



PROJET DE FIN D'ETUDES

Pour l'Obtention du :

Diplôme d'Ingénieur d'Etat

Spécialité : **Conception Mécanique et Innovation**

Élaboration d'un plan de maintenance préventive et un tableau de bord de la performance industrielle d'une nouvelle unité de production d'acide sulfurique au sein du complexe chimique Jorf Lasfar / OCP

Effectué au sein du JACOBS ENGINEERING S.A
Service Construction

Soutenu le 30 Juin 2015

Par :

Mlle. BERRADA CHAIMAE

Jury:

Encadré par :

Pr. Mr. ABOUCHITA (FSTF)
Pr. Mr. BIYAALI (FSTF)
Pr. Mr. M. EL MAJDOUBI (FSTF)
Mr. AKARKARI MIMOUN (JACOBS)

- Pr. Mr. J. ABOUCHITA (FSTF)
- M. A. NADIF (JACOBS)

Année Universitaire : 2014-2015

Dédicaces

❁ **À la mémoire de mon cher père,**

Aucune dédicace ne saurait exprimer l'amour, l'estime, le dévouement et le respect que j'ai toujours eu pour vous, je vous dédie aujourd'hui ma réussite. Que Dieu, le miséricordieux, vous accueille dans son éternel paradis.

❁ **A ma chère mère,**

Tout ce que je peux t'offrir ne pourra exprimer l'amour et la reconnaissance que je porte, en témoignage, je t'offre ce modeste travail pour te remercier pour tes sacrifices et pour l'affection dont tu m'as toujours entourée.

❁ **À ma chère sœur, mes chers frères. Et mes belles-sœurs**

Vraiment je vous remercie pour tout le soutien et l'amour que vous me portez depuis mon enfance, j'avais de la chance d'être votre petite sœur, je vous offre ce modeste travail en témoignage de tous les sacrifices, l'immense tendresse et l'encouragement dont vous m'avez toujours su me combler, Je vous aime.

❁ **A mes chère(s) nièces et neveux :**

Ahmed, Moetaz, Doha, Zineb, Adnane, Mohammed, Nour, Haytam, et Houda

Aucun mot ne saurait exprimer tout l'amour que j'ai pour vous, Votre joie et votre gaieté me comblent de bonheur. Puisse Dieu vous garder, éclairer votre vie et vous aider à réaliser à votre tour vos vœux les plus chers.

❁ **A mes cher(e)s ami(e)s:**

En témoignage de ma sincère amitié, Je vous remercie pour votre soutien et encouragement ainsi pour votre sincère amour que j'ai senti profondément depuis toujours.

❁ **A Khadija et Mimoun,**

Avec qui j'ai partagé des moments spéciaux et gravés dans la mémoire durant mon stage. C'était un honneur de vous connaître. Merci pour votre amour et confiance, votre aide précieuse et votre encouragement.

A toutes les personnes qui m'ont toujours aimée, supportée, conseillée, poussée à m'améliorer, dont le mérite, les sacrifices et les qualités humaines, on fait de moi ce que je suis aujourd'hui et m'ont permis de vivre ce jour, merci pour vous tous !

Chaimae Berrada

Remerciements

*D'abord je profite de cette occasion pour adresser mes sincères remerciements au corps administratif de la faculté des sciences et techniques à Fès, à **M. El Berkany Abdellah**, responsable de la filière conception mécanique et innovation, et tout le corps professoral de notre filière, pour leur gestion sage et les bonnes conditions d'études qu'ils nous ont procurées.*

*Je tiens également à remercier vivement **M. Jalil Abouchita**, l'encadrant pédagogique du stage. Il m'a fait bénéficier de ses conseils et ses compétences, soulignant ainsi l'intérêt qu'il porte à mes travaux. Je le remercie pour m'avoir encadré tout au long de mon projet.*

*Je ne trouve pas les mots pour exprimer ma gratitude envers **M. El Ouriachi Abdelkrim**, pour sa confiance qui m'a permis d'effectuer mon projet de fin d'étude au sein de Jacobs Engineering. Ainsi son aide précieuse et ses encouragements ont permis à ce travail d'aboutir.*

*Je tiens à remercier **M. Nadif Abdelkrim**, mon encadrant de stage pour son intérêt qu'il porte à mes travaux, Faire mon projet sous sa direction était pour moi un grand honneur et un immense bonheur. La liberté qu'il m'a accordée et les responsabilités qu'il m'a confiées ont beaucoup contribué à la formation de ma personnalité et à mon autonomie de travail.*

*Je dois aussi une grande partie de mon travail à **M. Mimoun Akarkari**, et **M. Hicham Belmaati** pour leurs conseils m'ont aidé à surmonter beaucoup de difficultés. Je les remercie chaleureusement pour leur pédagogie, leur patience, leur disponibilité et leur dévouement.*

Mes remerciements vont aussi à tout le personnel de Jacobs engineering S.A pour leur disponibilité, leur sympathie, et pour l'ambiance amicale qui règne au sein du projet.

Je remercie sincèrement le personnel de Pakistan Phosphore / OCP pour leur aide et leur disponibilité à tout moment.

Résumé

Dans le cadre d'augmentation de la production, le groupe OCP a lancé des travaux de construction des nouvelles usines avec une conception améliorée, et pour assurer la disponibilité des équipements de l'unité sulfurique vue son importance dans le cursus de la production des engrais, l'élaboration d'un plan de maintenance préventive de ces derniers apparaît nécessaire.

A cet effet, Jacobs nous a confié l'élaboration de ce plan de maintenance comme un projet de fin d'études. Pour cela, nous avons adopté notre sujet suivant une démarche professionnelle accordée à un projet dans le but d'atteindre des objectifs visés par les responsables du Jacobs en terme de qualité, de délai, et du respect des différentes exigences du cahier de charge.

Ce projet de fin d'étude a pour objectif l'étude et l'élaboration d'un plan de maintenance préventive des équipements critiques de l'unité de production de l'acide sulfurique à l'OCP Jorf Lasfar, (ODI/P1). Pour ce faire, il nous est demandé de :

- ✓ Classer les équipements à vérifier selon leur priorité
- ✓ Etudier d'une façon détaillée le fonctionnement de ces équipements
- ✓ Faire une analyse des défaillances, causes, effets. Et retirer des actions d'éradication
- ✓ Etablir un plan de maintenance préventive avec définition des gammes/ fréquences d'interventions ;

Abstract

In the context of increased production, the group OCP has launched the construction of new plants with an improved design, and to ensure the availability of the sulfuric unit's equipment given its importance in the chain of production of fertilizers, the elaboration of a preventive maintenance plan for this one appears necessary.

For that purpose, JACOBS confided us the elaboration of this plan as subject of the End of Studies Project. For that purpose, we adopted an approach of a professional project with the aim of reaching the goals aimed by the persons in charge of the JACOBS in terms of quality, of deadline and the respect for the various requirements of the exercise book of loads.

The goal of this project is to elaborate preventive maintenance plan for the critical equipment of the sulfuric unit, we separated our work in four major pillars:

- ✓ In the first place, we classified the sulfuric unit's equipment according to them priority
- ✓ Secondly, we realized the functional analysis with the aim of identifying the various functions of the acid pump
- ✓ Thirdly, we identifies the causes roots of the failures noticed by the method Ishikawa to pass in the analysis AMDEC to determine the critical elements of our pump
- ✓ Fourthly, we concluded by the elaboration of the preventive maintenance plan

ملخص

في إطار رفع مستوى الإنتاج، لجأ المكتب الشريف للفوسفات إلى إطلاق أشغال بناء معامل جديدة للأسمدة بتصوير مخالفات سابقة.

في هذا الصدد فإن المحافظة على ضمان سيرورة عمل آليات وحدة إنتاج الحامض الكبريتي التي تعد محطة رئيسية في سلسلة إنتاج الأسمدة، يحتمل إعداد خطة صيانة احتياطية لتفادي المشاكل المحتملة قبل وقوعها أو على الأقل خفض احتمال حصولها.

وفي هذا المنوال وكلتنا الشركة مممة إعداد هذه الخطة كمشروع نهاية الدراسة، ولهذا اعتمدنا العمل وفقاً لما يحتمل مشروع مهني بغاية التوصل إلى النتائج المطلوبة من حيث الجودة، الوقت، واحترام متطلبات دفتر التحملات.

اعتمدت دراستنا للمشروع على أربعة محاور كبرى:

أولاً: ترتيب الآليات حسب أولوياتها

ثانياً: تطبيق طريقة التحليل الوظيفي لتحديد مختلف وظائف المضخة

ثالثاً: تحديد الأسباب الجذرية باعتماد أسلوب "Ishikawa" للمرور إلى تحليل "AMDEC" بغاية تحديد العناصر الحرجة للمضخة

رابعاً: في النهاية إعداد خطة الصيانة الاحتياطية

Liste des abréviations

JESA	:	Jacobs Engineering S.A
OCP	:	Office Chérifien de Phosphate
SA	:	Société anonyme
EPCM	:	Engineering, procurement and construction management
JPH	:	JORF Phosphate Hub
ODI/P1	:	Owner Direct Investment/ Plant 1
SAP	:	Sulfurique Acid Plant
DAP	:	Di-Ammonium Phosphate
H ₂ SO ₄	:	Acide sulfurique
HRS/SRC	:	Heat Recovery System / Système de récupération de la chaleur
PMP	:	Pakistan Maroc Phosphore
AMDEC	:	Analyse des modes de défaillance, leurs effets, et leur criticité

Notation et symboles principaux

C	:	Criticité
G	:	Gravité
F	:	Fréquence
D	:	Probabilité de non détection
P2O5	:	Acide phosphorique
D	:	Diamètre
T	:	Tonne
L	:	Litre
J	:	jour
m ³	:	Mètre cube
H	:	Heure
Km	:	Kilomètre.
W	:	watt
Tr	:	tour

Liste des tableaux

TABLE 1 : LES PERFORMANCES DES POMPES D'ACIDE DANS LA SAP.....	46
TABLE 2 : IDENTIFICATION DE LA PROBLEMATIQUE PAR LA METHODE QQQQCP	51
TABLE 3 : FONCTIONS PRINCIPALES ET CONTRAINTES DU DIAGRAMME PIEUVRE.....	53
TABLE 4 : LES ELEMENTS A ETUDIER DE LA POMPE ET LEUR FONCTIONNEMENT	54
TABLE 5 : DONNEE DU DIAGRAMME PARETO	58
TABLE 6 : LES CLASSES ABC.....	59
TABLE 7 : INTERVALLE DE PERIODICITE DES OPERATIONS DE LA MAINTENANCE.....	63

