✚ Comment ? Quel procédé est, ou doit être, utilisé ?
- ✚ Pourquoi ? Pour quelles raisons la situation est arrivée ou doit-elle survenir ? Quelle est sa justification ?

1.2 Objectifs de la méthode :

L'objectif est de se poser toutes les questions relatives à un problème afin d'en fixer le périmètre en vue d'une future démarche de résolution de problème. Il est utilisé dès lors que l'on cherche à avoir une vision complète d'une situation. La réponse à ces questions permet de fournir un consensus quant à la nature et à effet du problème.

2. Diagramme ISHIKAWA :

2.1 Définition :

C'est un outil qui permet d'identifier les causes d'un problème. On a une vision globale des causes génératrices d'un problème avec une représentation structurée de l'ensemble des causes qui produisent un effet. Il y a une relation hiérarchique entre les causes et on est en mesure d'identifier les racines des causes d'un problème.

Le diagramme d'Ishikawa (ou diagramme en arête de poisson, diagramme cause-effet ou 5M), illustré dans la figure 12. Permet de limiter l'oubli des causes et de fournir des éléments pour l'étude des solutions. Cette méthode permet d'agir sur les causes pour corriger les défauts et donner des solutions en employant des actions correctives.

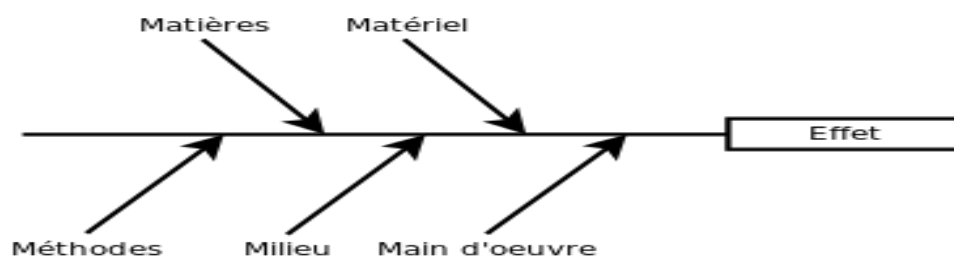


Figure 12: Diagramme d'Ishikawa

2.2 Méthode d'application :

Ce diagramme se structure habituellement autour du concept des 5 M. Kaoru Ishikawa recommande de regarder en effet l'événement sous cinq aspects différents, résumés par le sigle et moyen mnémotechnique 5M :

- ❖ **Matière** : Les matières et matériaux utilisés et entrant en jeu, et plus généralement les entrées du processus.
- ❖ **Matériel** : L'équipement, les machines, le matériel informatique, les logiciels et les technologies.
- ❖ **Méthode** : Le mode opératoire, la logique du processus et la recherche et développement.
- ❖ **Main-d'œuvre** : Les interventions humaines.
- ❖ **Milieu** : L'environnement, le positionnement, le contexte.

Chaque branche reçoit d'autres causes ou catégories hiérarchisées selon leur niveau de détail.

Le positionnement des causes met en évidence les causes les plus directes en les plaçant les plus proches de l'arête centrale.

3. Analyse AMDEC :

3.1 Définition et objectifs de la démarche :

L'AMDEC est une technique d'analyse prévisionnelle qui permet d'estimer les risques d'apparition de défaillance ainsi que les conséquences sur le bon fonctionnement du moyen de production, et d'engager les actions correctives nécessaires.

L'objectif principal est l'obtention d'une disponibilité maximale.

Les objectifs intermédiaires sont les suivants :

- ❖ Analyser les conséquences des défaillances,
- ❖ Identifier les modes de défaillances,
- ❖ Préciser pour chaque mode de défaillance les moyens et les procédures de détection,
- ❖ Déterminer l'importance ou la criticité de chaque mode de défaillance,
- ❖ Classer les modes de défaillance,
- ❖ Etablir des échelles de signification et de probabilité de défaillance.

3.2 Mise en œuvre :

Constituer	: Un groupe de travail pluridisciplinaire (production, maintenance) ;
Définir	: Les limites de l'étude (objectif, délais, système) ;
Présenter	: Le système, son environnement et découper celui-ci en sous-ensembles fonctionnels ;
Recenser	: Les modes de défaillances ;
Rechercher	: Les causes de défaillances (ISHIKAWA) ;
Etudier	: Les effets de chaque défaillance et les conséquences les plus probables sur le système ;
Recenser	: Les moyens de détection existants.

3.3 Criticité des conséquences :

La criticité est en fait la gravité des conséquences de la défaillance, déterminée par calcul ;

F : Fréquence d'apparition de la défaillance : elle doit représenter la probabilité d'apparition du mode de défaillance résultant d'une cause donnée.

D : Fréquence de non-détection de la défaillance : elle doit représenter la probabilité de ne pas détecter la cause ou le mode de défaillance avant que l'effet survienne.

G : Gravité des effets de la défaillance : la gravité représente la sévérité relative à l'effet de la défaillance.

Le tableau 3 met en évidence la méthodologie de la notation des coefficients de criticité.

Tableau 3: Tableau des coefficients de criticité

Notes	1	2	3	4
Fréquence	Une défaillance maximale par 5 ans	Une défaillance maximale par 2 ans	Une défaillance maximale par 1 an	Une défaillance maximale par un mois
Non détection	Détection par opérateur	Détection aisée par un agent de maintenance	Détection difficile	indétectable
Gravité	Pas d'arrêt de production	Arrêt < 2H	2H < arrêt < 10H	Arrêt > 1 jour

Chaque critère comporte 4 niveaux de gravité notés de 1 à 4.

C ou I.P.R. : Evaluation de la criticité : elle est exprimée par l'Indice de **P**riorité des **R**isques.

La criticité est calculée à partir de la relation suivante :

$$C = G * D * F$$

Si :

I.P.R. < 12	:	Rien à signaler
12 < I.P.R. < 18	:	Surveillance accrue à envisager, valeur à la limite de l'acceptable
I.P.R. > 18	:	Mise en place d'actions permettant de corriger ou d'améliorer le moyen ou l'installation utilisée.

Les valeurs seuils sont déterminées par des experts du domaine, un groupe de travail s'est mis d'accord sur la valeur des seuils choisis.

La valeur relative des criticités des différentes défaillances permet de planifier les recherches en commençant par celles qui ont la criticité la plus élevée.

4. Conclusion

La réduction de l'I.P.R. (C) peut se faire par modification technique, par le changement de la méthode de maintenance appliquée et / ou par la mise en place de documents relatifs aux modes opératoires, aux procédures,...

Un plan d'action sera établi pour fixer des priorités par rapport aux améliorations proposées.

Notre projet s'articule autour de l'étude et l'élaboration d'un plan de la maintenance préventive des équipements critiques de l'unité de production de l'acide sulfurique sa description détaillée sera explicité au chapitre suivant.

La méthodologie que nous avons suivie tourne autour de l'étude AMDEC, une manière de déterminer les causes de défaillance des éléments critique, vient ensuite une autre étude ISHIKAWA pour incarner le problème et bien définir tous les aspects du problème, et à la fin une étude 5 POURQUOI pour détecter les causes racines et définir par la suite les solutions à envisager.



CHAPITRE 3 : ANALYSE DE L'EXISTANT ET L'ETUDE DETAILLEE DU PROJET PAR LA METHODE 2TUP



DANS CE CHAPITRE NOUS ALLONS SE BASER
SUR L'EXISTANT POUR FAIRE UNE ETUDE
DETAILLEE DU PROJET TOUT EN ADOPTANT
LA METHODE 2TUP DE GESTION DE PROJET

I. Analyse de l'existant

1. Présentation de l'organisme PAKPHOS

Pour aborder la problématique de notre projet nous devons avoir une idée sur les modes de défaillances probables, et puisque l'ODI P1 est un projet tout récent qui n'a pas encore d'historique, nous avons cherché d'autres projets qui disposent d'une installation presque similaire et on a réussi à avoir l'autorisation de passer une semaine entière à l'usine PMP.

Installé à Jorf-Lasfar, Pakistan Maroc Phosphore a été créée en 2004 avec un capital de 800 millions de MAD partagé à l'égalité entre OCP SA et le groupe Pakistanais FAUJI.

Pakistan Maroc Phosphore a pour activité la production et la commercialisation de l'acide phosphorique marchand, avec une capacité de production installée de 375.000 tonnes de P2O5.

La production d'acide phosphorique relative à l'exercice 2009 s'établit à 316 628 tonnes P2O5, Pour un volume vendu de 311 470 tonnes.

2. Classification des équipements à traiter

Puisque les ateliers de production de l'acide sulfurique sont presque identiques, nous nous sommes basés sur l'historique de Maroc Phosphore pour classer les équipements majeurs à traiter.

L'historique des arrêts de l'année 2014 a montré que la plus longue durée d'arrêt dans l'atelier sulfurique revient surtout à la fuite de l'acide, chose que nous avons jugée grave, vu qu'une fuite d'acide peut désormais engendrer plusieurs pertes ;

Nous avons calculé le cumul et le pourcentage de la durée d'arrêt des 10 premières causes qui ont la plus longue durée pour obtenir le résultat qui figure dans le tableau 4.

Tableau 4: Tableau des durées des arrêts en heure

Causes d'arrêt	Δ (H)	Cumul	% Cumul
1. Fuite acide coté refoulement de la pompe P02	71:09:00	71:09:00	28,00
2. Arrêt suite fuite d'acide au niveau de la pompe P01	54:40:00	125:49:00	49,21
3. Arrêt programmé pour changement de la roue de la pompe P09	30:30:00	155:79:00	61,03
4. Arrêt programmé : étanchéité de la pompe KP09	13:49:00	170:08:00	66,90
5. Arrêt suite changement des paliers lisses de la pompe P01	13:40:00	183:48:00	72,40
6. Arrêt de l'unité suite fuite de gaz au niveau de la conduite	13:02:00	196:50:00	79,89
7. Arrêt suite fuite d'acide interne sur la tour d'absorption	12:20:00	209:10:00	82,87
8. Arrêt pour élimination des fuites de gaz sortie première masse	12:13:00	221:23:00	87,00
9. Arrêt suite changement manchettes (faible épaisseur) et fuite d'acide sur virole R01	11:37:00	233:00:00	88,02
10. Arrêt suite fuite d'acide sur la vanne de drainage E17	10:50:00	243:50:00	91, 73
11. Arrêt programmé de l'unité pour changement de la manchette entrée D02	10:47:00	254:37:00	100,00

Après calcul du cumul des durées d'arrêt et du pourcentage du cumul, nous avons présenté le résultat sous forme de Pareto, illustré dans la figure 13 ;

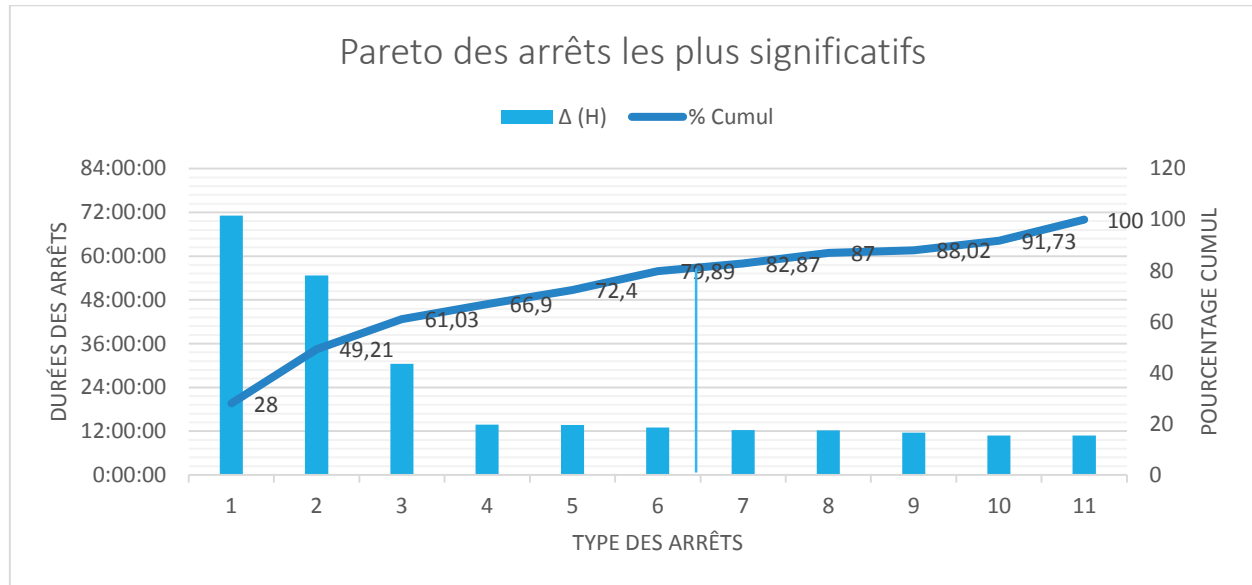


Figure 13: Pareto des arrêts avec les plus longues durées

La tête de Pareto est la fuite d'acide dans la partie refoulement de la pompe P02 avec une durée qui dépasse les 72H.

Selon l'histogramme de la figure 13, des problèmes au niveau des pompes P02, P01, et P09 causent les arrêts de plus longues durées.

Dans l'atelier sulfurique toutes les pompes qui existent sont de type centrifuge ; ce sont des équipements qui doivent pouvoir fonctionner longtemps et de façon fiable afin d'amortir les coûts d'investissement.

Nous allons se baser sur ce constat pour focaliser notre travail sur l'étude des pompes centrifuges qui existent dans l'atelier sulfurique.

3. Détermination des pompes critiques de l'atelier sulfurique

Comme mentionné dans la partie précédente, nous avons trouvé après une étude Pareto que les pompes centrifuges sont les équipements qui nécessitent le plus d'attention vu le temps d'arrêts qu'elles engendrent dans le cas d'une panne, et pour cela nous avons mené une étude particulière pour déterminer les pompes les plus critiques.

Pour ce projet ODI/P1, et concernant l'atelier sulfurique, nous travaillons essentiellement avec 4 fournisseurs de pompes à savoir : ENSIVAL MORET, FRIATEC AG, FLOWSERVE et LEWIS.

Le choix de fournisseur dépend essentiellement de la fonction et l'emplacement de la pompe dans l'atelier sulfurique.

La notion d'équipement critique est primordiale dans l'activité de maintenance. C'est un critère très puissant qui sera utilisé très souvent, puisque une attention toute particulière sera accordée à ces équipements.

Dans le tableau 5, nous avons détaillé les pompes de l'atelier sulfurique en mettant en évidence leurs tailles/modèles et fournisseur, le type de la pompe et aussi la fonction qu'elle assure.

Pompes	Item n°	Taille/model Fournisseur	Type	Fonction
Pompe de circulation de l'acide de la tour d'absorption finale	401AAP02/ 401AKP02	VAS 300/36 ENSIVAL MORET	Verticale centrifuge	Pomper/circuler l'acide du bac de circulation jusqu'à la tour d'absorption finale
Pompe de circulation de l'acide de la tour de séchage	401AAP01/ 401AKP01	VAS 400/54 ENSIVAL MORET	Verticale centrifuge	Pomper/circuler l'acide du bac de circulation jusqu'à la tour de séchage
Pompe de vidange de l'acide	401AAP03/ 401AKP03	2K3X2-13 DURCO FLOWERVE	Horizontale centrifuge	Purger les conduites et les refroidisseurs d'acide et transférer l'acide vers les citernes de stockage
Pompe d'eau d'alimentation de la chaudière HRS	401AAP11/ 401AKP11	4WDXE-F-3 FLOWERVE	Centrifuge horizontale multicellulaire	Fournir de l'eau désaérée pour la chaudière et le dilueur HRS
Pompe d'eau d'alimentation de la chaudière HP	401AAP09/ 401ABP09	6*14 WXH-6 FLOWERVE	Centrifuge horizontale multicellulaire	Fournir de l'eau désaérée pour les économiseurs et les désurchauffeurs de vapeur
Pompe de circulation de l'acide dans la HRS	401AAP04/ 401AKP04	HSH-38018 LEWIS	Verticale centrifuge	Circuler l'acide de la base de la tour HRS, vers le premier étage de la tour de récupération de la chaleur, ainsi que le flux transversale passant par le chauffeur et le préchauffeur de du HRS pour attendre le bac de circulation

Tableau 5: Tableau des pompes les plus importantes de l'atelier sulfurique

Nous nous sommes basés sur l'historique de PMP pour juger que les pompes que nous avons citées sont les plus importantes en s'appuyant sur la fonction qu'elles assurent, mais nous avons eu recours à la méthode PIEU pour les classer et pour attaquer les plus critiques.