Liste des figures

FIGURE 1 : JACOBS EN CHIFFRE	15
FIGURE 2 : NOTION DE SECURITE CHEZ JACOBS	16
FIGURE 3 : LA CULTURE DE SECURITE « BEYOND ZERO »	16
FIGURE 4 : FICHE SIGNALETIQUE DE JESA	18
FIGURE 5 : L'EQUIPE DE JACOBS ENGINEERING AU MAROC	18
FIGURE 6 : ORGANIGRAMME DE JACOBS ENGINEERING S.A	19
FIGURE 7 : PLAN DU PROJET ODI – P1 SUR AUTODESK NAVISWORKS 2014	23
FIGURE 8 : EMBLACEMENT DE L'ATELIER DE L'ACIDE SULFURIQUE SUR LE PLAN D'AUTODESK NAVISWORKS 2014	24
FIGURE 9 : CIRCUIT DE GAZ DANS L'UNITE D'ACIDE SULFURIQUE	26
FIGURE 10 : LES ETAPES PRINCIPALES DE PRODUCTION DE L'ACIDE SULFURIQUE	27
FIGURE 11 : PRINCIPE DE FONCTIONNEMENT DE LA TOUR HRS	28
FIGURE 12 : LISTE DES TACHES EFFECTUEES	30
FIGURE 13 : DIAGRAMME DE GANTT	30
FIGURE 14 : MATRICE SWOT DU PROJET DE FIN D'ETUDE A JESA	31
FIGURE 15 : DIFFERENTS TYPES DE LA MAINTENANCE	33
FIGURE 16 : SCHEMA DESCRIPTIF DE LA DEMARCHE POUR ETABLIR UN PLAN DE MAINTENANCE PREVENTIVE	35
FIGURE 17 : DIAGRAMME D'ISHIKAWA	38
FIGURE 18 : DEMARCHE DE L'AMDEC	39
FIGURE 19 : STRATEGIE DE GESTION DE LA MAINTENANCE PAR ORACLE E-BUSINESS	40
FIGURE 20 : DIGRAMME DE PARETO	43
FIGURE 21 : POMPE DE CIRCULATION D'ACIDE ENSIVAL MORET (1); POMPE D'ACIDE LEWIS (2)	45
FIGURE 22 : COURBE EN BAIGNOIRE DU TAUX DE DEFAILLANCE	51
FIGURE 23 : ETAPES DE REALISATION DE L'ETUDE AMDEC	52
FIGURE 24 : DIAGRAMME BETE A CORNE DES POMPES DE CIRCULATION D'ACIDE	52
FIGURE 25 : DIAGRAMME PIEUVRE DES POMPES DE CIRCULATION D'ACIDE	53
FIGURE 26 : DIAGRAMME ENERGETIQUE DES POMPES D'ACIDE	53
FIGURE 27 : RESULTATS DE L'AMDEC DES POMPES DE CIRCULATION	58
FIGURE 28 : CLASSIFICATION DES SOUS-ENSEMBLES CRITIQUES PAR PARETO	59

Sommaire

<i>Dédicaces</i>	1
<i>Remerciements</i>	2
<i>Résumé</i>	3
<i>Abstract</i>	4
<i>ملخص</i>	5
<i>Liste des abréviations</i>	6
<i>Notation et symboles principaux</i>	7
<i>Liste des tableaux</i>	8
<i>Liste des figures</i>	9
Chapitre 1 : Présentation générale	14
Introduction	15
I. Présentation de l'organisme d'accueil.....	15
1. JACOBS ENGINEERING.....	15
2. L'organisme d'accueil.....	17
II. Contexte de l'étude et l'enjeu du projet.....	22
1. Présentation du site Jorf Lasfar.....	22
2. Description de l'atelier sulfurique.....	24
3. Présentation du projet.....	29
Conclusion	31
Chapitre 2 : Méthodes-Outils	32
Introduction	33
I. Généralités sur la maintenance préventive.....	33
1. Généralité sur la maintenance.....	33
2. La maintenance préventive.....	33
II. Démarche et méthodes.....	35
1. Principe de la maintenance préventive.....	35
2. Méthodes utilisées.....	36
3. Oracle E-business.....	39
Conclusion	40
Chapitre 3 : Etude et fiabilisation des équipements majeurs de l'unité d'acide sulfurique	41

Introduction.....	42
I. Classification des équipements majeurs dans La SAP - PMP	42
1. L'ensemble des équipements	42
2. La famille des critères	42
3. Evaluation de la performance	43
4. Agrégation multicritère.....	43
5. Historique des données de Pakistan phosphore (voir Annexe I et II).....	43
II. Etude de fonctionnement de la pompe de circulation d'acide	44
1. Description des pompes de circulation d'acide P01, P02, et P04	44
2. Dessin d'ensemble de la pompe d'acide P01 (voir annexe III)	45
3. Milieu de fonctionnement	46
4. Exigence d'exploitation et exigences techniques	47
5. L'influence de la panne d'une pompe sur la production	48
Conclusion.....	48
Chapitre 4 : Analyse des modes de défaillance, de leurs effets, et de leurs criticité des équipements critiques.....	49
Introduction.....	50
I. Identification de la problématique par la méthode QQQQCP	50
II. Taux de défaillance	51
1. La synthèse des arrêts des pompes d'acide enregistrées 2013 (Annexe IV)	51
2. Taux de défaillance moyens par rapport aux pannes enregistrées (2013).....	51
III. Analyse AMDEC.....	52
1. Analyse fonctionnelle.....	52
2. Le tableau AMDEC : (Voir annexe V).....	55
3. Identification des causes par la méthode Ishikawa	57
4. Evaluation de la criticité.....	58
Conclusion.....	59
Chapitre 5 : Elaboration d'un plan de maintenance préventive de la pompe de circulation d'acide.....	60
Introduction.....	61
I. Généralités sur un plan de maintenance préventive.....	61
1. Définition d'un plan de maintenance préventive	61
2. Processus de préparation d'un plan de maintenance préventive	62
3. Description du plan proposé.....	62
II. Entretiens et inspections	63
1. Inspection périodique	63

2.	Les règles générales de la sécurité.....	63
3.	Inspections du moteur	63
4.	Lubrification	64
5.	Entretien de la boîte à garniture.....	64
6.	Interventions sur les étanchéités.....	64
7.	Les paliers lisses	65
8.	Arbres et logements.....	65
9.	Roulements	65
III.	Réalisation d'un plan de maintenance préventive	66
1.	Les actions correctives	66
2.	Surveillance systématique	66
3.	Gamme de révision	66
4.	Pièces de rechange	66
5.	Fiche d'évaluation de la pompe (Annexe XI)	67
Conclusion		68
Bibliographie		69
Annexe I	Critères de classification	70
Annexe II	Classification des équipements	72
Annexe III	Dessin d'ensemble	75
Annexe IV	Synthèse d'arrêt Pompe d'acide	77
Annexe V	AMDEC.....	79
Annexe VI	Calendrier de lubrification	84
Annexe VII	Intervention des pompes	86
Annexe VIII	Fiche de visite systématique	89
Annexe IX	Gamme de révision	91
Annexe X	Pièces de rechange de la pompe 401 AAP 01	95
Annexe XI	Fiche d'évaluation	97

Introduction générale

Dans un contexte économique en constante évolution, la concurrence oblige l'OCP à améliorer le rendement de ses installations de production pour répondre aux besoins de ses clients. A la base de la joint-venture entre OCP et Jacobs, JESA vise à envahir le monde de la maintenance comme un de ces services. Cela fera également avancer les plans de développement de JACOBS dans l'industrie des engrais et dans la région.

De par son action directe sur les équipements de production, la maintenance est devenue un levier de performance incontournable qui conditionne les résultats d'une organisation. Même si les coûts des actions de maintenance ne sont pas négligeables, ceux liés aux arrêts de production ont un impact encore plus fort sur la production.

La mise en place d'un plan de maintenance préventive permet d'optimiser les opérations de maintenance et surtout de les effectuer au bon moment, particulièrement au cours de notre étude on a réagi sur les équipements majeurs de l'atelier sulfurique de la nouvelle usine complexe africaine des engrais, l'objectif final étant d'assurer la qualité du produit et d'améliorer le taux de disponibilité des équipements pour augmenter la productivité.

Dans ce contexte, parmi les équipements majeurs dans l'atelier sulfurique, on a réagi sur les pompes de circulation d'acide qui jouent un rôle primordiale dans la production de l'acide sulfurique et de faire véhiculer les fluides d'un point à un autre. Le but de ce sujet est d'étudier et d'améliorer la disponibilité de ces pompes en améliorant le plan de maintenance pour assurer un entretien minimum et donc un bon rendement et une durée de vie meilleure.

Notre rapport est constitué de cinq chapitres : Dans le premier chapitre nous avons présenté l'organisme d'accueil, le processus de l'obtention de l'acide sulfurique et la présentation du sujet. Pour le deuxième chapitre on a donné une idée générale sur les méthodes et les outils exploités au cours de notre étude. Et dans le troisième chapitre une étude de la fiabilisation des équipements et leur classification était indispensable dans notre projet, avec une description de la pompe avec ces sous-ensembles. Le quatrième chapitre contient une analyse AMDEC de la pompe de circulation d'acide avec une présentation d'un bilan bien analysé des pannes et une étude du taux de défaillance de la pompe installée dans la ligne sulfurique. Enfin le cinquième chapitre contient un plan de maintenance simple et généralisé qui est basé sur une analyse AMDEC.

Chapitre 1 :

Présentation générale

Introduction

Avant d'entamer l'analyse de la problématique du projet, il convient de présenter tout d'abord son cadre de déroulement afin de mieux cerner les besoins spécifiques du projet et ainsi mieux y répondre. Ce chapitre sera consacré pour la présentation de JACOBS Engineering SA en tant qu'organisme d'accueil, la mise en situation du projet ainsi que la présentation de la problématique.

I. Présentation de l'organisme d'accueil

Jacobs engineering le leader d'ingénierie dans le monde. Cette partie permet d'avoir une idée plus claire sur son historique, ses services ainsi que sur les divers projets qu'elle détient et sur lesquels son personnel travaille en étroite collaboration avec l'OCP.

1. JACOBS ENGINEERING

a. Présentation générale de Jacobs

Jacobs Engineering Group a été fondée par Joseph J. Jacobs en 1947 et est basée à Pasadena, en Californie, comme la montre le figure ci-dessous Jacobs a plus que 250 bureaux dans plus que 30 pays avec un personnel qui dépasse 66,000 employés.



FIGURE 1 : JACOBS EN CHIFFRE

JACOBS engineering est un bureau d'études américain en ingénierie, il est considéré un des plus grands cabinets de conseil en construction dans le monde. Il assure un éventail de services techniques, professionnels, et de construction pour un grand nombre de clients industriels, commerciaux et gouvernementaux.

La société dispose de quatre grandes catégories de services : Services de projet, processus, services de consultation scientifique et des systèmes, services de construction, exploitation et entretien, et services de maintenance.

b. La notion sécurité chez JACOBS

JACOBS met en œuvre sa culture de compassion - une culture dans laquelle la sécurité, la santé et le bien-être sont des priorités absolues. C'est plus qu'un manuel de politique. C'est une méthode de vie.

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.



FIGURE 2 : NOTION DE SECURITE CHEZ JACOBS

BeyondZero 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.



FIGURE 3 : LA CULTURE DE SECURITE « BEYOND ZERO »

Safety week « Du 03/05/2015 jusqu'à le 09/05/2015 »

Chaque année, plus de 80.000 employés souffrent des blessures dans les chantiers de construction dans les états unis, la vie est très précieuse pour ne pas mettre la sécurité la priorité numéro un dans les industries de construction à travers le monde.

C'est pour cela plus de 40 entreprises nationales et mondiales ont uni leurs forces avec un seul but : inspirer tout le monde dans l'industrie à être des leaders en matière de sécurité.

Durant notre stage on a eu l'occasion de participer à cette semaine dont il y avait des formations pour savoir comment se protéger face à des incidents.

2. L'organisme d'accueil

a. Présentation de Jacobs engineering S.A (JESA)

Cette partie permet d'avoir une idée plus claire sur l'historique de ce fruit de partenariat entre Jacobs et OCP, ses valeurs ainsi que sur les divers projets qu'elle détient et sur lesquels son personnel travaille en étroite collaboration avec l'OCP.

a. Historique

Jacobs Engineering et l'Office Chérifien du phosphate ont signé un accord de partenariat en ingénierie industrielle 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.

"C'est comme l'enfant unique de deux parents qui s'aiment et vivent ensemble." Nicolas SIMONIN, l'ex-directeur général de Jacobs Engineering SA (JESA), décrit en ces termes la coentreprise née du rapprochement en août 2010 de la compagnie marocaine OCP, la société leader des phosphates, et de l'américain Jacobs, l'un des leaders mondiaux de l'ingénierie, (11,8 milliards de dollars de chiffre d'affaires en 2013, soit 8,55 milliards d'euros).

b. Mission

Les missions de JESA peuvent être résumées comme suit :

- Dans l'immédiat :
 - Maîtrise d'ouvrage déléguée pour le programme stratégique ;
 - Support pour les études de faisabilité ;
 - Réalisation des études conceptuelles et « basiques » ;
 - Au cas par cas – études de détails et gestion de construction (EPCM)
- A moyen-terme :
 - Agrandir la part de marché des clients « phosphatés » ;
 - Cibler d'autres secteurs d'activité en Afrique du nord et ouest ;
 - Elargir le rôle en EPCM.
- A long-terme :
 - Devenir un centre d'ingénierie pluridisciplinaire pour servir tout le continent.

c. Fiche signalétique

Le capital de Jacobs Engineering SA est de 45 000 000 Dirhams comme le montre la fiche signalétique dans la figure ci-dessous avec un effectif de plus de 258 personnes.

Elle connaît une diversité culturelle assez importante, elle compte plus de 8 nationalités différentes.

Raison sociale	: Jacobs Engineering SA (JESA)
Forme juridique	: société anonyme
Directeur général	: M. Abdelaziz El Mellah
Secteur d'activité	: Engineering, coordination et supervision de travaux industriels
Actionnaire	: OCP
Date de constitution	: 2010
Capital social	: 45 000 000 Dirhams
Chiffres d'affaires	: 600 000 000 Dirhams
Siège social	: Zénith Millenium, Immeuble 5, Sidi Maarouf, Casablanca
Site internet	: www.jacobs.com
Téléphone	: 0522 877 000

FIGURE 4 : FICHE SIGNALÉTIQUE DE JESA

d. Organigramme

Aujourd'hui elle emploie près de 500 personnes : des personnes détachées OCP, des personnes détachées JACOBS.

Concernant l'organisation, nous remarquons l'affectation du personnel par projet, aussi par département. Ainsi, plusieurs collaborateurs peuvent participer.

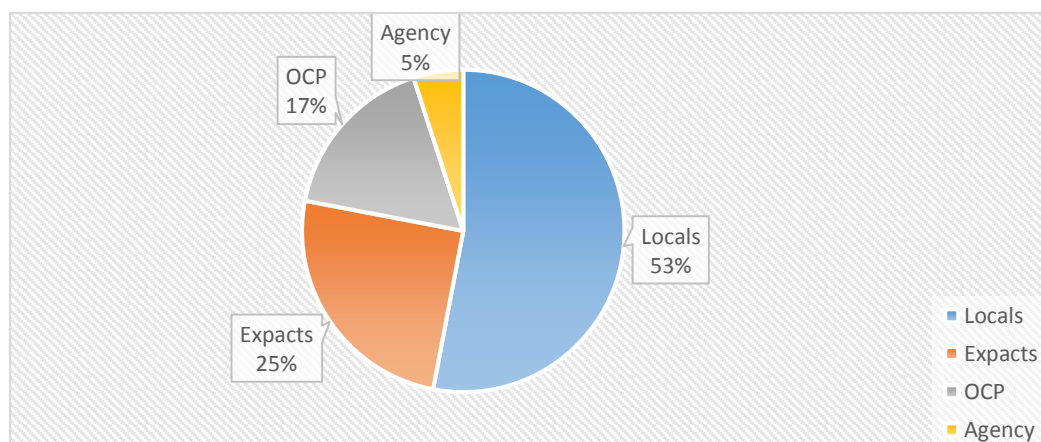


FIGURE 5 : L'ÉQUIPE DE JACOBS ENGINEERING AU MAROC

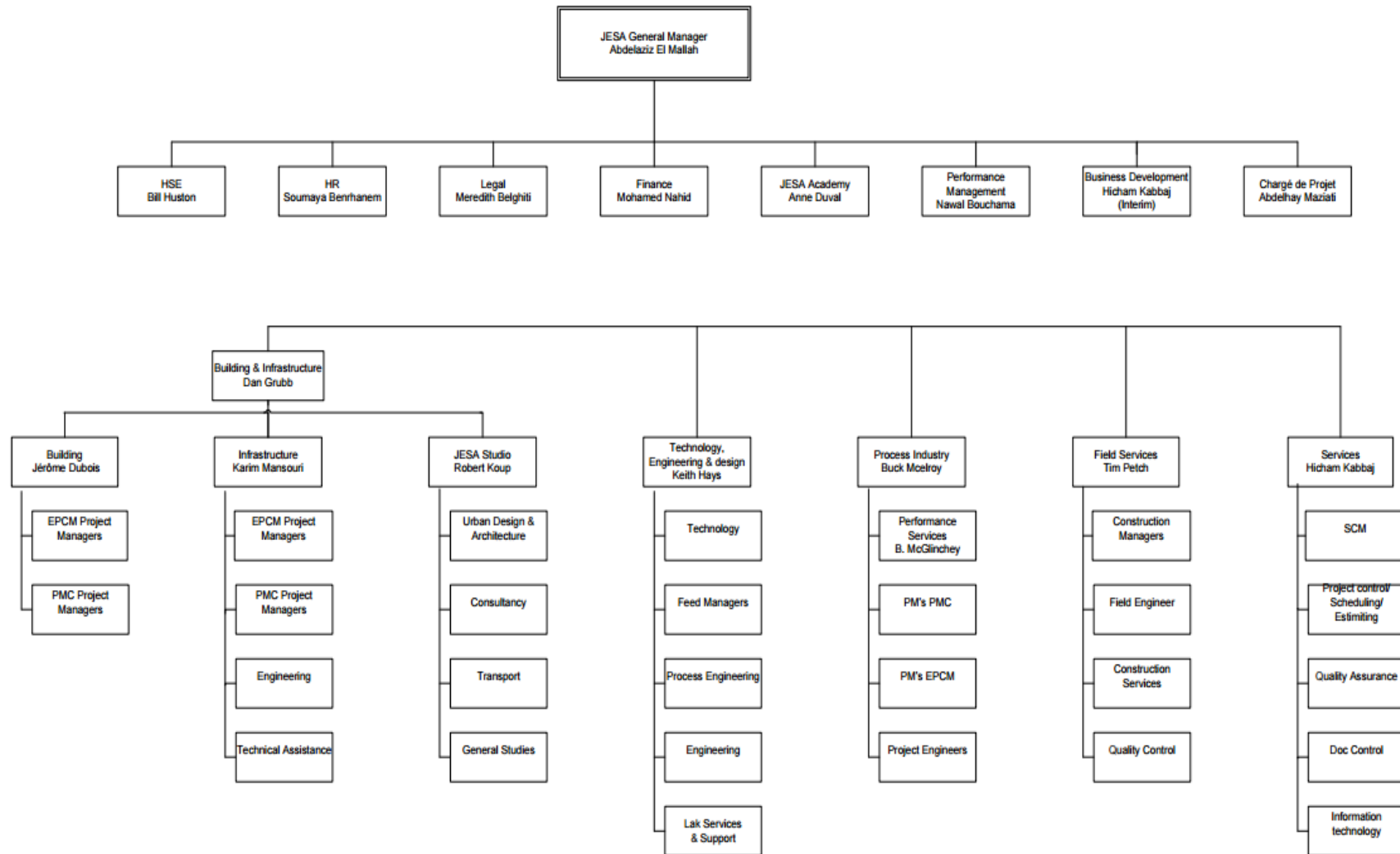


FIGURE 6 : ORGANIGRAMME DE JACOBS ENGINEERING S.A

b. Les projets de JESA :

La coentreprise conçoit en amont les projets et les conduit à leur terme : elle dessine les plans, évalue les coûts de fabrication, construit les bâtiments. Preuve que les deux compagnies sont étroitement liées : près de 75 % du chiffre d'affaires de JESA (169,7 millions de dollars) provient aujourd'hui de son activité avec OCP.

Le groupe marocain entend profiter de l'expérience de son partenaire américain en matière de projets industriels dans la chimie pour optimiser son plan d'investissements, évalué à plus de cinq milliards de dollars pour la période 2009-2015.