3.1 La méthode PIEU

La méthode PIEU a été utilisée pour faire l'étude de criticité. Ceci parce qu'elle permet de mettre en évidence les différents facteurs cités pendant les brainstormings.

La méthode PIEU ou bien (Pannes, Importance des équipements, Etat de l'équipement, Utilisation) développée par YVES LAVINA, a pour but de définir la criticité des équipements à partir d'une matrice multicritère. Elle possède l'avantage d'être très simple de mise en œuvre.

Avec cette méthode, la criticité des équipements est définie avec précision par notation avec des échelles comme mentionné dans le tableau 6.

Cette méthode comprend quatre critères, qui sont à fixer pour chaque équipement :

- ✚ **P** – Incidence des Pannes : il s'agit de refléter la fiabilité et la fidélité de l'équipement de mesure
- ✚ **I** – Importance de l'équipement : ce critère permet de caractériser l'influence du dispositif sur l'activité de production
- ✚ **E** – Etat de l'équipement : ce critère est lié à l'âge du matériel, à sa précision et à son usure
- ✚ **U** – Taux d'utilisation de l'équipement : ce critère est lié à la fréquence d'utilisation et au nombre d'utilisateurs.

Tableau 6: Grille d'évaluation de la criticité

Grille d'évaluation de la criticité					
Poids					
Critères		0,01	1	2	3
P	Indice des pannes	Répercussions graves sur l'entité	Répercussions sur la qualité et génération de rebuts	Retouches possibles	Aucune répercussion sur la qualité des soins
I	Importance de l'équipement	Stratégique, pas de délestage sur d'autres équipements, sous-traitance impossible	Important, pas de délestage possible, sous-traitance possible	Secondaire, délestage possible	Equipement de secours
E	Etat	A rénover, A reformer	A réviser	A surveiller	A l'état spécifié
U	Taux d'utilisation	Saturé	Elevé	Moyen	Faible

Ces quatre critères sont pondérés pour chaque type d'équipement par des valeurs allant de 0,01 à 3 (0,01 étant le paramètre ayant le plus d'importance et 3 étant le moins critique). Il est fortement conseillé dans ce genre de méthodes d'avoir un nombre pair de valeurs possibles (par exemple dans mon étude : « 0,01 », « 1 », « 2 », « 3 ») de façon à éviter la note médiane.

Le calcul de la criticité de l'équipement se fait selon la formule suivante :

$$C = P \times I \times E \times U$$

(Plus C est faible, plus la criticité de l'équipement est élevée).

A partir des criticités calculées, les équipements peuvent être classés en trois catégories :

- ✚ Si $C < 1$ alors les équipements sont « **critiques** » et nécessitent des actions immédiates,
- ✚ Si $1 < C < 10$ alors les équipements sont « **à surveiller** », c'est-à-dire que les équipements sont en bon état mais il faut prévoir des actions à long terme,
- ✚ Si $C > 10$ alors les équipements sont « **ordinaires** » ou « **non-critiques** »

Cette évaluation permet d'établir un plan d'actions sur les équipements très sensibles et ainsi de hiérarchiser la criticité des équipements. La mise en œuvre de cette méthode a nécessité l'aide du personnel connaissant et maîtrisant bien le matériel et son utilisation.

L'application de la méthode PIEU a donné le résultat décrit dans le tableau 7.

Tableau 7 : Les pompes les plus critiques selon la méthode PIEU

Repère	Désignation	P	I	E	U	Criticité
401AAP13/401AAKP13	Pompe d'effluent	1	3	3	2	18
401AAP01/401AKP01	Pompe de circulation de l'acide de la tour de séchage	0.01	0.01	3	0.01	$3 \cdot 10^{-6}$
401AAP02/401AKP02	Pompe de circulation de l'acide de la tour d'absorption final	0.01	0.01	3	0.01	$3 \cdot 10^{-6}$
401AAP03/401AKP03	Pompe de vidange de l'acide	2	1	3	1	6
401AAP04/401ABP04	Pompe de circulation de l'acide de la HRS	1	2	3	1	6
401AAP11/401AKP11	Pompe d'eau d'alimentation de la HRS	1	2	3	1	6
401AAP09/401AKP09	Pompe HP d'eau d'alimentation	0.01	0.01	3	0.01	$3 \cdot 10^{-6}$

Les équipements qui ont un coefficient de criticité inférieur à 1 (≤ 1) sont les équipements les plus critiques.

Pour déterminer le facteur d'incidence des pannes, nous nous sommes basés sur les résultats déjà trouvés au PMP.

Donc les équipements critiques sont :

- ➔ Pompe de circulation de l'acide de la tour de séchage
- ➔ Pompe de circulation de l'acide de la tour d'absorption final
- ➔ Pompe HP d'eau d'alimentation de la chaudière

Et les équipements à surveiller :

- ➔ Pompe de circulation de l'acide de la HRS
- ➔ Pompe d'eau d'alimentation de la HRS
- ➔ Pompe de vidange de l'acide

En ce qui concerne la pompe d'effluent, elle est jugée, d'après la méthode ordinaire ou non critique.

Après la localisation de ces équipements, il est essentiel d'entreprendre une analyse des défaillances. Cette démarche nous fait accéder à une maintenance « proactive » : démarche de progrès, les défaillances deviennent sources de profit si elles sont correctement exploitées.

Avant d'entamer la démarche d'analyse des défaillances, il est nécessaire de bien étudier les équipements critiques, et ceci en se basant sur le dossier technique, les catalogues des fournisseurs, les documents contractuels et l'historiques des demandes d'intervention des projets déjà existants.

Afin d'obtenir un travail bien ficelé, nous avons adopté la démarche 2TUP pour gérer les tâches à faire.

Les pompes concernées sont :

- ➔ La pompe HP d'eau d'alimentation de la chaudière,
- ➔ Les deux pompes de circulation d'acide vers les tours,

La démarche 2TUP comporte 3 volets essentiels à savoir :

- ➔ Une étude fonctionnelle,
- ➔ Une étude technique,
- ➔ Phase réalisation,

Nous avons appliqué la démarche sur les pompes critiques déjà trouvé en se basant sur l'historique des arrêts et la méthode PIEU ; et le résultat est détaillé dans la partie qui suit.

II. La démarche 2TUP (2 TRACKS UNIFIED PROCESS) : Cycle Y

1. Définition de la méthode :

Pour assurer un travail optimal et ordonné, on a choisi d'utiliser une méthodologie de travail inspiré du 2TUP (TWO TRACKS UNIFIED PROCESS),

2TUP propose un cycle de développement en Y, comme représenté dans la figure 14, qui dissocie les aspects techniques des aspects fonctionnels. Il commence par une étude préliminaire qui consiste essentiellement à identifier les acteurs qui vont interagir avec le système à construire, les messages qu'échangent les acteurs et le système, à produire le cahier des charges et à modéliser le contexte. Le processus s'articule ensuite autour de trois phases essentielles :

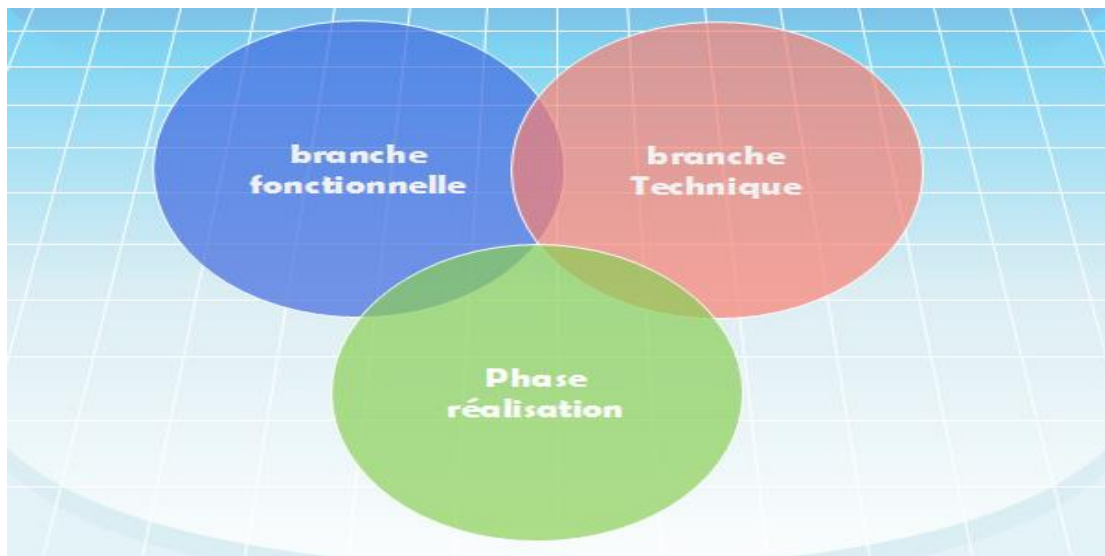


Figure 14: Méthode 2TUP

La branche fonctionnelle permet de faire une analyse du problème en capturant ses besoins fonctionnels : elle consiste à étudier précisément les spécifications fonctionnelle de manière à obtenir une idée de ce que va réaliser le système.

La branche technique s'intéresse à l'aspect technique de l'équipement afin de déterminer les contraintes techniques que nous pouvons rencontrer.

La phase réalisation est la phase qui découle des deux branches précédentes elle consiste à réunir les deux branches, permettant de mener une conception applicable et enfin la livraison d'une solution adaptée aux besoins.

2. Etude fonctionnelle

Pour commencer, nous avons entamé avec la branche fonctionnelle, et nous avons appliqué la méthode bête à cornes et Pieuvre sur les pompes concernées.

2.1 Application de bête à cornes :

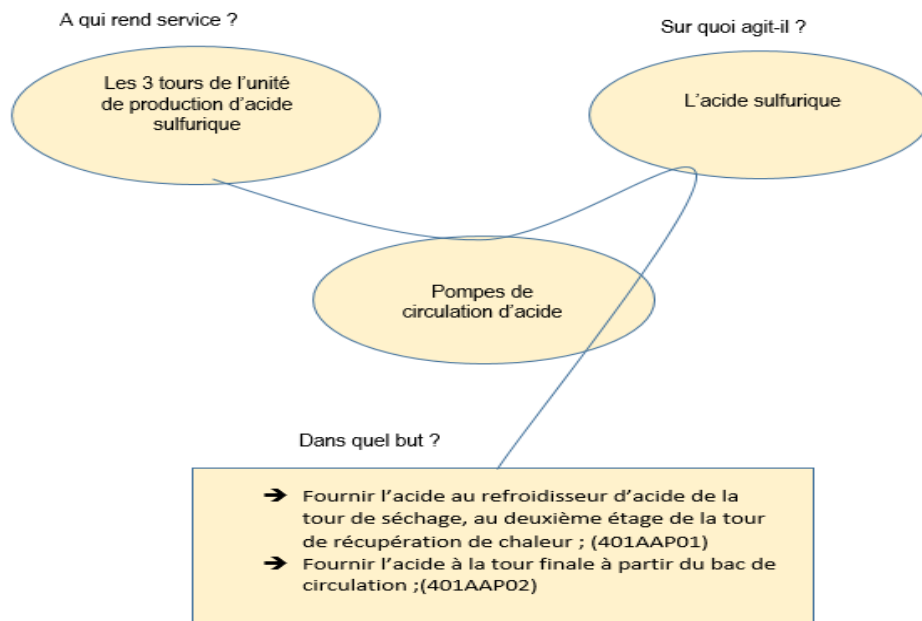


Figure 15: Diagramme de l'analyse bête à cornes des pompes de circulation de l'acide

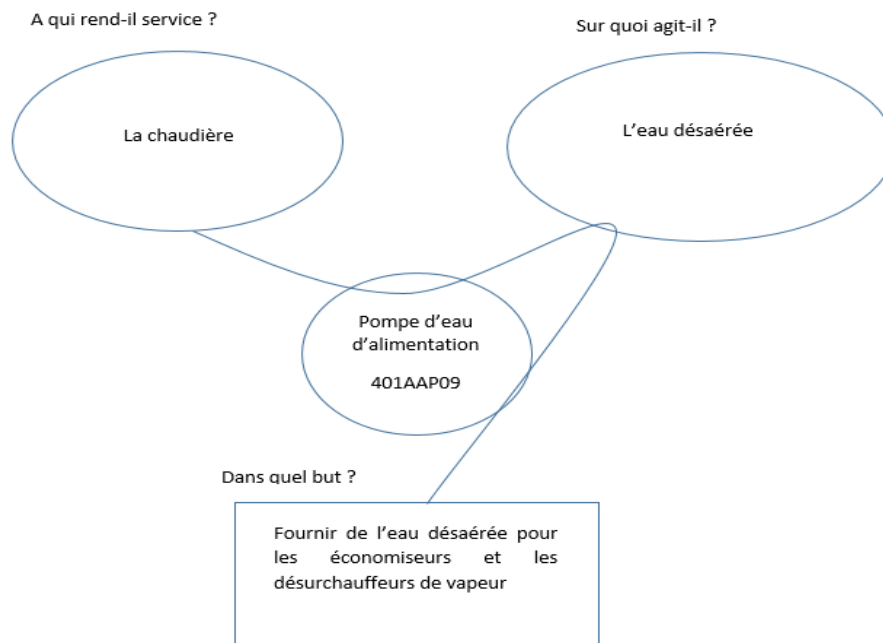


Figure 16: Diagramme de l'analyse bête à cornes de la pompe HP d'eau d'alimentation

Le diagramme bête à cornes nous a permis de décrire le besoin auquel répondent les pompes étudiées, cela est expliqué dans les figures 15 et 16.

2.2 Application de l'analyse Pieuvre :

L'analyse PIEUVRE permet de définir les liens (c'est-à-dire les fonctions de service) entre le système et son environnement.

Pour les pompes de circulation d'acide, cela est schématisé dans la figure 17, et expliqué dans le tableau 8 en mettant en évidence les fonctions principales et les fonctions contraintes.

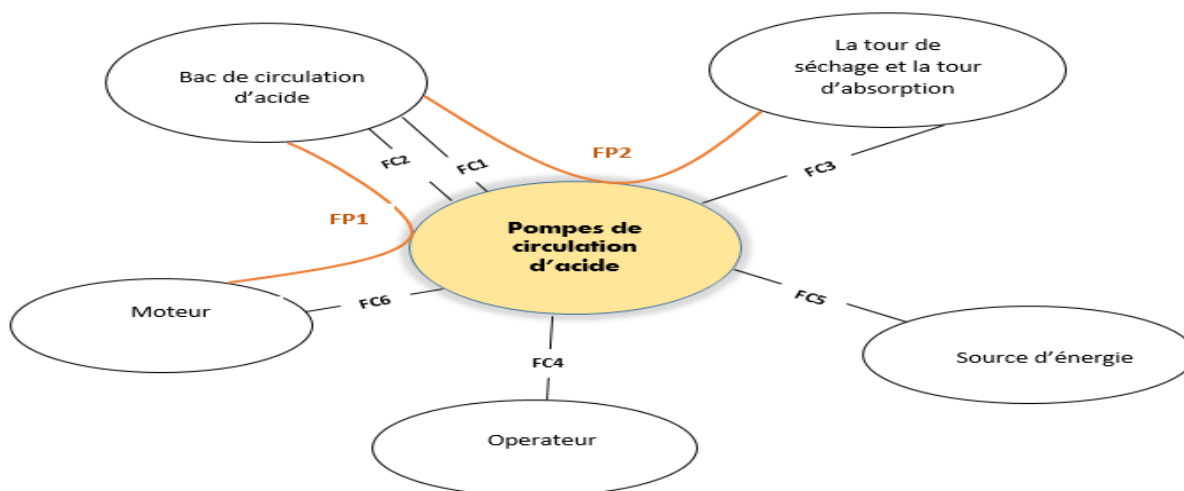


Figure 17: Schéma de l'analyse PIEUVRE des pompes d'acide

Tableau 8: Fonctions de l'analyse PIEUVRE des pompes d'acide

FP1	Transformer l'énergie mécanique en énergie hydraulique
FP2	Pomper l'acide sulfurique vers les tours
FC1	Fixation sur le bac
FC2	Respecter le niveau d'immersion de la pompe dans le bac
FC3	Respecter les contraintes de débit et hauteurs de refoulements
FC4	Faciliter le maintien et éviter chaque danger sur l'opérateur
FC5	S'accorder à la source d'énergie (puissance spécifique de la pompe avec la puissance électrique venant de la centrale électrique)
FC6	Fournir l'énergie mécanique à la pompe

Les deux pompes assurent la fonction de circuler l'acide vers les tours, la tour de séchage et la tour finale.