Parmi les grands travaux pilotés par Jesa : la modernisation des mines de phosphate de Khouribga et de Benguerir, la construction des usines d'engrais de Jorf Lasfar ou la création d'un pipeline de 235 km utilisé pour le transport du phosphate entre les deux sites principaux d'OCP, les mines de Khouribga et les usines de Jorf Lasfar.

En dehors du Maroc, Jesa travaille aussi pour d'autres groupes spécialisés dans l'extraction du phosphate en Afrique, à hauteur de 10 % de son chiffre d'affaires.

a. Projets JESA-OCP

La joint-venture entre l'OCP et JACOBS a permis de fournir 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.

Cet accord 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).

Cela fera également avancer les plans de développement de JACOBS dans l'industrie des engrais et dans la région.

La joint-venture va permettre donc de fournir des prestations à l'OCP et aussi à d'autres entreprises dans leurs activités d'ingénierie liées au phosphate partout dans le monde. La réalisation de grands projets structurants ont vu le jour, notamment :

➤ Programme d'investissement industriel de l'OCP

Objectif :

- ✓ Augmenter la capacité de production du phosphate au Maroc ;
- ✓ Attirer les IDE (Investissements Directs Étrangers) pour la production du phosphate acide et engrais au Maroc.

➤ **SLURRY pipeline**

Objectif :

- ✓ Transporter du minerai de phosphate depuis les usines de traitement au port de JORF LASFAR. Et ce pour une utilisation dans les usines de produits chimiques ainsi que l'exportation outre-mer.

➤ **Down Stream**

Objectif :

- ✓ Sécher et granuler le phosphate afin de l'exporter outre-mer.

Portée du projet :

- ✓ Installation de systèmes de filtration;
- ✓ Installation de système de séchage;
- ✓ Installation de stackers;
- ✓ Installation de scraper/reclaimers.

➤ **JPH**

Objectif :

Créer l'infrastructure (pipe-rack et tuyauterie) nécessaire au site de JORF LASFAR pour 10 usines d'engrais supplémentaires.

Le projet JORF Phosphate Hub ou JPH constitue un véritable hub destiné aux investisseurs étrangers (IDE) qui viendront produire à JORF LASFAR, leurs produits phosphatés à des coûts très compétitifs.

Le concept est basé sur une offre « Plug & Play » donnant accès à un pool de services mis en place par le Groupe OCP : Infrastructure industrielle, infrastructure portuaire adaptée, approvisionnement en matières premières et utilities, accès à une main d'œuvre qualifiée, et surtout un accès à une roche durable à un prix compétitif.

Ce hub permettra de mettre en œuvre la stratégie du Groupe OCP qui vise à ne plus seulement exporter des phosphates, mais à se diversifier dans la vente de conseil et de savoir-faire, et jusque dans la prise en charge de la conception et de la construction des complexes phosphatés.

➤ **ODI**

Un EPCM projet pris par Jacobs dans le cadre d'une JV JESA. Depuis le 10 janvier 2012. Il s'occupe de la construction des 2 usines parmi les 10 P1 et P3.

II. Contexte de l'étude et l'enjeu du projet

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. Et on passera en revue toutes les installations qui composent cet atelier en précisant les différents circuits existants.

1. Présentation du site Jorf Lasfar

Le complexe des industries chimiques de Jorf Lasfar a été mis en exploitation en 1986. Il est situé à 24 Km au sud de la ville d'El Jadida avec une superficie globale de 1835 HA dont environ 80% non encore occupés.

Le site a l'avantage de la proximité de l'un des plus importants ports du Royaume. Il regroupe les industries Chimiques de valorisation de minerais de phosphates et de production des engrais phosphatés et /ou azotés. Les produits commercialisés par le site sont :

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

Le groupe OCP Maroc, qui exploite et gère le site de Jorf, a l'intention d'étendre les installations en ajoutant 10 autres nouvelles installations de production d'acide phosphorique, sulfurique et d'engrais à l'avenir.

• ODI (Owner Direct Investment)-P1

En septembre 2009, les études conceptuelles et d'estimation ont été lancées (livrables en janvier 2010) pour deux nouveaux projets, deux lignes de granulation (unités 107B et C), d'une capacité de 850 kt/an de DAP chacune, et une usine intégrée d'acide phosphorique et d'engrais ODI (Owner Direct Investment). Capacités : 450 kt P₂O₅/an pour l'acide et 940 kt P₂O₅/an pour le DAP. Mise en service : juin 2012 pour les lignes de DAP et juin 2013 pour l'ODI.

Le Maroc et le Gabon ont conclu un partenariat industriel visant à marier le phosphate marocain et le gaz gabonais afin de produire des engrais phosphatés. Signé durant la visite effectuée par le roi Mohammed VI au Gabon le mois Mars 2014, cet accord prévoit la construction de complexes industriels dans les deux pays.

La joint-venture Maroc-gabonaise souhaite prendre 30 % du marché des engrais africains à terme. Les efforts de distribution porteront les premières années sur l'Afrique de l'ouest et du centre avec la mise en œuvre de mécanismes incitatifs d'appui aux agriculteurs (solutions de financement, assurance). Les autorités des deux pays comptent ainsi créer quelques 5000 emplois. Des échanges de formation sont également prévus, notamment autour de l'Université Mohammed VI Polytechnique et son École de management industriel (accompagnée par l'École des Mines de Paris).

La totalité du P2O5 produite est destinée pour la production des engrais (DAP). ODI-P1 (Complexe africain des engrais) est approximativement prêt pour se lancer, il se compose des unités suivantes :

- ✓ Unité des Utilités
- ✓ Unité Sulfurique,
- ✓ Unité Phosphorique,
- ✓ Unité Engrais.
- ✓ Services de Maintenance :

Mécanique – Electricité – Instrumentation-génie civil-Services annexes

A savoir que dans la perspective de l'unité sulfurique que notre projet de fin d'étude est réalisé.

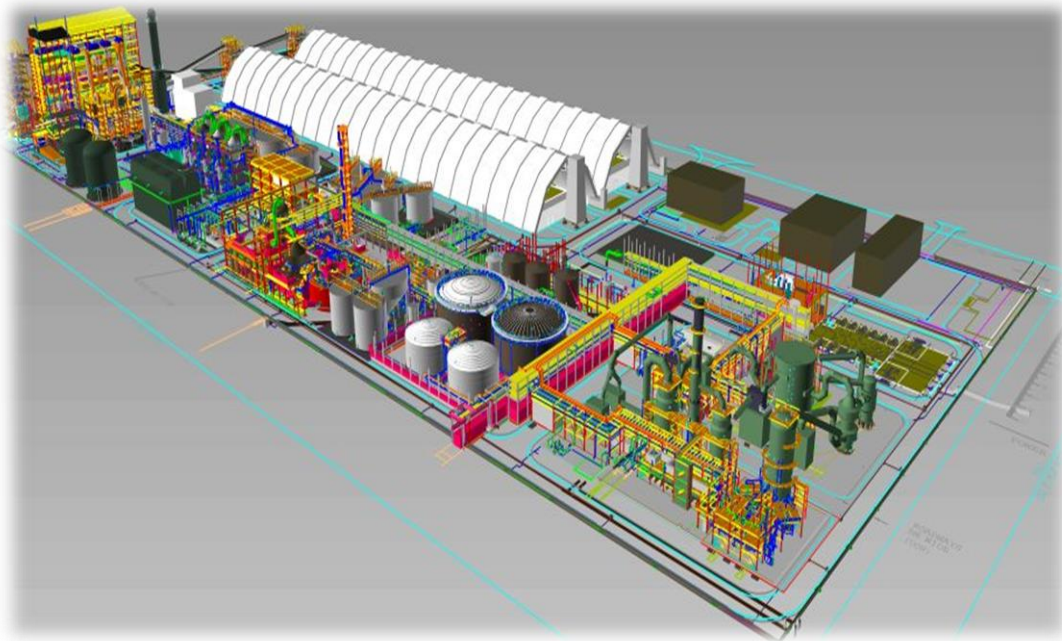


FIGURE 7 : PLAN DU PROJET ODI – P1 SUR AUTODESK NAVISWORKS 2014

2. Description de l'atelier sulfurique

a. Description des unités de l'acide sulfurique

L'atelier sulfurique se compose d'une seule ligne conçue à fabriquer l'acide sulfurique à 98,5% (4200TMH/j) et de la vapeur à haute pression (60bars) et moyenne pression destinées principalement pour la fabrication de l'acide phosphorique et l'énergie électrique ainsi que l'entraînement des turbines.

L'acide sulfurique (H_2SO_4) est un composé chimique toxique et l'acide le plus utilisé en industrie. En effet, il entre comme élément essentiel dans pas mal de circuits de production de ses dérivés. Cet acide servira comme produit intermédiaire pour la production de l'acide phosphorique.

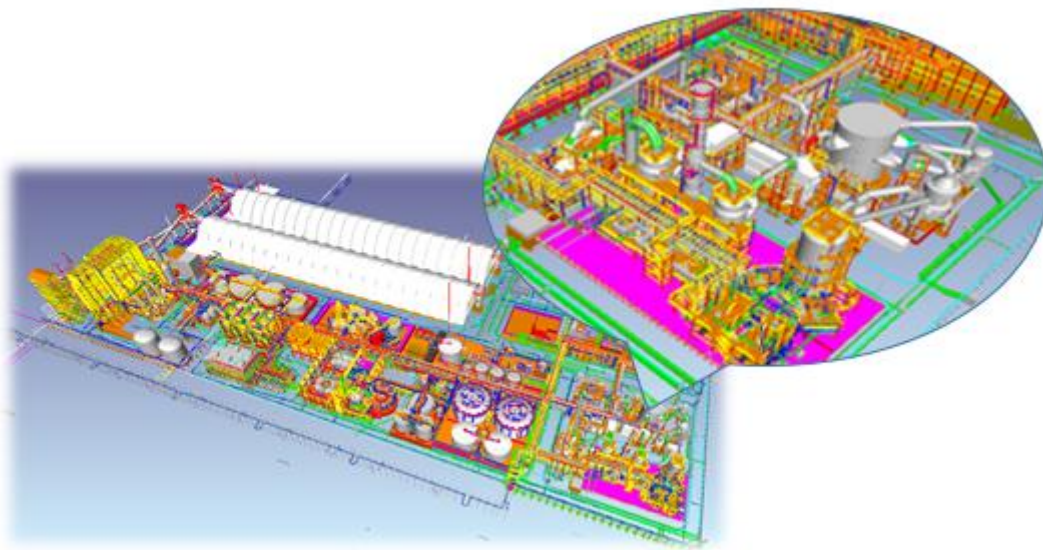


FIGURE 8 : EMPLACEMENT DE L'ATELIER DE L'ACIDE SULFURIQUE SUR LE PLAN D'AUTODESK NAVISWORKS 2014

Rappelant que l'atelier sulfurique est composé de 3 unités :

a. Unité 11:

C'est l'unité de stockage du soufre liquide, elle sert à alimenter le four de la ligne sulfurique en soufre liquide à une température légèrement supérieure à 100 °C. Le soufre est maintenu liquide dans le bac de stockage et la fosse de pompage par l'intermédiaire de vapeur basse pression.

b. Unité 12 :

C'est une unité qui sert à stocker l'acide sulfurique et à alimenter les ateliers de production d'acide phosphorique et d'engrais en acide sulfurique.

c. Unité 01 :

C'est l'unité de production de l'acide sulfurique, elle est composée d'une seule ligne de production identique de point de vue matériel et production. Qui se compose de :

- ✓ Moto-soufflante
- ✓ Un four à souffre ;
- ✓ 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 ;
- ✓ 7 pompes d'acide, 23 autres pompes (eau alimentaire ; vidange ; gasoil ; huile ;...)
- ✓ Refroidisseurs d'acide ;
- ✓ Un échangeur ;
- ✓ Un économiseur surchauffeur ;
- ✓ 2 bacs d'acide ;
- ✓ Un convertisseur ;
- ✓ Une tour HRS.

b. Vue générale de l'atelier de l'acide sulfurique

Ainsi, on peut parler des 3 circuits principaux :

a. 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, sa pression est d'environ 58 bars. La vapeur passe ensuite par l'Economiseur-surchauffeur et les surchauffeurs qui sont réchauffés. La température de la vapeur est amenée à environ 499°C à la sortie de la surchauffeur E01, Celle-ci est appelée vapeur surchauffée.

Une partie de la vapeur surchauffée est utilisée pour l'entraînement du turboalternateur. La vapeur d'échappement de la turbine est récupérée sous forme de vapeur de moyenne pression.

La vapeur moyenne pression :

La vapeur moyenne pression légèrement surchauffée est récupérée à la sortie du turboalternateur à plus de 300°C.

La vapeur basse pression :

L'unité 01 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.

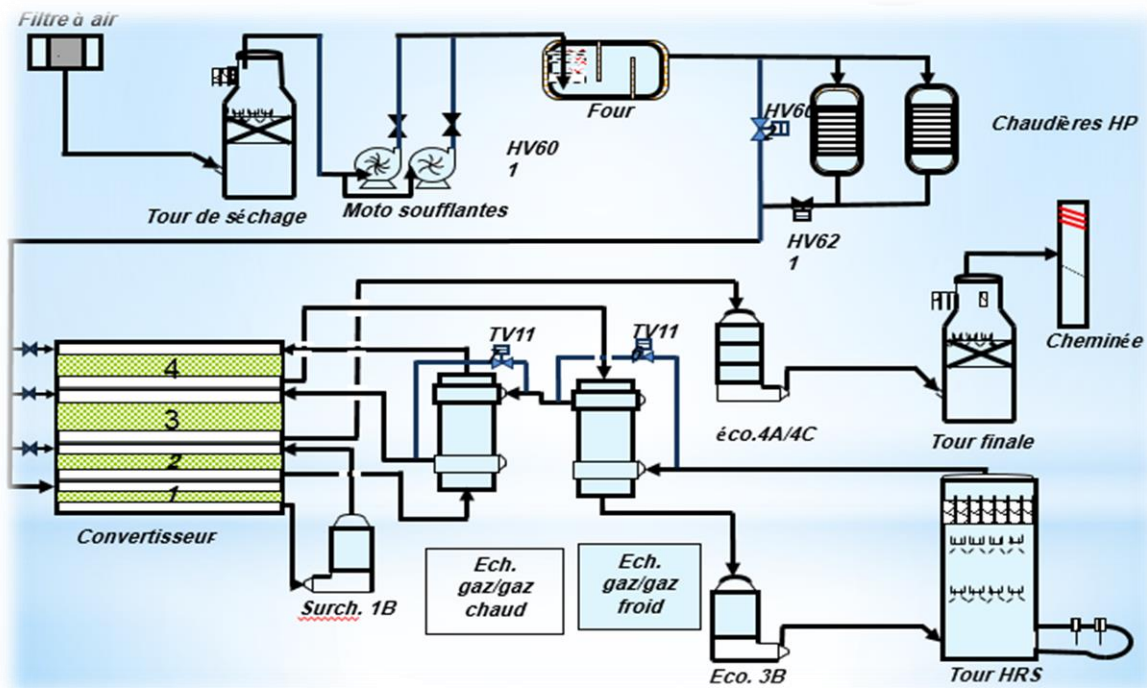


FIGURE 9 : CIRCUIT DE GAZ DANS L'UNITÉ D'ACIDE SULFURIQUE

b. 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. Par exemple le régulateur de vitesse de la moto soufflante est un régulateur pneumo-hydraulique qui utilise la pression de l'air instrument comme consigne.

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.

c. Circuit eau :

L'eau alimentaire de chaudière

Elle est destinée à l'usage exclusif de la production de la vapeur à 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.

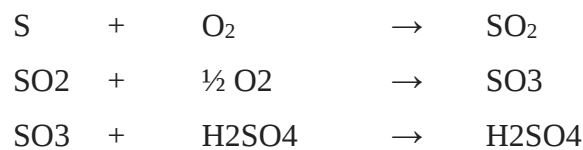
L'eau d'incendie

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

c. 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 . Sinon dans la nouvelle unité ils visent à arroser SO_3 par H_2SO_4 stocké, au lieu de combiner l'eau.

Les réactions chimiques s'écrivent dans l'ordre :



Pour résumer l'activité de l'atelier sulfurique nous avons réalisé un synoptique de cette unité :

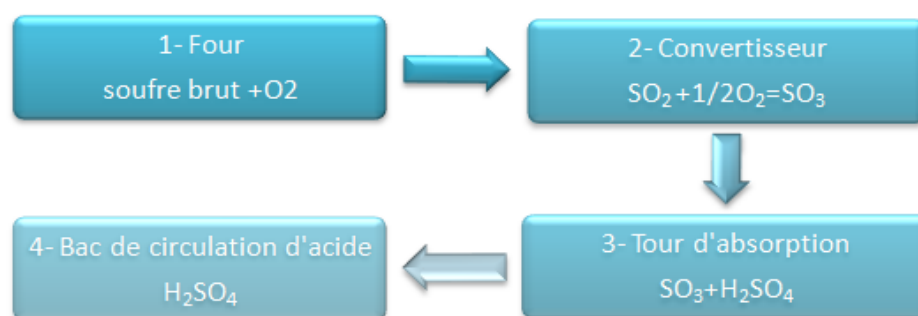


FIGURE 10 : LES ETAPES PRINCIPALES DE PRODUCTION DE L'ACIDE SULFURIQUE

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

d. Le nouveau concept de la nouvelle unité de sulfurique P1:

L'OCP a un investi 22 MDH pour faire un système HRS (HEAT RECOVERY SYSTEM) à Jorf Lasfar, c'est une tour qui a remplacé la tour d'absorption intermédiaire, elle sert à récupérer la chaleur gaspillée pour produire de l'énergie électrique.

Le principe est comme le montre la figure ci-dessous :

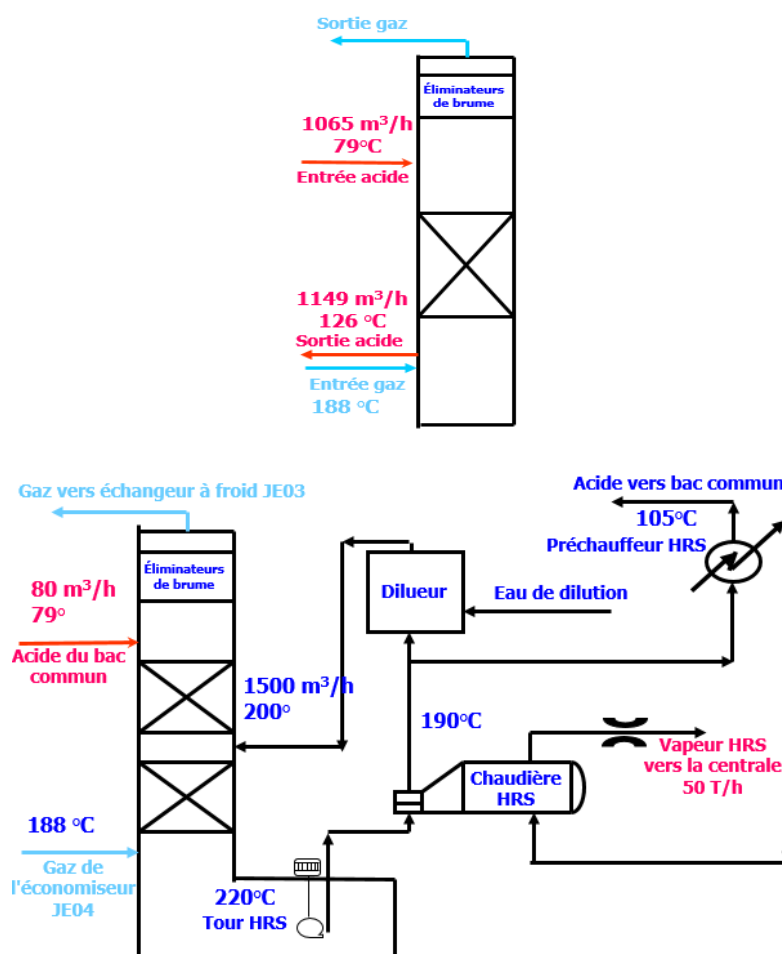


FIGURE 11 : PRINCIPE DE FONCTIONNEMENT DE LA TOUR HRS

Apport projet HRS :

- ✓ Récupération de 100 T/h vapeur
- ✓ Production de 126 400 MWH/an
- ✓ Réduction des émissions CO₂ de 91 000 T CO₂/an
- ✓ Réduction du rejet dans la mer de 23 200 000 m³/an.

3. Présentation du projet

a. Idée générale:

Toujours dans le cadre de l'augmentation de la production, une nouvelle usine de la production des engrais est en cours de démarrage, avec une nouvelle installation dans l'unité d'acide sulfurique afin de récupérer l'énergie de la chaleur.

En effet, la maintenance est l'une des fonctions de l'entreprise, elle devient une composante de plus en plus sensible de la performance de l'entreprise. Bien organisée, elle est un facteur important de qualité, de sécurité, de respect des délais et de productivité, donc de compétitivité d'une entreprise évoluée, afin d'élever la performance des équipements.