Chaque tour est une chambre verticale cylindrique revêtue de brique contenant un remplissage de céramique. L'écoulement du gaz se fait par le bas à travers chaque tour à contre-courant de l'acide sulfurique.

Pour la pompe HP d'eau d'alimentation, nous avons procédé de la même manière, et cela a donné le résultat mentionné dans la figure 18 , le tableau 9 résume les fonctions principales et les fonctions contraintes.

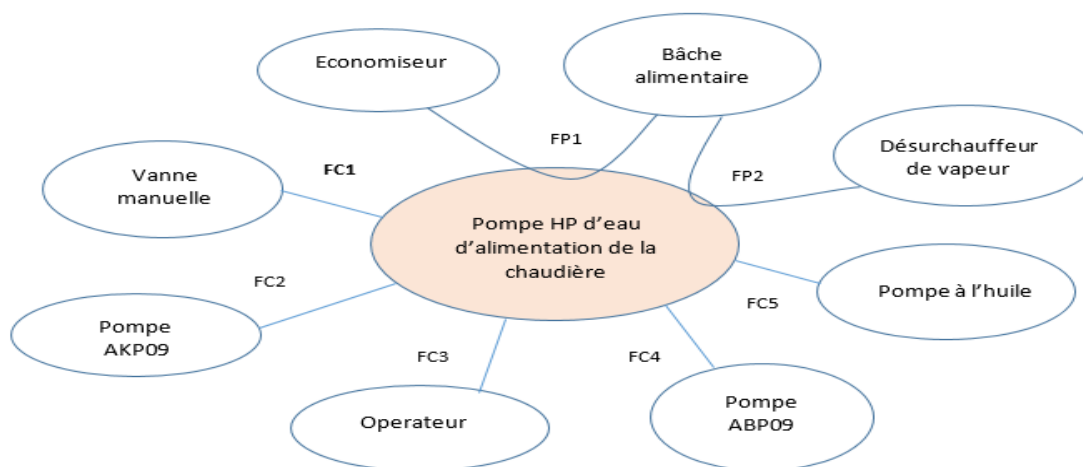


Figure 18: Schéma de l'analyse Pieuvre de la pompe HP d'eau d'alimentation

Tableau 9 : Tableau des fonctions de l'analyse PIEUVRE de la pompe HP d'eau d'alimentation

FP1	Fournir l'eau désaérée pour les économiseurs
FP2	Fournir l'eau désaérée pour les désurchauffeurs de vapeur
FC1	Permettre la circulation de l'eau de la bâche alimentaire vers la pompe
FC2	Se déclencher une fois la pompe principale s'arrête à fonctionner
FC3	Faciliter le maintien et éviter chaque danger
FC4	Se déclencher une fois on aura une coupure générale d'électricité pour remplacer la pompe principale
FC5	Assurer la lubrification du moteur, et des paliers lisses

La pompe HP d'eau d'alimentation aspire l'eau de la bâche alimentaire, cette dernière reçoit de l'eau du poste de polissage, de retour des condensats, de soutirage turbine et de la vapeur MP qui sert au dégazage et au maintien à chaud de la bâche à 120°C.

La pompe refoule par la suite vers la chaudière de récupération, et la désurchauffe de vapeur HP et MP.

2.3 Localisation des pompes étudiées :

La production d'acide sulfurique nécessite l'utilisation de pompes particulièrement adaptées à une utilisation en milieu corrosif.

Les deux pompes de circulation d'acide sont immergées dans le bac commun fait de briques, nous ne pouvons contrôler donc que les moteurs des pompes, pour cela nous avons des sondes liées aux moteurs des deux pompes pour contrôler la température, et nous avons aussi des capteurs liés au bac commun pour mesurer le niveau, la densité et la concentration d'acide.

La figure 20 met au clair l'emplacement des deux pompes dans le bac commun rempli d'acide.



Figure 19: Vue réelle du bac commun d'acide et des deux pompes d'acide

En ce qui concerne la pompe HP d'eau d'alimentation de la chaudière est une pompe qui a comme fonction de circuler l'eau désaérée de la bûche alimentaire jusqu'à la chaudière.

Dans le schéma illustré dans la figure 21, nous pouvons remarquer le raccordement de la pompe 401AKP09 qui est une pompe de réserve, et qui se déclenche lorsque la pompe principale tombe en panne ou lorsque l'une des conditions de fonctionnement normale de la pompe n'est plus satisfaite (pression, température des paliers, vibration excessive...).

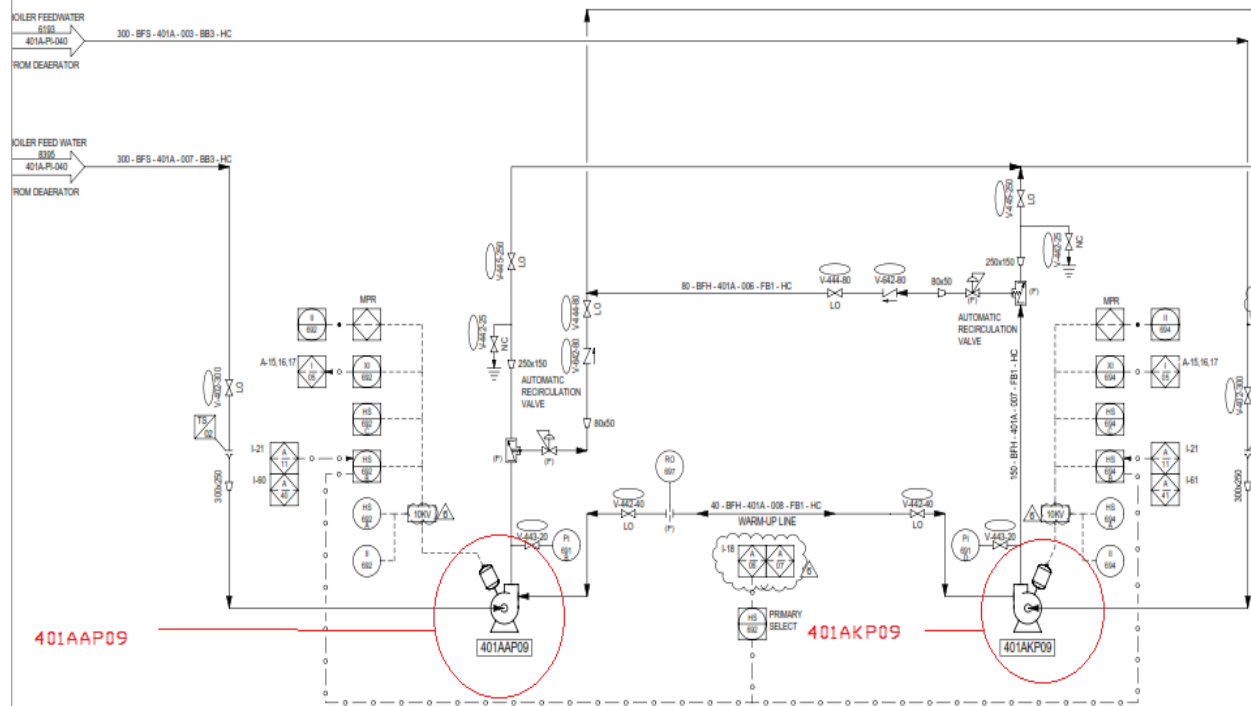


Figure 20: Pompe HP d'eau d'alimentation et la pompe réserve

La figure 22, représente l'emplacement des deux pompes HP d'eau d'alimentation de la chaudière.



Figure 21: Vue réelle des deux pompes AAP09 et AKP09

Dans le cas d'une coupure d'électricité générale, l'usine a prévu une autre pompe ultime-secours à côté de la pompe de secours 401ABP09 qui travaille à courant continu pour protéger la chaudière en assurant qu'elle ne manquera pas d'eau.

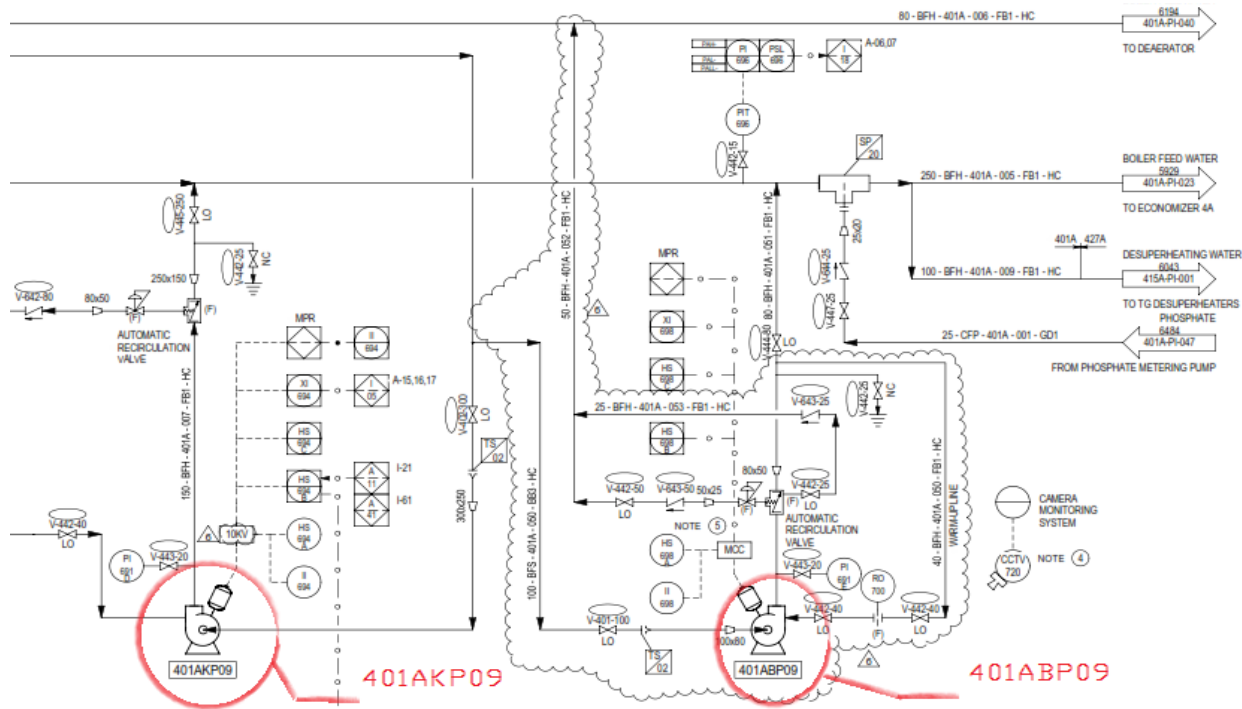


Figure 22: Emplacement de la pompe ultime secours

3. Etude technique :

3.1 Pompes de circulation d'acide :

La pompe 401AAP01 est une pompe à acide verticale, centrifuge, à moteur et résistante à la corrosion, avec une capacité maximale d'environ 2000 m³/h. La pompe fournit l'acide au refroidisseur d'acide de la tour de séchage, au deuxième étage de la tour de récupération de chaleur, et au flux transversal vers le dilueur du HRS.

La pompe 401AAP02 est une pompe à acide verticale, centrifuge, à moteur et résistante à la corrosion, avec une capacité maximale d'environ 1030 m³/h. La pompe fournit l'acide à la tour finale à partir du bac de circulation.

La conception technique des deux pompes de circulation d'acide 401AAP01 et 401AAP02 est identique, la seule différence qui existe c'est au niveau de la taille des deux pompes.

Le plan de coupe de la pompe de circulation d'acide est incluse dans les annexes : ANNEXE1.

La figure 24 représente la plaque signalétique de la pompe de circulation d'acide vers la tour de séchage.



Figure 23: fiche signalétique de la pompe 401AAP01

La figure 25 illustre la partie supérieure de la pompe de circulation d'acide, puisque la partie inférieure est immergée dans l'acide.



Figure 24: La partie supérieure de la pompe immergée dans le bac commun d'acide

3.1.1 Performances techniques de la pompe de circulation d'acide vers la tour de séchage

- Type et taille : VAS 400-54 (Pompe verticale à acide)
- Débit : jusqu'à 1861 m³/h
- Hauteur manométrique : jusqu'à 45 m
- Pression maximale : 20 bars
- Température maximale : jusqu'à 120°C

3.1.2 Construction :

- ▶ Monocellulaire à roue fermée
- ▶ Axe vertical
- ▶ Palier butée à roulements lubrifiés à la graisse
- ▶ Absence d'effort radial sur paliers de colonne grâce au refoulement concentrique
- ▶ Coussinets de colonne lubrifiés par le liquide pompé.
- ▶ Etanchéité à l'arbre simplifiée par bague laminage avec retour de la fuite vers la cuve
- ▶ Etanchéité auxiliaire à tresses contre les vapeurs acides
- ▶ Equilibrage axial par bagues d'étanchéité avant et arrière
- ▶ Centrages des pièces assemblées protégés contre toute corrosion
- ▶ Ecrous à chapeau avec O-rings pour protection des filets

3.1.3 Matériaux :

Parler du matériau est une chose primordiale lorsqu'il s'agit d'une pompe immergée dans l'acide à concentration très élevée.

Pour acide sulfurique concentré chaud : 96 à 99%, température de 80 à 120°C

- ▶ Corps de pompe en fonte antiacide
- ▶ Roue, bagues d'usure et chemises en inox spécial 14/40/5/5 (NZ 144)
- ▶ Coussinets en Ferro silicium ou alliage spécial
- ▶ Arbre en inox 20/25/4 (UB6 ou 316), éventuellement recouvert de F.E.

3.2 Pompe Haute pression de l'eau d'alimentation de la chaudière :

Les pompes d'eau d'alimentation de la chaudière HP sont des appareils horizontaux, à corps fendu et à étages multiples, avec joints mécaniques. Deux pompes sont entraînées par un moteur et une pompe est installée comme réserve. Les pompes peuvent chacune fournir 304 m³/h d'eau désaérée à 110°C et environ 68.2 Kg/cm²g pour les économiseurs et les désurchauffeurs de vapeur (il est préférable d'éviter la désurchauffe à partir du circuit d'eau alimentaire HP). Le débit normal est de 240 m³/h. chaque pompe utilise une vanne de recirculation automatique pour protéger la pompe en cas de faible débit.

Le plan de coupe de la pompe HP d'eau d'alimentation est incluse dans les annexes, Annexe2.

La figure 26 illustre la plaque signalétique de la pompe HP d'eau d'alimentation.



Figure 25: Fiche signalétique de la pompe de circulation d'acide

La figure 27, met en évidence la pompe HP d'eau d'alimentation, la partie moteur, la conduite d'aspiration et la centrale de lubrification.