Ce projet de fin d'étude a pour objectif l'étude et l'élaboration d'un plan de maintenance préventive des équipements critiques de l'unité de production de l'acide sulfurique à l'OCP Jorf lasfar, (ODI/P1). Pour ce faire, il nous est demandé de :

- ✓ Classer les équipements à vérifier selon leur priorité ;
- ✓ Etudier d'une façon détaillée le fonctionnement de ces équipements ;
- ✓ Faire une analyse des défaillances, causes, effets. Et retirer des actions d'éradication ;
- ✓ Etablir un plan de maintenance préventive avec définition des gammes/ fréquences d'interventions;
- ✓ Faire une étude technico-économique du plan de maintenance proposé.

b. Planning prévisionnel

Afin de réaliser le projet dans les délais établis par la convention de stage, il a fallu définir les étapes essentielles et estimer le temps à consacrer pour chacune. Pour cela, nous avons utilisé le logiciel OpenProj afin de représenter les différentes tâches et établir par la suite le diagramme de GANTT puis le réseau PERT (dans sa version la plus simple) et ainsi visualiser le planning à prévoir. Dans notre conduite de projet, nous avons opté pour la méthode de répartition proportionnelle afin de faire l'estimation des charges.

Voici donc le détail du travail à effectuer ainsi que son organisation :

		Name	Duration
1	✓	⊕ Intégrer JESA	0.714 days
4	✓	⊕ Phase de recherche	5.857 days?
17	✓	⊕ Observation de l'unité de SAP	3.571 days?
22		⊖ Rassemblement des données	20.286 day...
23		Flowsheet de production	3.429 days?
24		Document constructeur	3.429 days?
25	✓	Stage à OCP	7 days?
26	✓	Archive du plan de maintenance	12.429 days?
27	✓	Tableau de bord de l'ancienne unité de SAP	12.429 days?
28		⊖ Elaboration du plan de maintenance préventive	29.143 day...
29	✓	Classifier les équipements à vérifier avec leurs descriptions	2 days?
30	✓	Analyse fonctionnelle et analyse de criticité des installations	3 days
31		Taux des défaillances	3 days
32		Analyser les causes (AMDEC, 5M, ...)	3 days
33		Préciser les actions d'éradication	2 days?
34		⊖ Les indices de performance	10 days
35		Faire les calculs des Ratios	7 days
36		Entamer un tableau de bord	3 days
37		⊖ Optimisation des coûts	2 days
38		Optimisation des couts	2 days

FIGURE 12 : LISTE DES TACHES EFFECTUEES

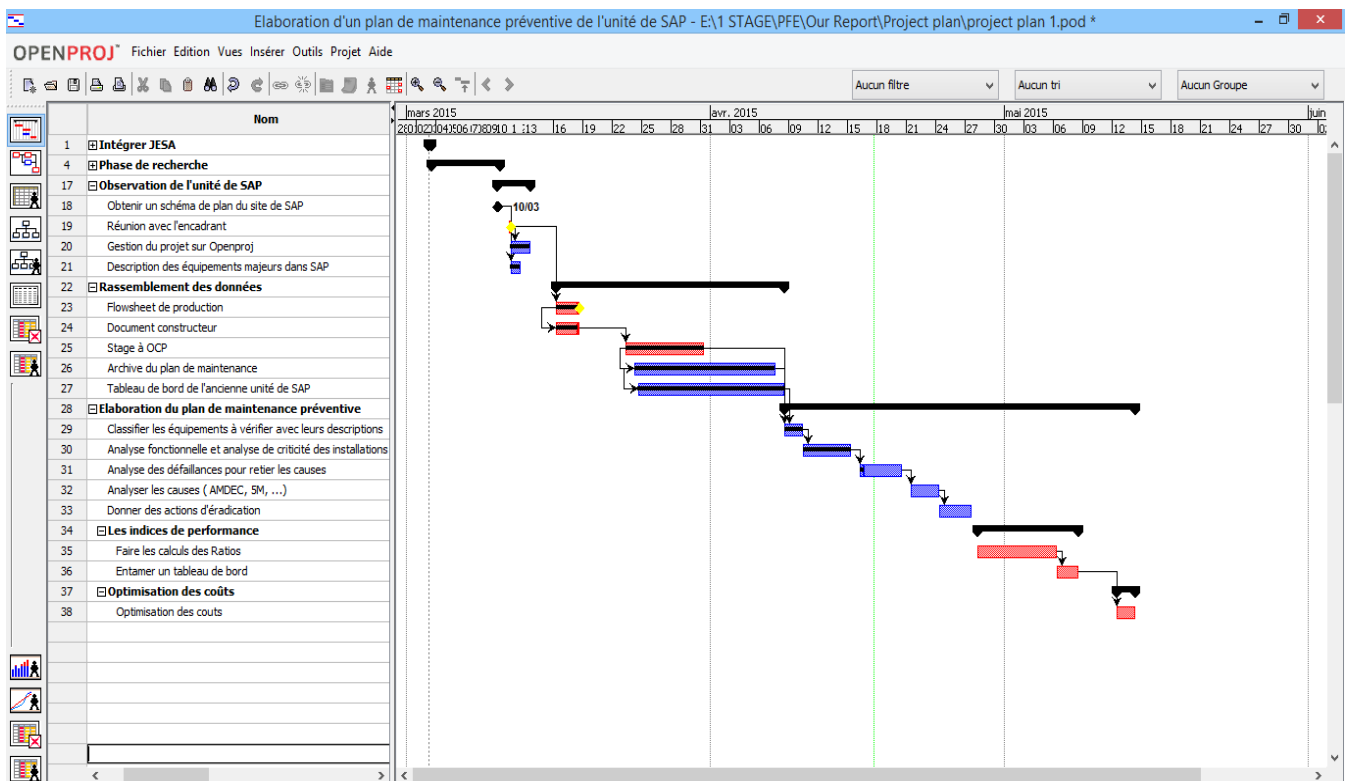


FIGURE 13 : DIAGRAMME DE GANTT

c. Analyse SWOT:

Un outil d'analyse stratégique. Il combine l'étude des forces et des faiblesses d'une organisation, d'un territoire, d'un secteur, etc... Avec celle des opportunités et des menaces de son environnement, afin d'aider à la définition d'une stratégie de développement. Le terme SWOT est acronyme issu de l'anglais :

S : Strengths (Forces) ;

W : Weaknesses (Faiblesses) ;

O : Opportunities (opportunités) ;

T : Threats (Menaces)

La matrice SWOT suivante va s'intéresser au propos du stage de projet de fin d'étude au sein de JACOBS ENGINEERING en montrant les points forts et faibles de ce stage, les opportunités et les menaces.

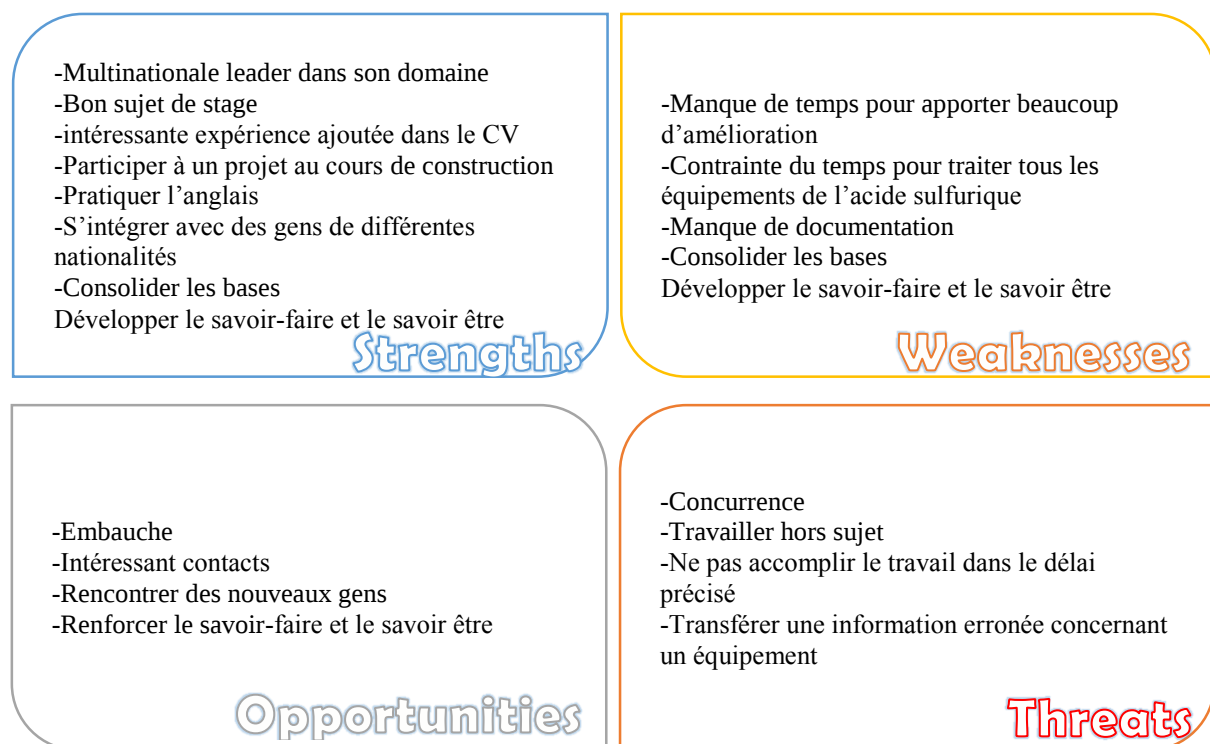


FIGURE 14 : MATRICE SWOT DU PROJET DE FIN D'ETUDE A JESA

Conclusion

Comme c'est perçu dans les recommandations du cahier des charges, la maintenance se révèle l'élément pivot de notre étude. Pour cadrer notre projet, nous allons consacrer le deuxième chapitre à la présentation de quelques généralités sur la maintenance et aussi sur les outils utilisés dans le projet.

Chapitre 2 :

Méthodes-Outils

Introduction

Afin de bien mener notre plan de maintenance préventive, c'est indispensable de définir dans cette partie les différentes perspectives de la maintenance en général et de la maintenance préventive en particulier, bien que la démarche et les outils qu'on va utiliser afin de réussir notre étude.

I. Généralités sur la maintenance préventive

1. Généralité sur la maintenance

a. Définition

C'est l'ensemble de toute 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 » (extrait de la norme européenne NF EN 13306 X 60-319 de juin 2001).