Figure 26: La pompe HP d'eau d'alimentation de la chaudière

3.2.1 Performances techniques de la pompe HP d'eau d'alimentation de la chaudière

- Modèle et taille : 6 x 14 WXH
- Nombre d'étage : 6
- Capacité : 288 / 365 m³/h
- Hauteur manométrique : 868 m
- Liquide pompé : l'eau d'alimentation
- Température : 110°C
- Lubrification : Graisse

3.2.2 Construction :

La conception des pompes FLOWSERVE incorpore des améliorations hydrauliques et mécaniques. Ces unités sont fiables, efficaces et durables et incluent des caractéristiques exceptionnelles telles un équilibrage axial et radial complet. Une protection globale est fournie contre la corrosion, l'érosion et le risque de se couper.

Le liquide entre à travers deux ouvertures d'aspiration dans la roue du premier étage, passe à travers la roue du premier étage puis à travers les autres roues d'étage en succession et ressort à travers une ouverture de refoulement situé à l'autre extrémité.

La roue du premier étage est enfermée dans le corps d'aspiration. Celui-ci dirige le flux du liquide de la tuyère d'aspiration à la roue du premier étage. Un corps d'étage se trouve autour de chaque roue successive, contenant les passages du fluide. Des aubes de diffusion convertissent de manière efficace une partie de l'énergie cinétique du liquide sortant de la roue en énergie de pression. Ce processus est répété à chaque étage successif, chacun augmente la pression ou la hauteur.

Le liquide sortant du diffuseur du dernier étage passe dans un espace annulaire du corps de refoulement. Les diffuseurs sont utilisés plutôt que les volutes car leur construction hydraulique fournit flexibilité, efficacité et une élimination complète de la poussée radiale dans toutes les conditions de fonctionnement.

3.2.2.1 Dispositif d'étanchéité :

Les garnitures mécaniques à cartouche sont utilisées à chaque extrémité de la pompe, là où l'arbre dépasse à travers le corps d'aspiration et le corps de la boîte de garniture. Chaque garniture mécanique est munie d'un anneau fixe contre lequel une bague collectrice à ressort assure l'étanchéité pour éviter une fuite de la pompe.

3.2.2.2 Roues et bagues d'usure

Des roues montées individuellement fabriquées en une seule pièce, sont tenues à l'arbre à l'aide de rainures de clavette situées alternativement sur les côtés de l'arbre. La roue du premier étage est positionnée contre un épaulement sur l'arbre, les autres roues étant empilées moyeu contre moyeu. Lors du fonctionnement, la force est transmise, à travers le moyeu de la roue, à l'arbre au niveau de son épaulement. Des bagues d'usure du corps renouvelables sont fournies pour contrôler les fuites après les moyeux de roues ou les bagues d'usure renouvelables de la roue.

3.3 Impact du milieu sur le fonctionnement des pompes :

Les pompes de circulation d'acide sont installées dans des bacs briquetés qui doivent être maintenus sous vide. Cette condition est dictée par le fait que s'il y a introduction d'air humide, il y aura constitution d'un acide dilué sur la surface libre du liquide dans les bacs. Cet acide, très corrosif, attaque les pompes qui sont à moitié immergées et on constate une corrosion plane au niveau de la surface de contact air- liquide allant jusqu'à rupture de l'enveloppe de la pompe.

Les accessoires au-dessus des bacs (conduites, brides, vannes ...) présentent parfois des fuites et corrodent le toit du bac cassant ainsi le vide exigé pour un bon fonctionnement de ces pompes.

Ainsi, un soin particulier doit être donné pour le maintien en bon état du bac.

D'autres contraintes sont à prendre en compte pour la maintenance de ces pompes, à savoir :

Lors des démarrages des unités après arrêt froid, les circuits d'acide sont souvent chargés de solides (principalement les sulfates). Pour protéger les pompes, on procède à l'installation de panier filtrant au niveau du coude amenant l'acide au bac autant de fois qu'il est nécessaire avant de l'enlever après assainissement des circuits ;

En fonctionnement continu, il advient souvent que des corps solides atteignent le fond du bac (bout de briques, intalox des tours ...). Les pompes sont immédiatement détruites si elles aspirent de tels corps. Actuellement, et pour réparer à ce problème, on monte ces pompes avec des crépines à leur aspiration.

3.4 Exigences d'exploitation et exigences techniques :

- ➔ Les pompes doivent être disponibles et en bon état (débit et pression conformes), pendant les cycles d'exploitation ;
- ➔ A part les arrêts en fin de cycle de production, qui peuvent dépasser 15 jours, tout problème ou opération de maintenance sur ces pompes au cours du cycle d'exploitation doit être réglé au cours des arrêts chauds. La durée maximale de ces arrêts est de 36 heures ;
- ➔ Révision et montage selon le manuel du constructeur ou les gammes de maintenance ;
- ➔ Respect de la procédure de démarrage selon les gammes aussi ;
- ➔ Respect des opérations de maintenance préventive ;
- ➔ Stockage au cours des arrêts froids ;
 - Pour une pompe neuve, il est préférable de la stocker dans un endroit propre et sec (de préférence à l'intérieur) ;
 - Pour une pompe de circulation d'acide ancienne, il faut surtout éviter de la laisser montée dans les bacs lors des arrêts froids, même s'ils sont vidangés ;
 - Etanchéité des bacs : les bacs doivent être étanches et bien entretenus, aucune fuite ne doit être tolérée.
 - Vérifier le bon fonctionnement de la centrale de lubrification de la pompe HP d'eau d'alimentation, et s'assurer que les pompes à l'huile fonctionnent normalement avant de démarrer la pompe principale ;

3.5 Influence de la panne d'une pompe sur la production :

L'importance de ces pompes résulte du fait que chaque déclaration d'avaries provoque l'arrêt de l'unité de production correspondante, ce qui perturbe la marche du complexe et entraîne un manque à gagner. Ces avaries nécessitent généralement des réductions de cadence et même des arrêts à chauds qui sont néfastes pour les installations sulfuriques et accélèrent le processus de corrosion des équipements.

Il est donc évident que ces pompes sont critiques et par conséquent, leur maintenance doit être très efficace.

4. Phase réalisation : Etude AMDEC

4.1 Mise en œuvre

Groupe de travail :

- M. SAMAD ABDELMJID (JESA_ PROCESS)
- M. OUDACH (JESA_ INSTRUMENTATION)
- M. AARAB (OCP_ MAINTENANCE MECANIQUE)
- M. DAAB (JESA_ MECANIQUE)
- M. ATCHI (JESA_ MECANIQUE)
- ERRIAH EL IDRISSI BOUTAINA (Stagiaire)

→ Ces personnes ont toutes un rapport avec l'objet de l'analyse et ont une expérience significative qui leur permet d'argumenter au cours des réunions.

Objectif :

→ Utilisation de l'AMDEC procédé, qui s'intéresse aux moyens de production (machines, lignes, installations), ainsi qu'au processus de production (gammes de fabrication), dans l'objectif d'optimiser la maintenance et assurer une communication inter-service, puisque dans la réalisation de l'étude AMDEC, nous avons fait intervenir la Mécanique, instrumentation, construction, maintenance et qualité ;

Délai prévu :

→ Le délai que nous avons consacré pour l'étude AMDEC est de 6 semaines ;

Système :

- ➔ La pompe HP d'eau d'alimentation de la chaudière
- ➔ Les pompes de circulation d'acide vers les tours

4.2 Résultats-tableau de l'analyse AMDEC de la pompe HP d'eau d'alimentation

Le résultat de l'analyse AMDEC appliquée à la pompe HP d'eau d'alimentation de la chaudière est montré dans le tableau 10,

L'équipe de travail a fixé le seuil de criticité à 12, en s'appuyant sur le retour d'expérience.

Par conséquent, les éléments critiques qui nécessitent un plan d'action immédiat sont ceux qui ont un degré de criticité supérieur à 12.

Avant de commencer l'étude AMDEC, nous avons besoin du découpage de la pompe HP d'eau d'alimentation afin d'identifier tous les sous ensemble de la pompe.

Le plan de coupe de la pompe HP d'eau d'alimentation est parmi les annexes, annexe 2.

4.2.1 Le découpage de la pompe HP d'eau d'alimentation de la chaudière :

Les sous-ensembles de la pompe HP d'eau d'alimentation sont :

- ❖ Roues
- ❖ Conduites d'aspiration et de refoulement
- ❖ Corps de la pompe
- ❖ Plot d'accouplement
- ❖ Arbre
- ❖ Paliers lisses
- ❖ Crépine d'aspiration
- ❖ Garniture mécanique

Le résultat AMDEC illustré dans le tableau 10 est le fruit de travail de toute l'équipe qui avait les compétences nécessaires pour noter les coefficients de calcul de criticité.

Tableau 10: Tableau-résultat AMDEC pompe HP d'eau d'alimentation

AFC1		Etude AMDEC				Atelier : Sulfurique					
Equipement : Pompe HP d'eau d'alimentation de la chaudière						Unité : Maintenance					
Matériel		Caractéristique de la défaillance				Criticité				Résultat d'étude	
Organe	Fonction	Mode de défaillance	Cause de défaillance	Effet de défaillance	Mode de détection	Gravité	Fréquence	Non détection	Criticité	Actions	Fréquences
Crépine d'aspiration	Empêche l'introduction des corps étrangers dans la pompe	Fonction dégradée	usure	Présence des impuretés dans l'eau des instruments de contrôle	Visuel	1	4	1	4	Contrôle de l'état de la turbine	chaque jour
Garniture mécanique	Etanchéité	Fonction dégradée	Garniture usée ou abîmée	Diminution du débit et chute de pression	Visuel	2	3	2	12	Changer la garniture	6 mois
			Joints toriques/ statiques abîmés	Fuite externe de l'eau		2	4	2	16	Changer tous les joints toriques	2 mois
Corps de la pompe	Assurer la circulation du fluide dans la pompe (Transfer)	Fonction dégradée	Usure des bagues d'usure corps- avant et arrière	Chute de débit	Bruit	2	4	3	24	Contrôle et rodage des plans de joint et changement des bagues d'usure	1 an

Roues	Transformer l'énergie mécanique en énergie hydraulique	Fonctionnement dégradé	usure de la roue première étage	chute de pression	Visuel	3	3	2	18	Remplacer la roue	2 ans
			Usure des joints circulaires	endommagement de la roue	Visuel	3	4	2	24	Contrôle et changement des joints circulaires	1 an
			Usure des bagues d'usure avant et arrière	Chute de pression	Visuel	3	4	2	24	Changement des bagues d'usure	1 an
Paliers lisses	supporter et guider, en rotation l'arbre	fonction dégradée	Un jeu important entre les coussinets paliers et l'arbre	Vibration et échauffement des paliers	Bruit	3	3	2	18	Contrôle du jeu entre les coussinets et l'arbre	2 ans
Accouplement	Liaison entre le moteur électrique et la pompe	Fonction dégradée	Désalignement	Bruit et échauffement	Analyse vibratoire	2	2	1	4	Contrôle d'alignement	2ans
			Usure des plots		Bruit	3	2	2	12	Remplacer les plots	1 an

Dans un premier temps l'AMDEC nous a permis de découvrir tous les modes de défaillance possibles, leurs causes, leurs conséquences et leurs méthodes de détection et d'identifier les sous-ensembles critiques de la pompe HP d'eau d'alimentation comme le montre l'histogramme de la figure 28 :

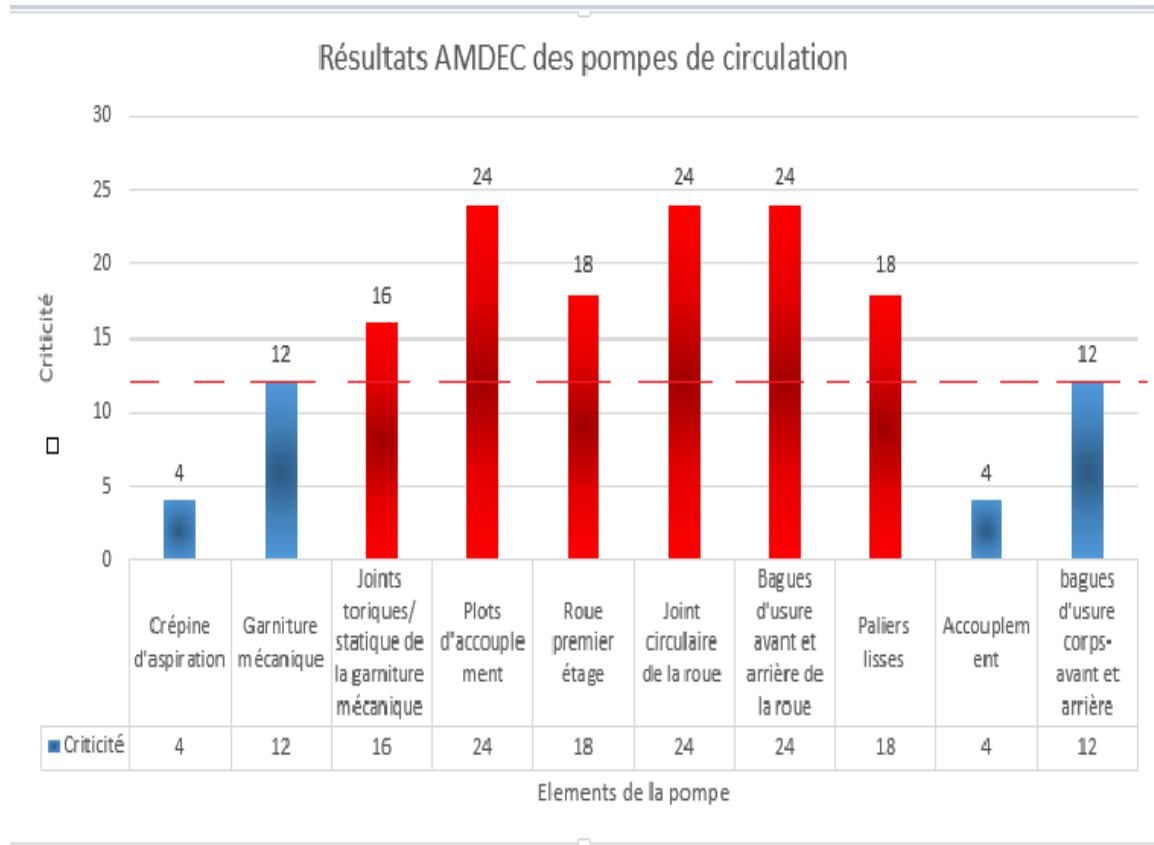


Figure 27: Résultats AMDEC de la pompe HP d'eau d'alimentation

Puisque la criticité est le produit de 3 facteurs, si on veut diminuer la criticité d'un élément, il faut diminuer la valeur des 3 facteurs ; chose qui nous mène à penser à plusieurs solutions ;

- Réduire la fréquence par la maintenance préventive.
- Réduire la gravité par une bonne préparation avant l'intervention à traverses gammes et la préparation des ressources.
- Réduire la non-détectabilité par la planification des contrôles avec les moyens de mesures adéquats (analyse des huiles, analyse vibratoire...) ;

La pompe HP d'eau d'alimentation de la chaudière est d'une très grande importance, vue le rôle qu'elle est chargée de faire, et cela nous l'avons remarqué dans la nécessité d'avoir une pompe secours 401AKP09 et une autre pompe ultime-secours 401ABP09 ;

Cette pompe ne doit pas s'arrêter de fonctionner sous aucun prétexte ;

Pour les éléments qui tombent fréquemment en panne, nous avons remarqué que les pièces d'usure occupent la tête de la liste vient ensuite les roues, l'accouplement, et le graissage des paliers lisses.

Les inspections, nettoyage préventif et lavages périodiques peuvent paraître fastidieux à première vue, mais en réalité, l'habitude d'avoir un arrêt hebdomadaire pour une maintenance de routine permet la répartition des travaux d'entretien sur un programme de quelques semaines de telle sorte que l'arrêt effectif ne dépasse pas 4 heures par semaine.

Comme résultats, vous trouverez en Annexe 3 un plan de maintenance préventive de la pompe 401AAP09 contenant les différents actions de réglages, contrôles, inspections, graissage, lubrification et remplacement, plus des gammes opératoires pour des tâches présentant une difficulté technique, un réglage spécifique et un risque pour le personnel.

4.3 Résultats-tableau de l'analyse AMDEC des pompes de circulation d'acide

Le résultat de l'étude AMDEC pour les deux pompes de circulation d'acide est montré dans le tableau 11 ;

Mais avant d'entamer l'étude AMDEC, nous avons besoin d'identifier les sous ensemble de la pompe de circulation d'acide.

4.3.1 *Le découpage de la pompe de circulation d'acide*

Les pompes de circulation d'acide comme mentionné avant sont du même type, seule la taille de la pompe est différente.

Les pompes de circulation d'acide se constituent des sous-ensembles suivants :

- ❖ La jupe
- ❖ La roue
- ❖ Corps de la pompe
- ❖ Paliers lisses
- ❖ Paliers à roulements
- ❖ Tresses d'étanchéité
- ❖ Conduites de refoulement et d'aspiration
- ❖ Arbre

Tableau 11 : Résultat de l'étude de l'analyse AMDEC des pompes d'acide

AFC1		Etude AMDEC				Atelier : Sulfurique					
Equipement: Pompe de circulation d'acide de la tour de séchage						Unité : Maintenance					
Matériel		Caractéristique de la défaillance				Criticité				Résultat d'étude	
Organe	Fonction	Mode de défaillance	Cause de défaillance	Effet de défaillance	Mode de détection	Gravité	Fréquence	Non détection	Criticité	Actions	Fréquences
Juue	Guidage du fluide vers l'entrée turbine	Usure accentuée	Corrosion et érosion par l'acide	Chute de débit et pression	visuel (manomètre)	3	2	1	6	Remplacement de la juue	3 ans
Roue	Transforme l'énergie mécanique en énergie hydraulique	Fissuration et usure	Corrosion et érosion	Bruit anormal et vibration élevée	Contrôle de vibration	3	3	2	18	Remplacement de la turbine et des joints et bagues d'usure	3 mois
Corps de la pompe	Guidage du fluide vers le refoulement	Fonctionnement non conforme	Corrosion et érosion	Dégradation du corps de la pompe	Rapproché	4	2	1	8	Contrôle et remplacement éventuel	3 ans
			usure des goujons de serrage	Desserrage des goujons	Rapproché	2	5	1	10	Resserrage de la boulonnerie	1 mois
			détérioration de la bague d'usure corps	Frottement, déstabilisation de la roue	Bruit	3	4	2	24	Remplacer la bague d'usure	3 mois
Paliers lisses	Guidage et support du rotor (roue et arbre)	Usure accentuée	vibration et corrosion (milieu acide)	Vibration hors tolérance	Bruit	3	4	2	24	Contrôle du jeu et changement éventuel	3 mois

Tresse d'étanchéité	Etanchéité	Fuite externe	Usure	Attaque de la plaque d'assise de la pompe	Visuel	2	4	1	8	Changement et serrage des tresses	3 mois
Palier de roulement	Guidage et support du rotor (arbre+roue)	Ecaillage	Vibration de la pompe (disfonctionnement vibratoire)	Consommation excessive de la graisse	Visuel	1	4	1	4	Remplacement des roulements, joints, rondelle frein et écrou	3 mois
				Désalignement, bruit et échauffement du palier	Analyse vibratoire	2	3	1	6		
				Endommagement des roulements	Bruit	3	4	2	24		
Conduite de refoulement	Guidage et transfert du fluide	Fissuration au niveau de l'interface dans le bac de circulation d'acide	Attaque par l'acide (acidulé) au niveau de l'interface (air humide et acide)	Vibration et chute de débit et pression	Visuel	4	2	1	8	Changement de la conduite de refoulement	3 ans

L'histogramme suivant montre les points de criticité des pompes de circulation d'acide ; nous avons fixé le seuil de criticité à 12, et le résultat est représenté dans la figure 29.

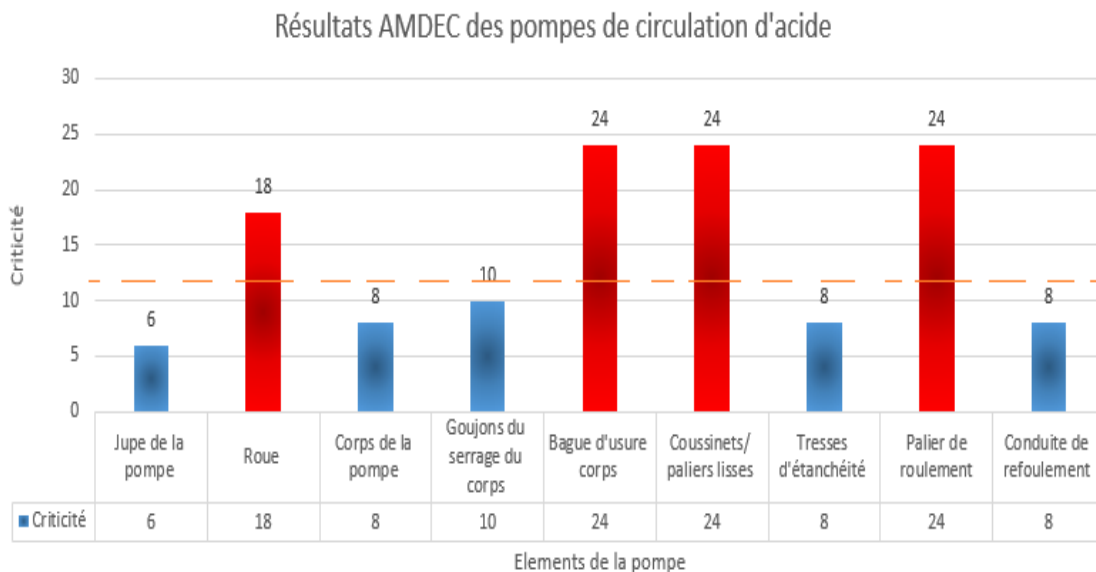


Figure 28: Résultats AMDEC des pompes de circulation d'acide

D'après les résultats d'analyse AMDEC concernant les pompes de circulation d'acide 4 éléments ont une valeur de criticité qui dépasse largement le seuil que nous avons fixé ; Afin de réduire la criticité globale de ce système, nous devons impérativement remédier aux problèmes de ses éléments qui sont principalement les pièces d'usure, les paliers et la roue.

Pour s'y faire vous trouverez en Annexe 3 le plan de maintenance préventive détaillé des deux pompes de circulation d'acide.

4.4 Récapitulatif des deux études AMDEC :

D'après la grille AMDEC, pour la pompe HP d'eau d'alimentation de la chaudière les paliers lisses, les roues et les pièces d'usure ont une criticité plus élevée que les autres organes.

Pour les pompes de circulation d'acide vers les tours, nous avons constaté que les mêmes éléments ont la plus grande criticité, sauf que les causes sont différentes, en plus du problème des paliers à roulements.

Dans ce qui suit nous nous intéresserons aux causes des défaillances afin de trouver les solutions adéquates pour minimiser la fréquence d'apparition des pannes et réduire ainsi la valeur de criticité de ces éléments.

5. Diagramme ISHIKAWA de la pompe HP d'eau d'alimentation

5.1 Identification du problème :

Pour la pompe HP d'eau d'alimentation de la chaudière, nous avons constaté que les pièces d'usure que ce soit des roues ou de la garniture mécanique ont une criticité remarquable, mais en particulier, un problème au niveau des paliers lisses est d'une criticité très importante et peut engendrer des dégâts considérables vu le rôle qu'occupent ces derniers.

Nous avons focalisé notre travail sur l'étude des causes de défaillances des paliers lisses vu que les causes de défaillances des pièces d'usure sont presque connues d'office.

Les défaillances que subissent les paliers antifriction sont invariablement le résultat d'une surchauffe ; afin de mieux incarner le problème une analyse QQQQCP s'impose.

QUI ?	Paliers lisses
QUOI ?	Ecaillage ou usure accentuée
OU ?	Coussinets de palier avant et arrière
QUAND ?	Augmentation de température, surchauffe
COMMENT ?	Augmentation de température est causée par des frottements ou une mauvaise lubrification
POURQUOI ?	Mauvaise gestion des 5 M

5.2 Application du diagramme ISHIKAWA

Après clarification du problème, nous avons identifié les catégories de cause d'apparition du problème et nous avons entamé une approche remue-méninges sur les causes de chaque catégorie.

Ce travail a donné le résultat illustré dans la figure 30.

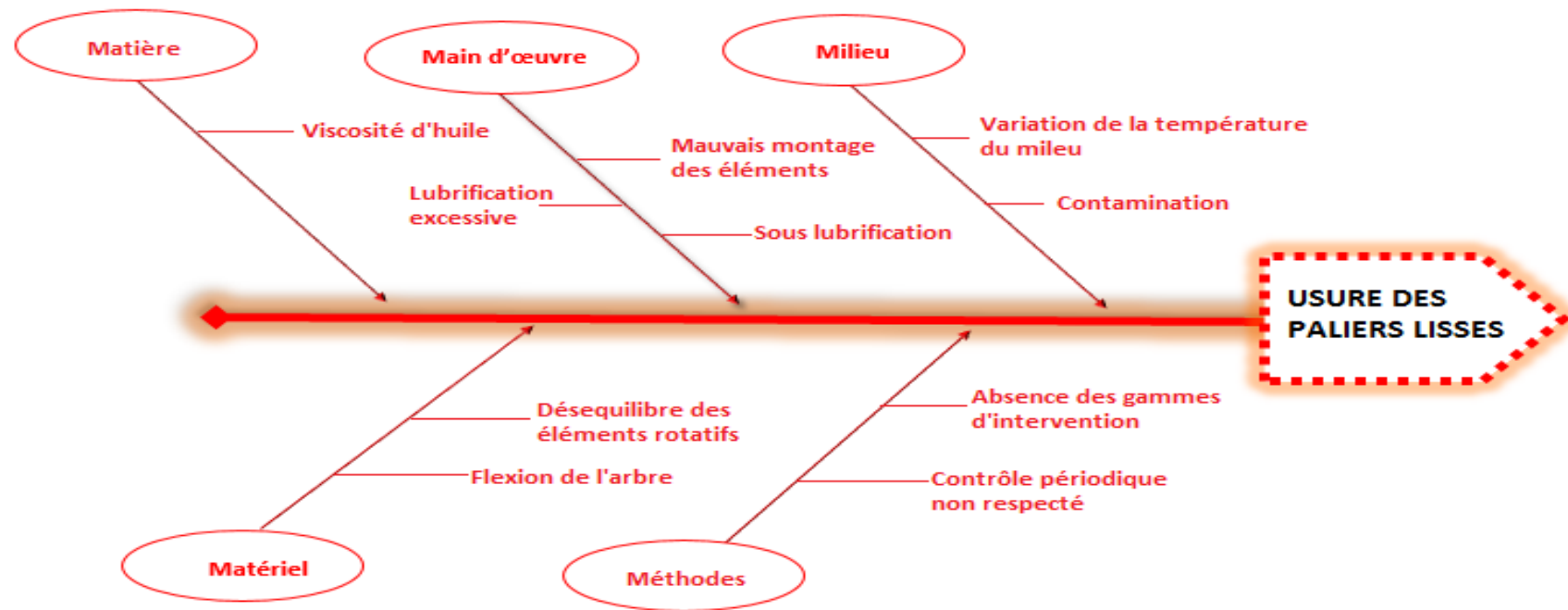


Figure 29: Diagramme ISHIKAWA des paliers lisses

6. Diagramme ISHIKAWA des pompes de circulation d'acide

6.1 Identification du problème

Pour les pompes de circulation d'acide 401AAP01/P02, l'étude AMDEC a montré que plusieurs problèmes interagissent ensemble pour donner cause à la défaillance de la pompe, l'endommagement des roulements contribue avec un grand pourcentage à la destruction des éléments de la pompe, vu le rôle que jouent les paliers à roulement à guider et supporter le rotor ;

Les principales fonctions des paliers à roulements sont de supporter et de centrer les arbres de machines, de diminuer la friction absorbée, et de transmettre les charges à différentes vitesses et températures de fonctionnement. Il y a avantage à les utiliser, car ils ont un coefficient de friction plus bas au démarrage d'un équipement. Ils sont compacts, extrêmement précis, ils s'usent moins vite que les coussinets et sont faciles à remplacer en vertu de leurs dimensions normalisées et des équipements disponibles.

Nous avons commencé par la méthode QQQQCP pour mieux incarner le problème ;

QUI ?	Paliers à roulement
QUOI ?	Endommagement et usure accentuée
OU ?	Partie roulements
QUAND ?	Corrosion, vibration intense
COMMENT ?	Charge très importante causée par des vibrations, corrosion ou un mauvais alignement
POURQUOI ?	Mauvaise gestion des 5 M

6.2 Application du diagramme ISHIKAWA :

Après avoir incarné le problème, il s'avère nécessaire de connaître toutes les causes de défaillance afin de mieux rédiger les actions correctives à mener.

Nous avons remarqué un mode de défaillance qui cause la destruction complète des roulements par la fatigue, ou, dans la plupart du temps, par des forces très importantes : corrosion, usure, etc.

Par ailleurs, le mauvais alignement des arbres peut engendrer une augmentation de charge de 20% sur le roulement pouvant ainsi diminuer sa durée de vie théorique de 50%.

Nous avons traduit tout cela dans un diagramme ISHIKAWA, présenté dans la figure 31, afin de visualiser toutes les causes de défaillance par catégorie.

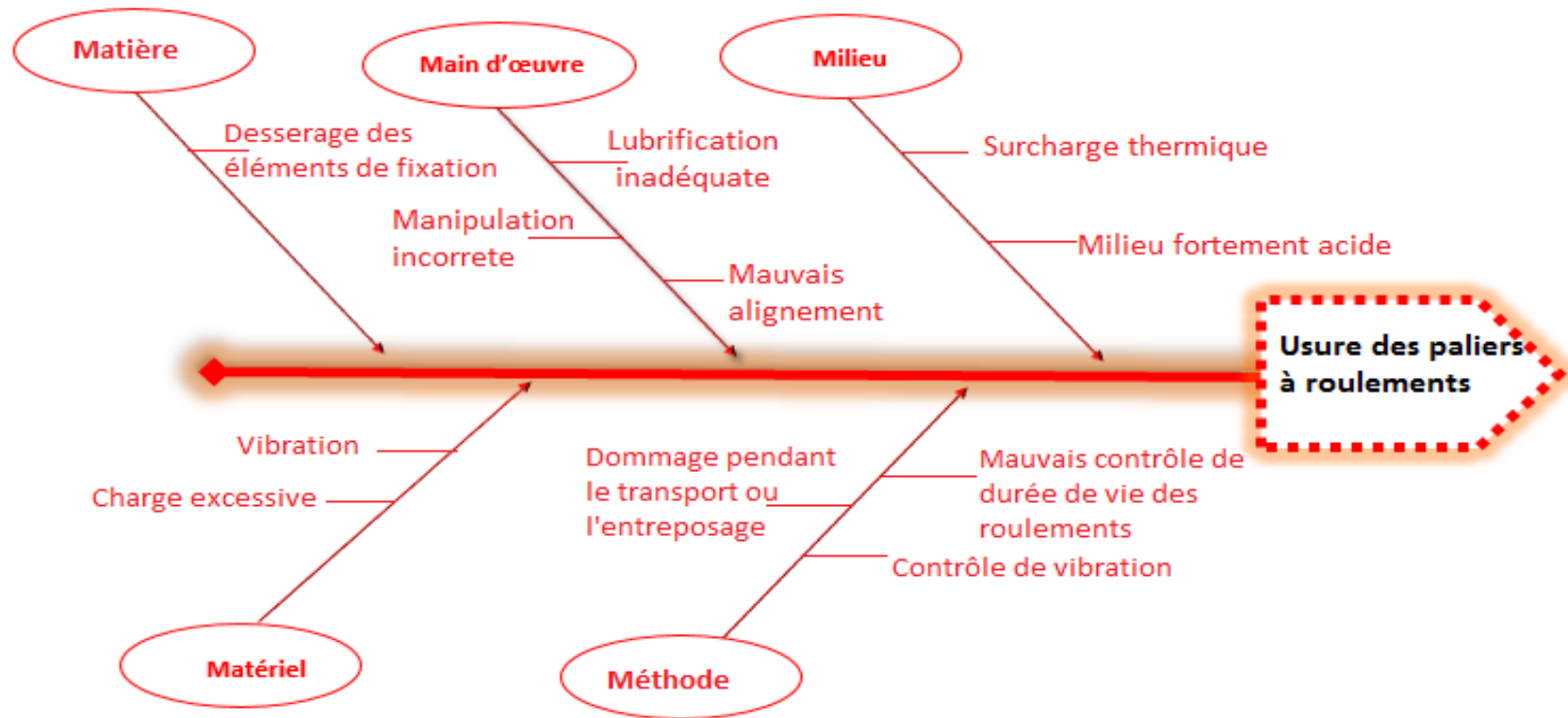


Figure 30: Méthode ISHIKAWA des pompes d'acide

III. Récapitulatif des résultats d'études

Nous avons prévu des actions correctives pour les équipements que nous avons jugés critiques par notre étude AMDEC et que nous n'avons pas inclus dans l'étude des causes de défaillance ISHIKAWA.