FIGURE 15 : DIFFERENTS TYPES DE LA MAINTENANCE

b. Les objectifs de la maintenance

Le rôle de la maintenance est d'assurer à l'outil de production le fonctionnement le plus fiable possible, dans les plages de disponibilité désirées par la production. Cet état de bon fonctionnement permet au moyen de processus opérationnel adéquat d'obtenir la qualité produite requise, de garantir la sécurité et de respecter l'environnement.

La maintenance se donne comme objectifs prioritaires de réduire les temps d'arrêt et d'augmenter le temps de bon fonctionnement.

2. La maintenance préventive

a. Définition

C'est la 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.

b. Les avantages de la maintenance préventive

La mise en place d'une pratique de maintenance préventive présente un certain nombre d'avantages :

- ✓ Une amélioration de la productivité de l'entreprise
- ✓ Un coût de réparation moins élevé
- ✓ La diminution des stocks de production
- ✓ La limitation des pièces de rechange
- ✓ Une meilleure crédibilité du service maintenance
- ✓ Une plus grande motivation du personnel de maintenance

La maintenance préventive : une amélioration de la sécurité

La première personne à subir les conséquences d'un bris ou d'une panne inopinée est le travailleur qui utilise l'équipement ou opère sur la machine. L'opérateur compense souvent pour les irrégularités de fonctionnement de la machine et il court ainsi de grands risques.

c. La maintenance systématique

C'est une maintenance préventive qui est effectuée selon un échéancier établi suivant le temps ou le nombre d'unités d'usage. Les principales opérations de maintenance systématique sont :

- ✓ Les remplacements ;
- ✓ Le graissage et la lubrification ;
- ✓ Les nettoyages ;
- ✓ La protection des surfaces ;
- ✓ Les réglages.

d. La maintenance conditionnelle

C'est une maintenance préventive subordonnée à un type d'événement prédéterminé révélateur de l'état de dégradation d'un bien. Le critère de déclenchement des opérations de maintenance (remplacement, réglage, rechargement,...) est le dépassement d'un certain seuil par un indicateur approprié d'apparition de défaillance.

e. Le plan de maintenance préventive

C'est un document sur lequel on trouve la liste des opérations de maintenance préventive ainsi que les informations nécessaires à leur exécution en terme de :

- ✓ Petit entretien,
- ✓ Inspection
- ✓ Contrôle,
- ✓ Test, essai, épreuve,
- ✓ Remplacement systématique,
- ✓ Nettoyage technique
- ✓ Contrôle périodique réglementaire pour maintenir la machine ou l'installation dans son état de bon fonctionnement.

Gamme de maintenance préventive

C'est un document sur lequel on trouve le mode opératoire, pas à pas qui détaille le contenu d'une opération du plan de maintenance préventive. Il décrit la manière de réaliser l'opération, la chronologie, les outillages spécifiques nécessaires, les valeurs de référence, les consignes de sécurité, ...

II. Démarche et méthodes

1. Principe de la maintenance préventive

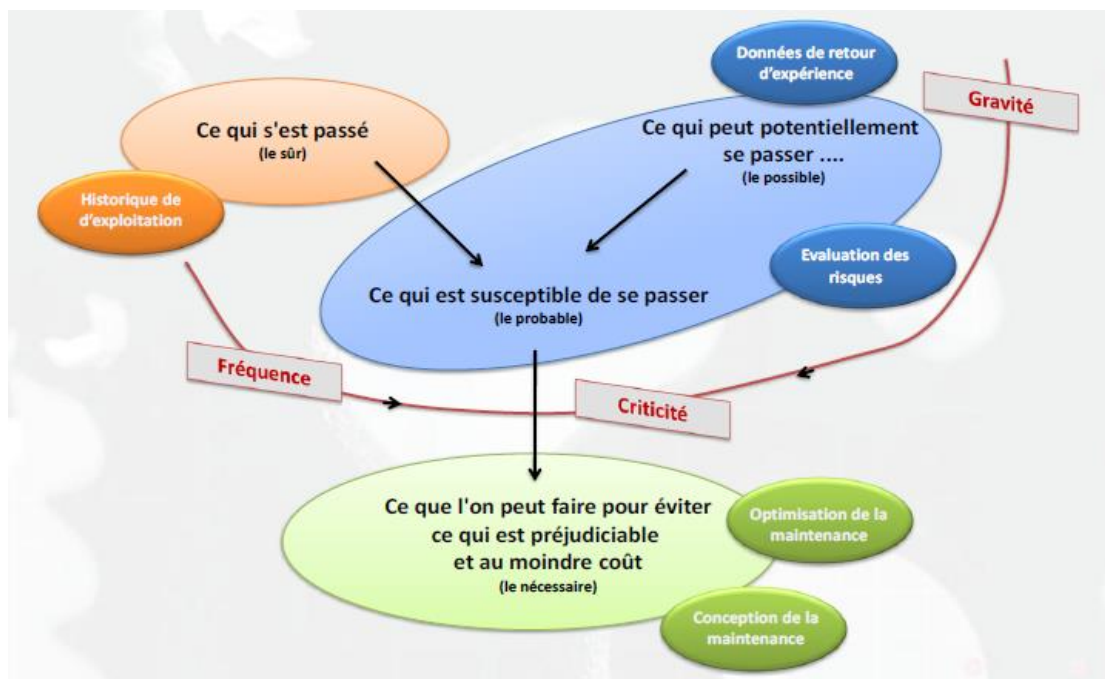


FIGURE 16 : SCHEMA DESCRIPTIF DE LA DEMARCHE POUR ETABLIR UN PLAN DE MAINTENANCE PREVENTIVE

Pour mettre en place un plan de maintenance préventive il convient d'avoir une démarche structurée, qu'on a procédé en 4 étapes :

Estimer la criticité des équipements à travers une échelle de classement (PARETO)

Etude fonctionnelle : Déterminer les emplacements des équipements à étudier dans les stations (Bête à corne, FAST, SADT, Pieuvre, ...)

Analyse des mécanismes de défaillance : Identification des modes de défaillance, leurs causes, leurs effets, leurs moyens de détection et leur criticité (Ishikawa, AMDEC).

Proposition des actions préventives : Etablir un plan de maintenance avec toutes les informations nécessaires au bon déroulement des entretiens, ainsi que les gammes et/ou fiches de maintenance.

Evaluation de la justification techno-économique : Suivant des Simulations et les indices de performance du tableau de bord.

2. Méthodes utilisées

a. PARETO

Objectif de l'outil : Le diagramme de Pareto permet de hiérarchiser les problèmes en fonction du nombre d'occurrences et ainsi de définir des priorités dans le traitement des problèmes.

Cas d'utilisation : Cet outil est basé sur la loi de 80/20. Autrement dit il met en évidence les 20% de causes sur lesquelles il faut agir pour résoudre 80 % du problème. Il sera utile pour déterminer sur quels leviers on doit agir en priorité pour améliorer de façon significative la situation.

Diagramme de PARETO : est composé de deux axes. L'axe des abscisses représente les causes, l'axe des ordonnées représente les effets sur le problème.

b. Le QQQQCP

Cet outil consiste à se poser toutes les questions suivantes :

- ✓ Qui
- ✓ Quoi
- ✓ Où
- ✓ Quand
- ✓ Comment
- ✓ Pourquoi

Objectif de l'outil : 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.

Cas d'utilisation : C'est un outil qui cherche à rendre factuel et exhaustive la description d'un problème. C'est un outil simple et compréhensible de tous.

Description : Cet outil consiste à se poser toutes les questions suivantes :

- **Qui :** Personnes concernées par le problème
- ✓ Qui a constaté le problème ?
- ✓ Sur quelle personne le problème va-t-il impacter ?
- **Quoi :** Nature et conséquence du problème
- ✓ Quelle est l'activité/processus concerné par le problème ?
- **Où :** Localisation et périmètre du problème
- ✓ Où le problème a-t-il des conséquences ?
- ✓ Quels sont les secteurs concernés ?
- **Quand :** Caractéristique temporelle du problème. Moment de l'occurrence.
- ✓ Quand a lieu le problème ? Suite à quel événement ?
- ✓ Quelle est sa fréquence d'apparition ?
- ✓ Depuis combien de temps le problème existe-t-il ?
- **Comment :** Mode d'occurrence du problème
- ✓ Comment le problème se révèle-t-il ?
- ✓ Quels sont ses effets ?
- **Pourquoi :** Raisons et causes du problème (Pourra être déterminé par le diagramme de cause-effets et l'outil des 5 pourquoi.)
- ✓ Qu'est ce qui explique l'occurrence du problème ?

c. Ishikawa (5M)

Objectif de l'outil : Ce diagramme permet de déterminer l'ensemble des causes qui produisent un effet étudié. Souvent, l'étape de recherche des causes est négligé ce qui engendre des erreurs de diagnostic. Si le mauvais levier est choisi. Cela a un impact direct sur le délai, la qualité, et sur les coûts engagés pour résoudre le problème.

Cas d'utilisation : Il est souvent utilisé dans le cadre d'une résolution de problème. Il sera utile pour déterminer de façon pertinente sur quels leviers on doit agir pour améliorer la situation.

Ce diagramme, sous l'aspect d'une arête de poisson, est composé d'un tronc principal au bout duquel est indiqué l'effet étudié et de 5 branches correspondant à 5 familles de causes :

- ✓ Main d'œuvre : (Connaissances, compétences, comportement, organisation de l'équipe de travail...)
- ✓ Milieu : (Environnement de réalisation de la tâche : température, luminosité, humidité, pression, ambiance...)
- ✓ Matière : (Matière première ou matière utilisée : référence d'un acier, huile, papier, stylos)
- ✓ Méthode : (Méthode de réalisation de la tâche : Systématique de travail, Marche à suivre, Document de description de la tâche)
- ✓ Moyens : (Outils utilisés pour la réalisation de la tâche : Machines, outils)

Les noms des différentes familles pourront être adaptés aux différentes situations de résolution de problèmes.