L'usure des bagues et des joints toriques et statiques est parmi les principaux modes de défaillance constatés, il faut donc :

- ➔ Remplacer les bagues d'usure périodiquement selon la fréquence mentionnée dans le tableau AMDEC ;
- ➔ Contrôler systématique ;
- ➔ Vérifier l'état vibratoire de l'impulseur qui peut diminuer la durée de vie des bagues ;

Concernant les paliers lisses ou à roulements, toutes les causes détectées influencent sur l'effet avec des degrés différentes ; le tableau 12 explique le degré d'impact de la cause sur l'effet.

Tableau 12: Impact relatif de chaque cause sur l'effet

Note	Impact sur l'effet
0	Sans effet
1	Négligeable
3	Notable
6	Majeur
9	Très élevé

Les causes qui auront un impact sur l'effet de 6 ou de 9 seront retenues pour développer leurs causes racines à l'aide de la méthode 5 POURQUOI ;

Nous avons fait appel au même groupe de travail pour noter les causes et identifier celles qui sont les plus critiques, cela a donné le résultat exprimé dans le tableau 13 pour les paliers lisses de la pompe HP d'eau d'alimentation, et le tableau 14 pour les paliers à roulements des pompes de circulation d'acide.

Tableau 13: Classification des causes de défaillance des paliers lisses de la pompe HP d'eau d'alimentation

5M	Causes	Impact sur l'effet
Milieu	Variation de la température du milieu	3
	Contamination	6
Main d'œuvre	Mauvais montage des éléments	3
	Sous lubrification	9
	Lubrification excessive	6
Matière	Viscosité d'huile	6
Méthode	Absence des gammes d'intervention	3
	Contrôle périodique non respecté	6
Matériel	Déséquilibre des éléments rotatifs	9
	Flexion de l'arbre	3

Nous avons remarqué que quelques éléments se répètent au niveau des deux types de paliers mais, il ne faut pas oublier que l'environnement de travail de chaque pompe est complètement différent.

Tableau 14 : Classification des causes de défaillance des paliers à roulements des pompes d'acide

5M	Causes	Impact sur l'effet
Milieu	Surcharge thermique	3
	Milieu fortement acide	3
Main d'œuvre	Lubrification inadéquate	3
	Mauvais alignement	6
	Manipulation incorrecte	3
Matière	Desserrage des éléments de fixation	6
Méthode	Mauvais contrôle de durée de vie des roulements	6
	Dommages pendant le transport ou l'entreposage	1
	Contrôle de vibration	1
Matériel	Vibration	9
	Charge excessive	6

Donc comme mentionné avant, nous avons retenu les causes qui ont un impact sur effet de 6 et de 9 afin de développer leurs causes racines à l'aide de la méthode 5POURQUOI, c'est sans doute l'outil le plus simple mais il est d'une efficacité élevée.

La méthode 5POURQUOI permet l'identification des causes racines d'un problème donné en posant plusieurs fois la question « pourquoi ». On retire une à une les couches de symptômes qui mènent aux causes racines.

Nous avons appliqué la méthode sur les causes que nous avons trouvées à travers la méthode ISHIKAWA afin de mettre en évidence les causes racines et décider les mesures à entreprendre.

Le tableau 15 illustre la première étude 5POURQUOI et met au clair les actions à entreprendre pour le problème des paliers à roulements des pompes de circulation d'acide.

Le tableau 16 met en évidence les actions à mener pour résoudre le problème de l'usure des paliers lisses de la pompes HP d'eau d'alimentation.

Tableau 15: Grille 5 pourquoi des paliers à roulements des pompes de circulation d'acide

Grille 5 POURQUOI						
Problème	Pourquoi ?	Pourquoi ?	Pourquoi ?	Pourquoi ?	Pourquoi ?	Contre-mesures
Usure des paliers à roulements des pompes verticales de circulation d'acide	Réduction de la durée de vie des roulements	Echauffement excessif	Dépassement de la limite de vitesse des roulements	Grande vitesse de démarrage	Procédure de rodage non respecté	Respecter la procédure standard de rodage
	Ecaillage	Ecaillage causé par des empreintes	Mauvais montage ou une surcharge			Améliorer la méthode du montage ;
	Charge excessive	Charge axiale et radiale combinées	Vibration	Mauvais montage ou bien mauvais choix du type de roulement		_ Vérifier l'application du roulement et les conditions de charge ; _ Améliorer la méthode de montage ;

Tableau 16 : Grille 5 pourquoi pour le problème des paliers lisses de la pompe HP d'eau d'alimentation

Grille 5 POURQUOI						
Problème	Pourquoi ?	Pourquoi ?	Pourquoi ?	Pourquoi ?	Pourquoi ?	Contre-mesures
Usure des paliers lisses de la pompe HP d'eau d'alimentation	Contamination	Contamination du lubrifiant par des éléments externes	Mauvais stockage du lubrifiant	Présence d'éléments corrosifs dans l'air		-Bien protéger le lubrifiant contre toute contamination ; -Analyser par échantillonnage le lubrifiant avant toute utilisation ;
	Jeu palier-boite	Mauvais alignement arbre-moteur	Usure des plots d'accouplement	Manque de contrôle périodique		-Respecter la périodicité du contrôle d'alignement ; -Réaligner après chaque démontage ; -Remplacer les plots d'accouplement ;
				Détérioration rapide et non prévue des plots et des bagues d'usures	Mauvais graissage	-Remplacer les bagues d'usure et les plots systématiquement ; -Contrôler le graissage ;
	Déséquilibre des éléments de rotation	Vibration excessive	Bouchage de la crépine d'aspiration	Présence des impuretés dans l'eau aspirée		-Contrôle de l'état de la crépine périodiquement
	Sous lubrification	L'huile s'échappe de la chambre	Espacement excessif du joint à labyrinthe	Vibration excessive		-Contrôle systématique de la vibration

IV. Conclusion

Dans ce chapitre nous avons formé une idée sur les actions que nous devons faire afin d'éviter tous les problèmes rencontrés dans l'atelier sulfurique, les paliers lisses et à roulements sont des éléments très importants et l'étude que nous avons menée est capable d'assurer un bon fonctionnement des paliers, de l'arbre et du rotor, vu que les paliers assurent le guidage et le maintien de l'ensemble (arbre, rotor),

Comme conclusion de cette étude il s'est avéré que les causes racines de toute défaillance des paliers sont reliées au problème de vibration, chose qui perturbe le bon fonctionnement des éléments rotatifs,

Parmi les causes aussi, nous avons jugé le non-respect de la périodicité de changement des pièces d'usure est très critique et nécessite une attention particulière, et aussi la détérioration rapide des joints statiques et toriques, des roulements et des pièces d'usure, chose que nous avons classée comme étant une conséquence d'une mauvaise lubrification ou d'un mauvais montage ou un problème d'alignement,

Nous allons se baser sur ces constats que nous avons obtenus de nos études AMDEC, ISHIKAWA et 5POURQUOI, pour rédiger notre plan de maintenance préventive tout en proposant des améliorations et des recommandations qui pourraient être utiles pendant la phase construction ou commissioning d'autres projets ODI.

Le plan de maintenance préventive figure parmi les annexes, annexe 3.



CHAPITRE 4 :Etude d'une amélioration technique de la pompe HP d'eau d'alimentation



CE CHAPITRE EST CONSACRE A L'ETUDE D'UNE AMELIORATION TECHNIQUE APPORTEE A LA POMPE HP D'EAU D'ALIMENTATION DE LA CHAUDIERE, ET UNE ETUDE SUCCINCTE TECHNICO-ECONOMIQUE

I. Introduction :

Pendant la phase démarrage ou bien le commissioning¹ du projet ODI/P1, nous avons assisté à un problème au niveau de la pompe HP d'eau d'alimentation de la chaudière.

Un coincement au niveau de la pompe était la cause de la destruction complète de cette dernière, comme conséquence, l'entreprise était obligée d'acheter une autre pompe.

Il est important de rappeler qu'une pompe de cette importance coûte environ 309 470\$, et cela est dû principalement à ses performances techniques et à son rôle critique; à savoir que c'est une pompe qui aspire l'eau désaérée de la bache alimentaire sous une pression de 1 bar et refoule vers la chaudière avec une pression qui atteint les 108 bars, en cas de manque d'eau dans la chaudière cela provoquera sans doute l'endommagement de cette dernière.

1. Problème étudié :

Au niveau de la conduite d'aspiration de la pompe HP d'eau d'alimentation, nous avons rencontré un problème qui a causé le coincement de la pompe et par la suite l'endommagement totale de cette dernière ; la cause première est l'augmentation en température de la pompe, cela peut être expliqué de plusieurs façons :

- La vanne d'aspiration était fermée alors que la pompe est en marche, chose qui a provoqué une dépression au niveau de la conduite d'aspiration, et une cavitation due au fait que l'eau n'occupe pas entièrement l'espace disponible à l'intérieur de la pompe ;
- La pompe a démarré sans que les deux pompes à l'huile ne soient en marche, un manque de lubrification des paliers lisses a entraîné l'échauffement des coussinets et par la suite le coincement de l'arbre ;

2. Solution proposée :

Nous avons pensé afin d'éliminer tout risque pouvant infecter la pompe HP d'eau d'alimentation, à installer un pressostat comme étant un dispositif détectant le dépassement d'une valeur prédéterminée de la pression d'un fluide, dans la conduite aspiration de la pompe ; Le pressostat va assurer la fonction d'arrêt automatique de la pompe afin d'éviter l'endommagement de cette dernière ;

¹ Le commissioning : concept assez courant aux Etats-Unis notamment, commence à se développer en France et vient d'apparaître au Maroc ; c'est un processus intensif d'assurance de la qualité. Il s'étend sur toute la durée des étapes de la programmation, la conception, la construction et la mise en service, y compris la première année de service, Il aide à garantir que le rendement du bâtiment répond aux attentes du propriétaire en termes de fonctionnement

Pour assurer une bonne sécurité, et éviter que la pompe démarre lorsque la vanne manuelle est fermée, nous avons suggéré l'ajout des capteurs fin de course pour la vanne V402-300 ; les deux capteurs fin de course et le pressostat vont être reliés à l'interlock² de la pompe pour s'assurer que la vanne est ouverte avant chaque démarrage de la pompe ;

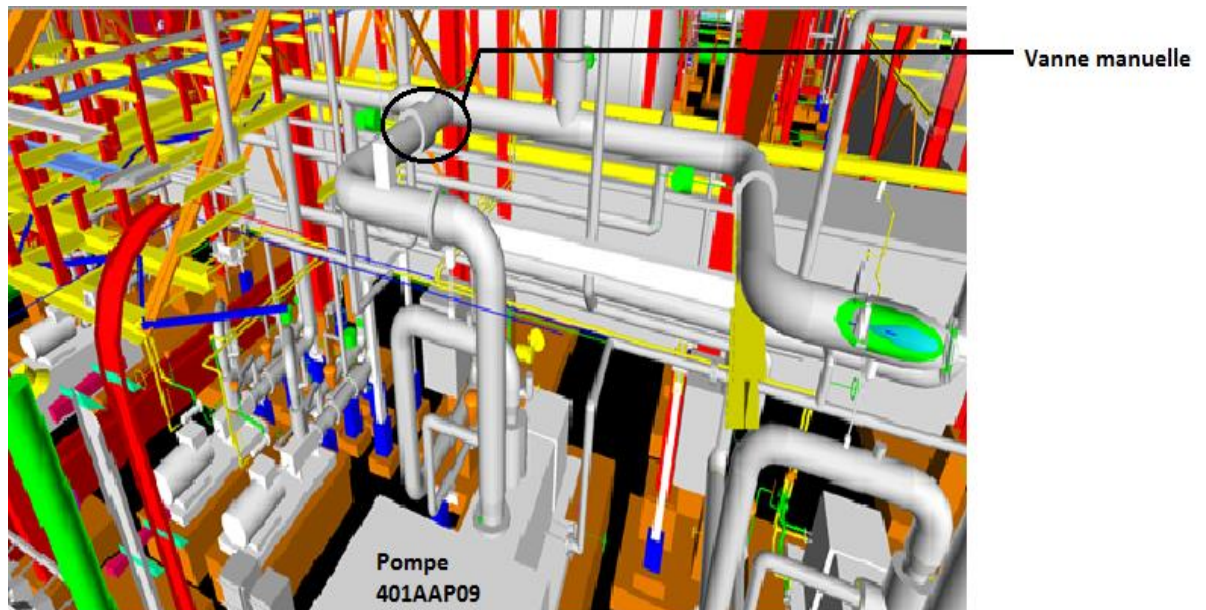


Figure 31: La conduite d'aspiration de la pompe HP d'eau d'alimentation de la chaudière

Pour le pressostat, nous avons prévu de l'ajouter dans la partie verticale de la conduite d'aspiration reliée directement à la pompe.

II. Outils de commande de la pompe HP d'eau d'alimentation de la chaudière

1. Le logiciel utilisé :

L'atelier sulfurique possède une salle de contrôle qui gère toute l'installation ; CENTUM VP est désormais l'outil qu'utilise le département.

CENTUM VP est le dernier système de contrôle de la production intégrée de YOKOGAWA, aussi connu comme un système de contrôle distribué (DCS : Distributed Control System). CENTUM VP dispose d'une interface homme-machine plus intuitive, et des stations de contrôle sur le terrain plus puissantes capables de données des traitements plus rapides et plus fiables.

2. Solution sous forme de GRAFCET et adaptation au logiciel CENTUM VP

La pompe HP d'eau d'alimentation de la chaudière contient plusieurs interlocks qui assurent la sécurité de la pompe tout au long de son fonctionnement.

Ces interlocks sont responsables d'une part de l'arrêt et marche de la pompe suivant des indications et des capteurs bien précis.

² Interlock : dispositif utilisé pour empêcher les états indésirables dans une machine, qui, dans un sens général peut comprendre tout dispositif ou système électrique, électronique ou mécanique.

Notre mission était de renforcer la sécurité de la pompe et d'essayer d'éviter tout endommagement de cette dernière.

Nous avons expliqué le résultat sous forme grafcet pour mieux comprendre la solution.

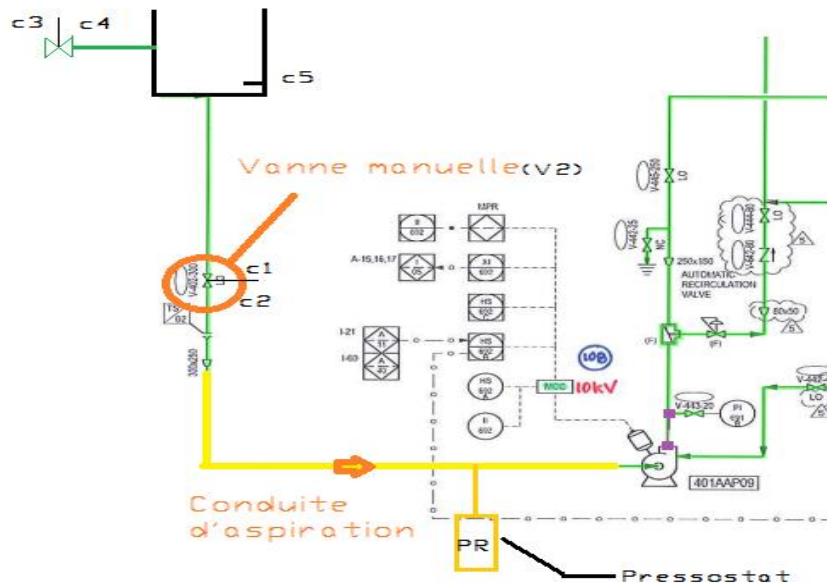


Figure 32: Schématisation de la solution à l'aide du PID

Les actions :

- **AP** : Arrêt pompe
- **MP** : Marche pompe
- **V+** : Ouverture Vanne V1 qui précède la bache alimentaire

Les capteurs :

- **C1** : Vanne V2 ouverte
- **C2** : Vanne V2 fermée
- **C3** : Vanne V1 ouverte
- **C4** : Vanne V1 fermée
- **C5** : Niveau très bas
- **Pr=1** : Pressostat indique une valeur 1 bar
- **Pr<1** : Pressostat indique une valeur 1 bar

La pompe démarre lorsqu'on a un départ cycle, et que le niveau de la bache alimentaire est suffisant et le pressostat indique une valeur égale à 1 bar ;

La pompe s'arrête dans deux cas :

- Si le pressostat indique une valeur de pression inférieure à 1 bar ;
- Si la vanne manuelle qui précède la conduite d'aspiration est fermée, la chose que nous pouvons constater depuis si le capteur fin de course bas est actionnée.

Dans le cas où le niveau de la bache alimentaire est inférieur au niveau limite, la vanne manuelle qui précède la bache doit s'ouvrir pour éviter un problème de cavitation au niveau de la pompe.

La figure 36 illustre la solution proposée sous forme de GRAFCET.

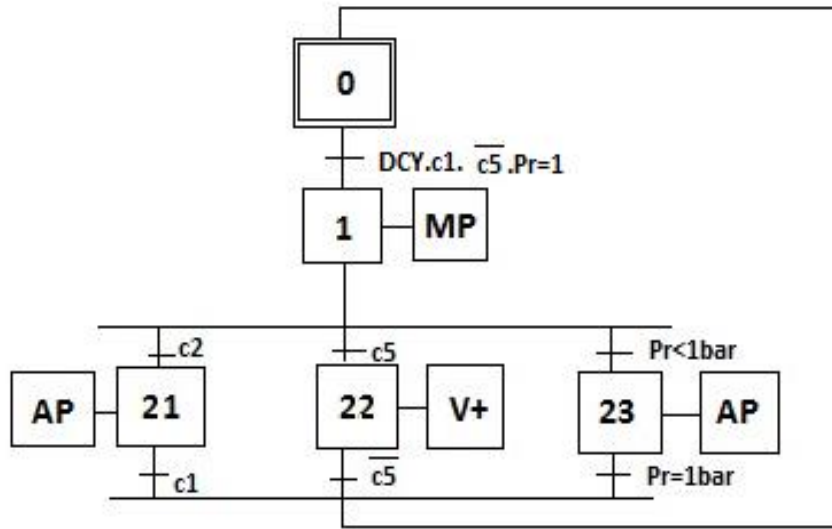


Figure 33: Première solution sous forme GRAFCET

Ce qui nous intéresse sont les conditions d'arrêt de la pompe, nous allons les ajouter aux interlocks déjà existants pour assurer la sécurité de la pompe.

La figure 37, présente les interlocks de la pompe qui existent déjà, nous avons travaillé à ajouter les deux autres interlocks qui assurent l'arrêt de la pompe.

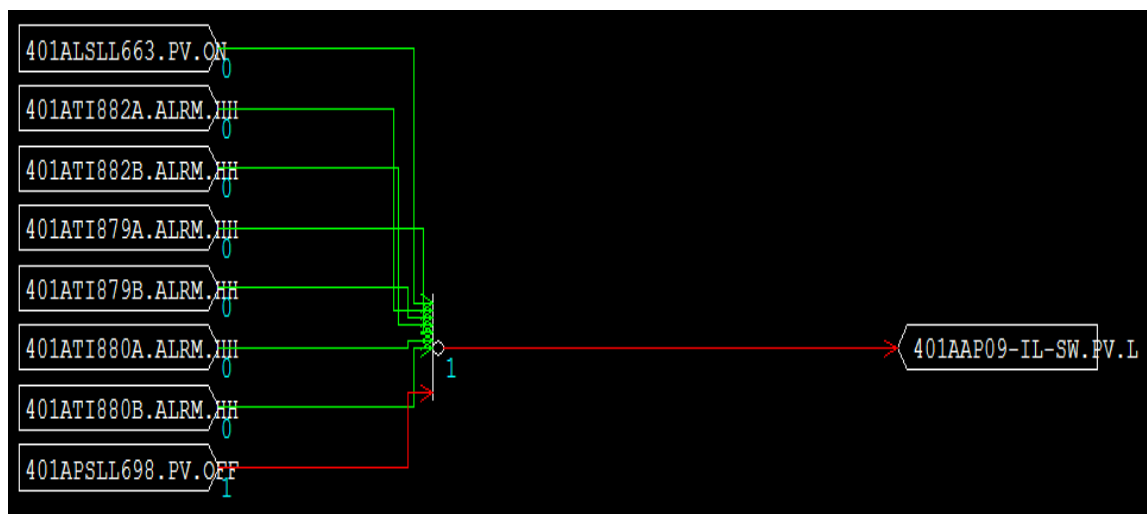


Figure 34: Les interlocks liés à la pompe HP d'eau d'alimentation de la chaudière

Ces interlocks reflètent les capteurs qui sont liés à la pompe 401AAP09.

La pompe est reliée à des capteurs de température pour les paliers lisses, et à des capteurs de vibrations, et après chaque démontage, on refait le test d'alignement.

Le test de vibration et d'alignement est en Annexe 4 ;

Comme résultat, nous avons ajouté les deux conditions d'arrêt de la pompe aux interlocks ; A savoir, la fin de course qui indique la fermeture de la vanne manuelle de la conduite d'aspiration et le pressostat qui exprime une dépression au niveau de la conduite.

Nous avons travaillé avec le DCS pour ajouter les deux conditions d'arrêt aux interlocks, et ils ont répondu volontiers ;

Si un seul capteur des interlocks ne fonctionne pas, ou bien envoie une alarme, la pompe s'arrête automatiquement ; la simulation a donné le résultat de la figure 36.

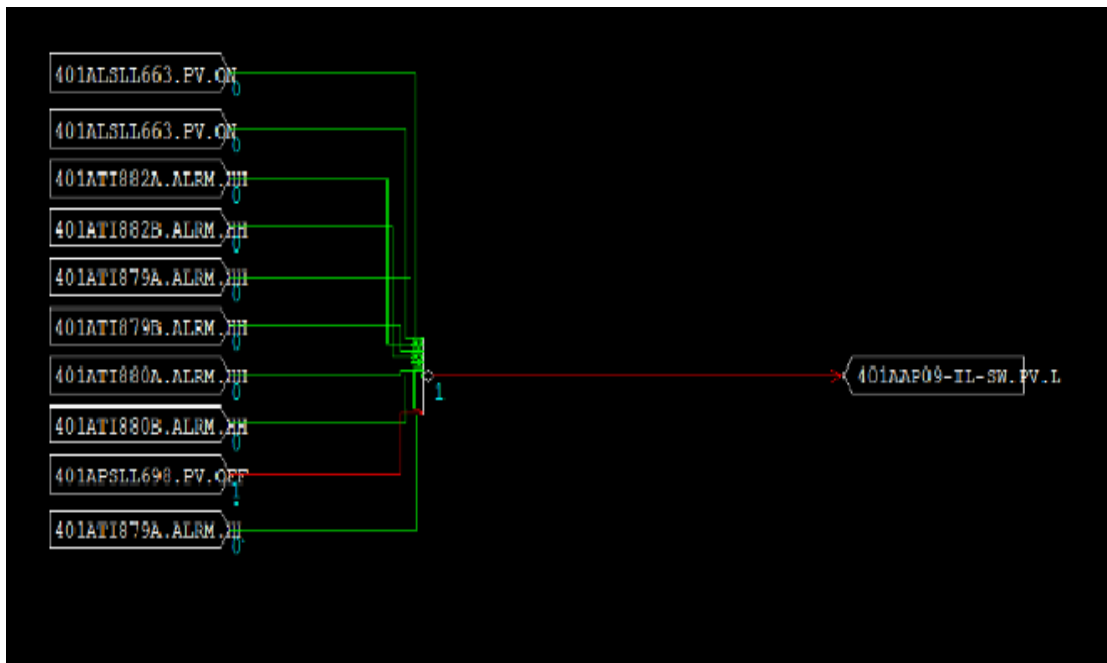


Figure 35: Interlocks de la pompe HP après modifications

Donc au lieu d'avoir 8 interlocks capables d'arrêter la pompe au cas d'un danger, nous avons ajouté 2 autres conditions pour que le nombre d'interlocks de la pompe monte à 10, et assurer ainsi la sécurité complète de la pompe.

III- Etude technico économique

Vu que la production ne s'est pas encore stabilisée au niveau du projet ODI P1/ SAP, nous allons se baser sur l'étude menée par le bureau d'études Américain JACOBS, la capacité de production des ateliers est la suivante :

- DAP : **1.000.000 T/an**
- phosphorique : **450.000 T P₂O₅/an**
- sulfurique avec HR : **4200 TMH/J**
- centrale de capacité : **66 MWH**

L'atelier sulfurique se compose d'une seule ligne conçue à fabriquer l'acide sulfurique à 98.5% (4200 TMH/J) et de la vapeur à haute pression (60bars) (218T/H) destinée principalement pour la fabrication d'acide phosphorique et l'énergie électrique.

- ➔ Le gain net d'une tonne d'acide phosphorique est de 600\$
- ➔ Le gain net d'une tonne d'engrais est de 570\$

Il arrive des fois, où l'OCP décide de vendre de l'acide sulfurique, mais ce n'est pas une production régulière cela coûte 70\$ comme gain net d'une tonne d'acide ;

Si on calcule le gain en termes d'argent nous aurons :

$$\begin{array}{ll} 100.000 \text{ T/an} & \text{---}\rightarrow 114 \text{ T/H} \\ 1\text{T} & \text{---}\rightarrow 570 \$ \\ 114\text{T} & \text{---}\rightarrow 65.068 \$/\text{H} \end{array}$$

Avec chaque heure de production, la société gagne l'équivalent de 65.068 \$, ce qui veut dire qu'un arrêt de production d'une heure va faire perdre la société une quantité d'argent de 65.068 \$

A retenir que la chose particulière dans le projet ODI, est que chaque atelier est le fournisseur de l'atelier qui le suit, ce qui veut dire que chaque atelier dépend de l'atelier précédent ; la chose que nous pouvons conclure, est que l'arrêt de production dans un atelier a des conséquences directes sur le taux de production des autres ateliers.

Conclusion générale

Au terme de ce travail, une brève rétrospective dressant le bilan des tâches effectuées s'avère indispensable.

Dans le cadre de notre projet de fin d'études, on était amené à réaliser un plan de maintenance préventive de la nouvelle unité de production d'acide sulfurique du projet ODI/P1, pour ce faire nous avons articulé notre projet sous forme de plusieurs chapitres.

Au début nous avons commencé par une étude de l'existant, ce qui nous a permis d'identifier les équipements critiques en s'appuyant sur la méthode PIEU et sur le retour d'expérience.

Ensuite, nous avons entamé une analyse AMDEC pour mettre en œuvre les modes et les causes de défaillance, après une étude 5 pourquoi s'est imposée afin de se focaliser sur les causes racines.

Enfin, nous avons fixé des actions d'éradication afin de lutter contre l'apparition des causes racines identifiées au préalable.

Les résultats de ce travail sont multiples, d'abord nous avons mis en évidence les sources de problème concernant les pompes centrifuges de l'atelier sulfurique, cela nous a aidé à éviter plus de 30 heures d'arrêt que causent les pompes. Sachant qu'un arrêt de production coûte à l'entreprise l'équivalent d'environ 65.068 \$.

Nous avons eu la chance d'assister au démarrage du projet P1 avec l'équipes de commissioning, cela nous a permis d'identifier d'autres problèmes qui peuvent apparaître pendant la phase de rodage de l'usine. Nous avons choisi de travailler sur un problème lié à la pompe HP d'eau d'alimentation afin d'optimiser son fonctionnement et éviter son arrêt.

Nous avons proposé une solution qui est capable d'éviter l'endommagement complet de la pompe, avec l'ajout des capteurs fin de course pour la vanne et l'ajout aussi d'un pressostat.

Ce projet de fin d'études s'est avéré être un complément riche à la formation dont nous avons bénéficié. Avec l'aide du personnel, j'ai pu enrichir mes connaissances techniques concernant différents équipements et procédés industriels. Durant cette période de stage, j'ai pu remarquer également un développement en termes de capacité d'adaptation personnelle et de compétences relationnelles, chose indispensable dans le domaine du travail et de l'industrie.

Bibliographie

- PERRIRA, William charles, « Amélioration de la maintenance aux industries chimiques », 190 pages
- PASCAL, Vrignat « génération d'indicateurs de maintenance par une approche semi-paramétrique et une approche markovienne », 80 pages
- AFNOR, maintenance industrielle-Fonction maintenance, FD X60-000 ,Mai,2002
- MONCHY F, David, « La fonction maintenance : formation à la gestion de maintenance industrielle » collection technologies de l'université à l'industrie, MASSON, 1991.
- DESPUJOLOS, Marc, « Approche fonctionnelle de la maintenance », techniques de l'ingénieur, MT 9 020,2004
- CHIN, Wole, « Emerging instrumentation trends and impact of plant asset management »,61st Instrumentation symposium of the process Industries, Texas A&M University, college station, Texas,2006
- CHAFI Anas, « Concept de maintenance »,Maroc 2014

Webographie

- LWIS Arnaud, www.qualiteonline.com/Christian
- COUDRE, www.tpmattitude.fr/methodes.html
- NICOLAS Jouve, <http://www.savinobarbera.com/>
- SAVINO Barbera, <http://www.azprocede.fr/>



Liste des annexes

ANNEXE 1 : PLAN DE COUPE DES POMPES DE CIRCULATION D'ACIDE 401AAP01/AKP01 ET 401AAP02/AKP02	82
ANNEXE 2 : PLAN DE COUPE DE LA POMPE HP D'EAU D'ALIMENTATION DE LA CHAUDIERE 401AAP09/AKP09.....	83
ANNEXE 3 : PLAN DE MAINTENANCE PREVENTIVE DES POMPES DE L'ATELIER SULFURIQUE DU PROJET ODI/P1...	84
ANNEXE 4 : TEST DE VIBRATION ET D'ALIGNEMENT DE LA POMPE HP D'EAU D'ALIMENTATION 401AAP09	85



ANNEXES

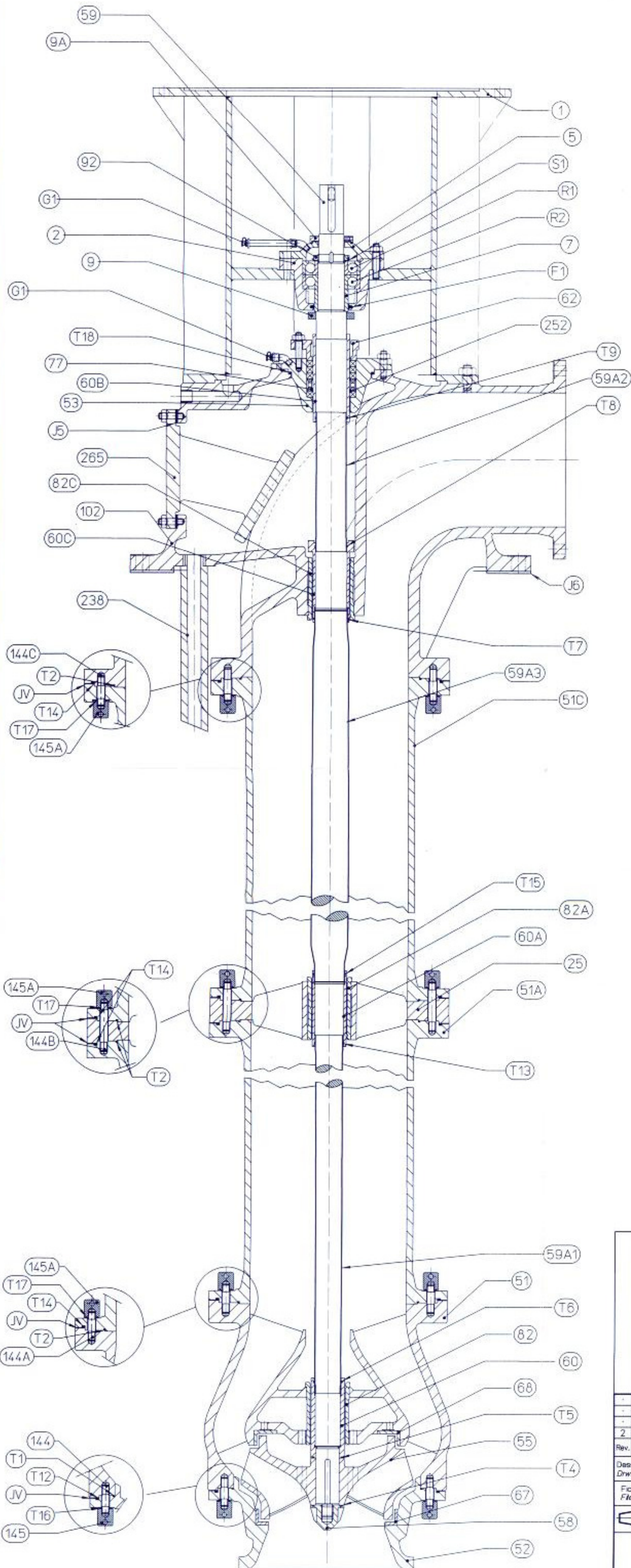


**ANNEXE 1 : PLAN DE COUPE DES POMPES DE
CIRCULATION D'ACIDE 401AAP01/AKP01 et
401AAP02/AKP02**

ANNEXE 2 : PLAN DE COUPE DE LA POMPE HP D'EAU D'ALIMENTATION DE LA CHAUDIERE 401AAP09/AKP09

ANNEXE 3 : PLAN DE MAINTENANCE PREVENTIVE DES POMPES DE L'ATELIER SULFURIQUE DU PROJET ODI/P1

ANNEXE 4 : TEST DE VIBRATION ET D'ALIGNEMENT DE LA POMPE HP D'EAU D'ALIMENTATION 401AAP09



Inlet screen or suction strainer
not included

PART	DESIGNATION	
1	MOTOR SUPPORT FRAME	STEEL S137.2
2	BEARING HOUSING	CAST IRON FT25
5	BEARING HOUSING COVER	CAST IRON FT25
7	SETTING RING	STEEL CK 35
9	DEFLECTOR DISK	S.S 18-10-2.5 LOW CARBON
9A	DEFLECTOR DISK	SS 18-10-2.5 LOW CARBON
25	INTERMEDIATE BEARING	ACID PROOF CAST IRON CB3
51	COLLECTOR	ACID PROOF CAST IRON CB3
51A	LOWER DISCHARGE PIPE	ACID PROOF CAST IRON CB3
51C	UPPER DISCHARGE PIPE	ACID PROOF CAST IRON CB3
52	SUCTION COVER	ACID PROOF CAST IRON CB3
53	STUFFING BOX	ACID PROOF CAST IRON CB3
55	IMPELLER	S.S 14-40-5-5 CAST
58	IMPELLER LOCK NUT	S.S 14-40-5-5 CAST
59	SHAFT	DUPLEX S.S 22-6-3
59A1	SHAFT SHEATING	TEFLON
59A2	SHAFT SHEATING	TEFLON
59A3	SHAFT SHEATING	TEFLON
60	SHAFT SLEEVE	S.S 14-40-5-5 CAST
60A	SHAFT SLEEVE	S.S 14-40-5-5 CAST
60B	SHAFT SLEEVE	S.S 20-25-4--CU
60C	SHAFT SLEEVE	S.S 14-40-5-5 CAST
62	GLAND	S.S 28-5-2-CU
67	CASING WEAR RING SUCTION SIDE	S.S 14-40-5-5 CAST
68	CASING WEAR RING BACK SIDE	S.S 14-40-5-5 CAST
77	LANTERN RING	GLASS TEFLON
82	BUSH BEARING	FERRO-SILICIUM
82A	BUSH BEARING	FERRO-SILICIUM
82C	BUSH BEARING	FERRO-SILICIUM
92	BEARING LOCK NUT	SKF
102	SUMP HEAD	ACID PROOF CAST IRON CB3
144	STUD-BOLT	S.S 22-6-3
144A	STUD-BOLT	S.S 22-6-3
144B	STUD-BOLT	S.S 22-6-3
144C	STUD-BOLT	S.S 22-6-3
145	BLIND NUT	S.S 22-6-3
145A	BLIND NUT	S.S 22-6-3
238	RELIEF PIPE	S.S 22-6-3
252	PACKING RINGS	PTFE + GRAPHIT
265	INSPECTION COVER	ACID PROOF CAST IRON CB3
R1	BEARING 7317BECB	SKF
R2	BEARING 7317BECB	SKF
S1	SAFETY WASHER	
F1	FELT	FELT
J5	GASKET	PTFE + SILICATE
J6	GASKET	PTFE GORE TEX 1ø1280xø1210x51
JV	VANATEX TAPE GASKET	PTFE
T1	O-RING	VITON
T2	O-RING	VITON
T4	O-RING	VITON
T5	O-RING	VITON
T6	O-RING	VITON
T7	O-RING	VITON
T8	O-RING	VITON
T9	O-RING	VITON
T12	O-RING	VITON
T13	O-RING	VITON
T14	O-RING	VITON
T15	O-RING	VITON
T16	O-RING	VITON
T17	O-RING	VITON
T18	O-RING	VITON
G1	GREASE	S.S 18-8 LOW CARBON

Project No.	Q3600xxx	Item No.	401AAP01
P.O. No.	PCAP-424-J/11		401A-P01
GRADE		DATE	CHK
A.	Comments as indicated, revise and resubmit, work may proceed subject to incorporation of changes as indicated.		
B.	Comments as indicated, revise and resubmit, work may not proceed.		
C.	Retained for information, work may proceed.		
✓	Final Certified, work may proceed.	22-11	22-11
*Permission to proceed does not constitute acceptance of design detail calculations, analysis test methods or materials developed or selected by the vendor / contractor, and does not relieve the vendor / contractor from full compliance with contractual obligations. JACOBS ENGINEERING INDIA PRIVATE LIMITED			

CUSTOMER: OCP, MOROCCO
 PROJECT: SAP, ODI AT P1 SITE
 PROJECT Nr: Q3600xxx
 PROJECT SITE: JORF, LASFAR, MOROCCO
 PO Nr: PCAP-424-J/11
 UNIT DESCRIPTION: DRYING TOWER ACID CIRCULATING PUMP
 UNIT TAG Nr: 401AAP01, 401A-P01
 QUANTITY: 02 Nos

2	As per comments				
Rev.		Description de la révision			
		Description of the revision			
Dess.	mbs	Vent.	mbs	Date	22/11/2011
Drw.		Check.			
Fiche					
Fto.					
Format	A2	Echelle			
Scale					
Type Pompe/Pump Type: VAS400-54					
PLAN DE COUPE ET NOMENCLATURE					
Désignation: SEC221101834-40					
Fabrication	Repère / Item	Plan:	1115397	Rev.	2
E221101834-40	ODI: 401AAP01	401A-P01	Drawing		
De plan est la propriété de la société "ENSIVAL MORET". Il ne peut être communiqué ou cédé à quiconque en original ou en copie, et ne peut servir à un autre usage que celui pour lequel il vous est transmis. This drawing is the property of "ENSIVAL MORET". Copying of this document and giving it to other are forbidden.					

ENSIVAL-MORET



FIELD ALIGNMENT CERTIFICATE

CLIENTE OCP - JACOBS

Planta: JORF LASFAR

UNIT

ODI - P1/SAP

Unit Type / Manufacturer

4-WDXE-3F

Driver Type / Manufacturer

ABB

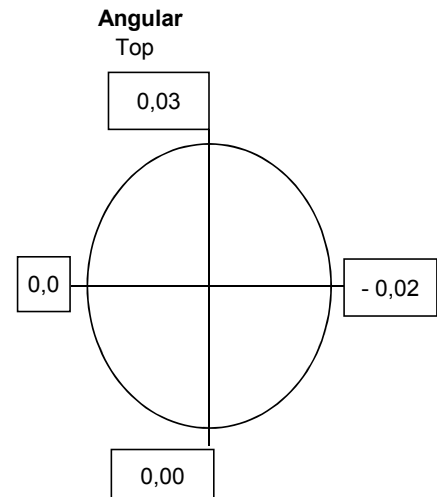
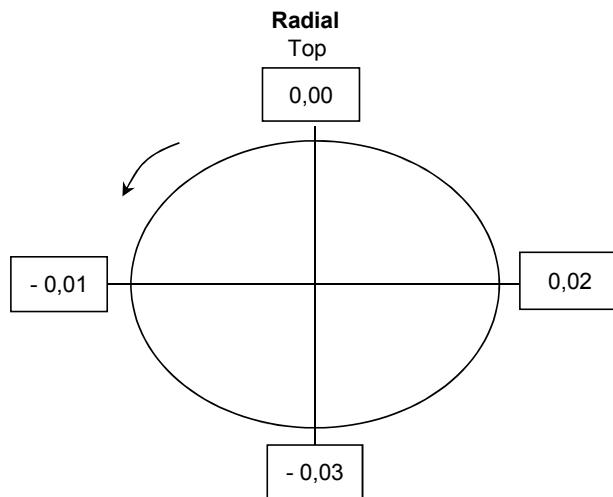
401 AAP 09

Coupling Type / Manufacturer

FLOWSERVE

Maximum permisAngular 0,05 in / mm

MisalignmentRadial 0,075 in / mm



Readings *

Lectures

Pipe work *

Tuber

Unit / Driver *

Accionamiento

Foundations *

Satisfactory

Imperial

Bolted

Cold

Yes

☐☒☒☒☒☐☐☐

D.B.S.E

Dist. Acoplamiento

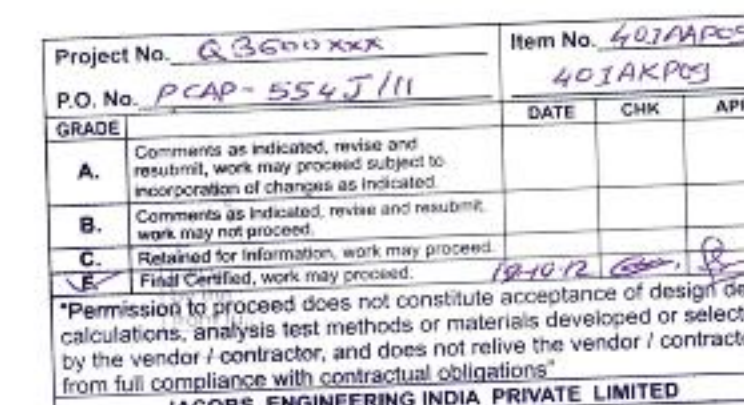
180 mm

Comments

Service Engendered:

IVÁN FERNÁNDEZ PRENDES

Client Representative (Print / Sign)



P.O. NUMBER: PCAP-554J/11	FLOW: 365M3/
END USER: MAROC PHOSPHORE	HEAD: 868m
JOB: JORF LASFAR	RHP: 1022 KY
PLANT: MOROCCO P1 SITE	EFFICIENCY: 80,30%
UNIT: (8) 6X14 WXH-6	RPM: 2985rpm
SERVICE: HP BOILER FEED WATER PUMP	FLUID: FEED WATER
ITEM: 401AOP90 / 401AKP09	TEMPERATURE: 110°
SERIAL No.: M-151628 / 633, 636 / 637	S.G.: 0,95

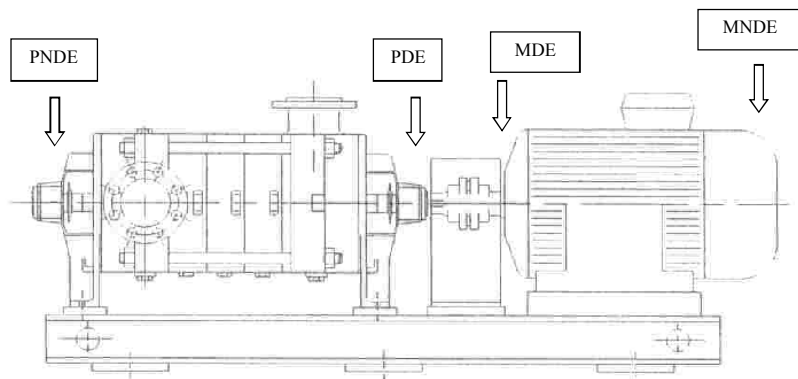
STATUS OF APPROVAL		CUSTOMER INFORMATION		OPERATING CONDITION	
ORDER No. COS-12-10P40261A		 Cosloda Operations			
DRAWN BY JG		DATE 01/06/12		DWG TITLE	
CHECKED BY OAN		DATE 01/06/12		SECTIONAL DRAWING	
APPROVED BY OAN		DATE 08/06/12		JORF LASFAR 6x14WXH-6	
CAD FILENAME: 100061A-1000		SIZE A1		DRAWING NO. 6x14WXH500XE172	
		SCALE N.T.S.		REV. B	
		UNITS mm		SHEET NO. 1/1	

PLAN DE MAINTENANCE PREVENTIVE DES POMPES CRITIQUES DE L'ATELIER SAP

[illegible]

MONITORIZACIÓN DE VIBRACIONES

CLIENT	PLANT	SUPERVISOR
OCP - JACOBS	JORF LASFAR. ODI-P1/SAP	IVÁN FERNÁNDEZ PRENDES



EQUIPMENT	TYPE		LUBRICANT
Bomba	4 - WDXE -3F		GREASE
Motor	ABB		GREASE

[illegible]

COMENTARIOS

ALL THE READINGS ARE TAKED MANUALLY

Résumé

ODI est un projet étudié par le bureau d'études Américains JACOBS, dans le but de l'implanter au Maroc, une coentreprise entre l'OCP et le bureau d'études a donné naissance à JESA qui est désormais l'organisme d'accueil.

Ce rapport contient le fruit d'un travail de 4 mois au sein de l'entreprise JESA, notre mission pendant cette période était de réaliser un plan de maintenance préventive de la nouvelle unité de production d'acide sulfurique qui fait partie du projet ODI/P1.

Le projet ODI a une particularité bien précise vu que chaque atelier dépend de l'atelier qui le précède, ce qui veut dire que chaque arrêt de production dans n'importe qu'elle étape du processus va influencer directement sur les autres ateliers et par la suite sur le taux de production des engrais.

La sûreté de fonctionnement de l'appareil de production (absence de dysfonctionnement : Le « zéro-panne », le « zéro-défaillance ») devient alors une source importante de gains de productivité.

Dans un premier temps nous avons fixé notre repère d'étude en menant une étude détaillée de l'existant, nous avons choisi par la suite les équipements qui posent problème et qui ont une influence directe sur la production ; l'étape d'après était de trouver par multiples analyses les causes racines et proposer par la suite les actions d'amélioration et des recommandations ; et à la fin nous avons mis en œuvre notre plan de maintenance préventive.

Mots clés : Pompe de circulation d'acide, pompe HP d'eau d'alimentation de la chaudière, Commissioning, Maintenance préventive, atelier sulfurique.