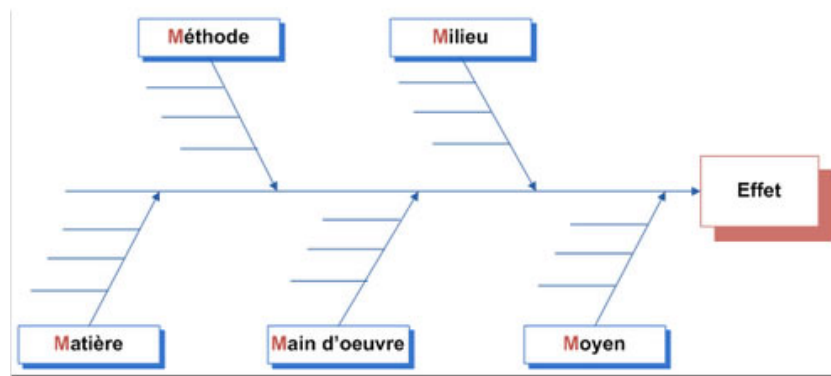


FIGURE 17 : DIAGRAMME D'ISHIKAWA

d. AMDEC

L'étude AMDEC (**A**nalyse des **M**odes de **D**éfaillance, de leurs **E**ffets et de leur **C**riticité) est une technique spécifique de la sûreté de fonctionnement, elle est avant tout une méthode d'analyse de systèmes (systèmes au sens large composé d'éléments fonctionnels ou physiques, matériels, logiciels, humains ...), s'appuyant sur un raisonnement inductif (causes conséquences) pour l'étude organisée des causes, des effets des défaillances et de leur criticité.

Finalité de l'AMDEC : identification des modes de défaillance potentiels et traitement de ces défaillances avant qu'elles ne surviennent, en vue de les éliminer ou d'en minimiser les conséquences

Les étapes de la méthode AMDEC : La méthode s'inscrit dans une démarche en huit étapes, comme dans plusieurs démarches, il y a une phase préparatoire qui consiste en une collecte de données pour réaliser l'étude, la mise sur pied d'un groupe de travail et la préparation des dossiers, tableaux, logiciels.

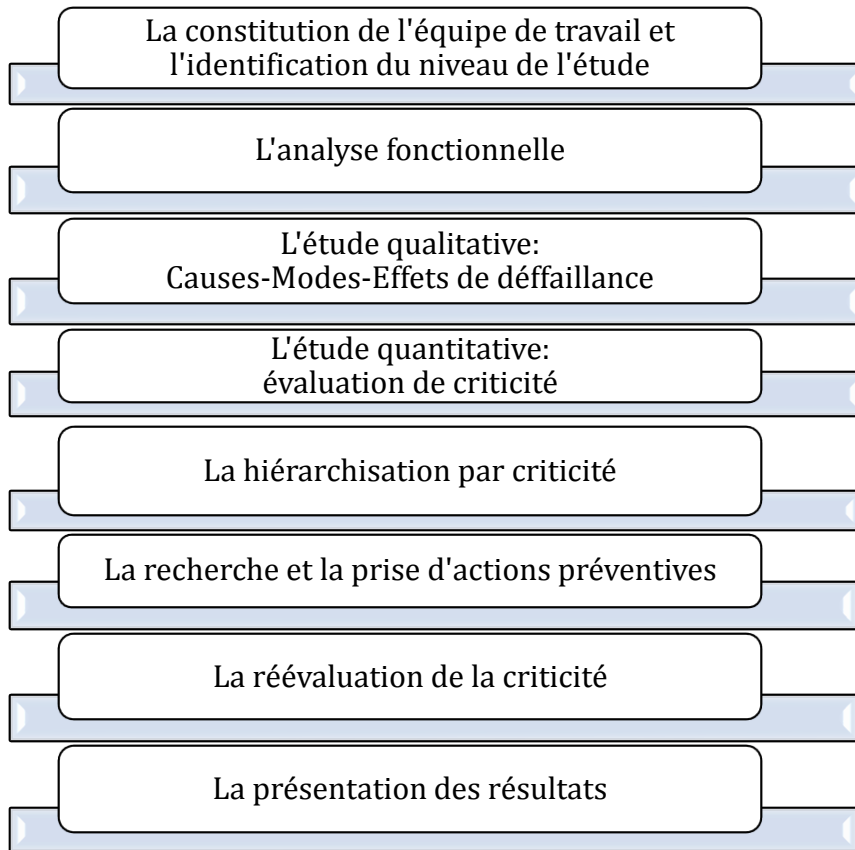


FIGURE 18 : DEMARCHE DE L'AMDEC

3. Oracle E-business

EAM (Enterprise Asset Management) est un module faisant partie d'Oracle E-Business Suite qui est un ensemble complet d'applications de gestion permettant de gérer et automatiser des processus métiers.

EAM est dédié à la Gestion de la Maintenance Assistée par Ordinateur (GMAO), il permet de créer une stratégie de gestion des équipements (maintenance préventive, documentation, mesures... etc.) ainsi que de gérer la maintenance curative (remplacement des bons de travaux par des DI).

Dans le contexte de Pakistan Maroc Phosphore, l'utilisation de cet outil fera intervenir dans un

premier temps les équipes de production et de maintenance suivant le schéma simplifié suivant :

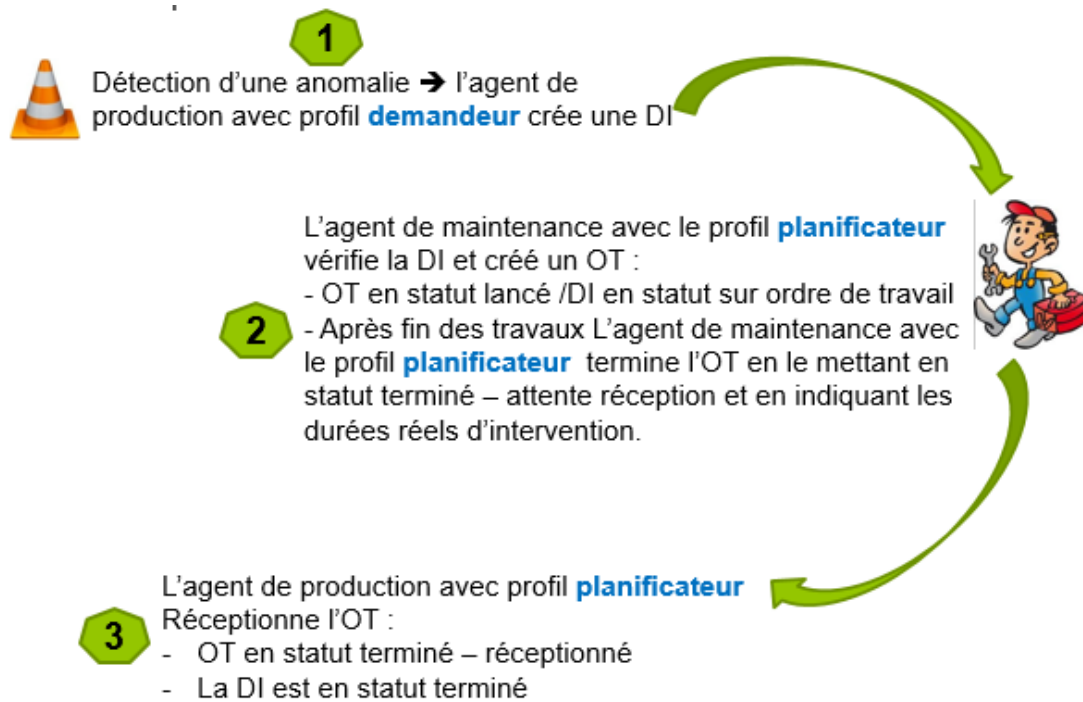


FIGURE 19 : STRATEGIE DE GESTION DE LA MAINTENANCE PAR ORACLE E-BUSINESS

Conclusion

Après avoir défini les différentes méthodes et outils qu'on va utiliser lors de notre étude, présenter les équipements sur quoi on va agir est indispensable afin de bien comprendre leur fonctionnement et les classer selon leur degré de priorité.

Chapitre 3 :

Etude et fiabilisation des équipements majeurs de l'unité d'acide sulfurique

Introduction

Afin d'élaborer un plan de maintenance préventive, on doit entamer au début une étude des équipements sur quoi on va agir, après une classification effectuée par ordre de priorité selon un ensemble de critères.

I. Classification des équipements majeurs dans La SAP - PMP

La démarche que nous avons adoptée pour aborder ce problème s'articule, comme c'est d'ailleurs le cas pour la plupart des approches multicritères, autour de quatre étapes principales :

- 1- Identifier l'ensemble des équipements à classer ;
- 2- Etablir une liste cohérente de critères de priorité ;
- 3- Evaluer les performances de chaque équipement selon les différents critères retenus ;
- 4- Appliquer une procédure d'agrégation pour classer ces équipements selon leurs performances globales.

On va choisir quelques équipements névralgiques, à l'aide du diagramme de PARETO.

1. L'ensemble des équipements

Dans le cadre de cette étude, les équipements doivent être rangés par ordre de priorité décroissante en vue d'orienter les efforts de l'équipe de maintenance chargée de les maintenir. Il s'agit d'un ensemble de neuf équipements appartenant à la zone de production de l'acide sulfurique.

2. La famille des critères

Une liste de quatre critères a été retenue. Elle a été élaborée en collaboration directe avec la direction générale et les ingénieurs et techniciens de maintenance d'une ancienne usine PMP qui contient les mêmes équipements que celui de P1. Ces critères sont :

a. Criticité de l'équipement

La criticité de l'équipement en fonction des arrêts et son impact sur la production.

b. Temps de réparation

C'est le rapport du temps total des réparations sur le nombre des réparations. Calcul fait à partir des données historiques. Le temps à prendre en considération est celui s'écoulant depuis que le service d'entretien est avisé de la panne jusqu'à la remise en état de la machine.

$MTTR = \sum N T_i / N$ où T_i : temps de réparation de la panne i et N = nombre de pannes.

c. Facteur d'influence

Si une panne survenait sur l'équipement, elle engendrerait :

- un risque mortel ;
- un risque de dommages élevé ;
- aucun risque.

Ainsi ça concerne l'existence d'une installation de secours.

d. Probabilité des pannes

C'est le nombre de fois que la machine tombe en panne durant une période donnée.

Fréquence = N/T où N est le nombre de pannes pendant la période de temps T .

3. Evaluation de la performance

Pour les neuf équipements, des scores ont été attribués par rapport à chacun des six critères, sur la base des échelles de mesure telles qu'elles sont présentées dans le tableau de classification.

4. Agrégation multicritère

À cette étape de la démarche de rangement suivie, nous sommes appelés à utiliser une méthode d'agrégation multicritère pour dégager une évaluation globale de chacune des machines considérées à partir des scores élémentaires obtenus selon chaque critère pris séparément, tels qu'ils sont donnés dans le tableau des performances.

5. Historique des données de Pakistan phosphore (voir Annexe I et II)

En se basant sur l'historique et d'après des observations effectuées au sein de l'ancienne usine PMP sur les équipements de l'unité de production de l'acide sulfurique, on peut entamer une classification de ces équipements pour maintenir ceux prioritaires pour éviter des conséquences indésirables dans la nouvelle unité sulfurique de P1.

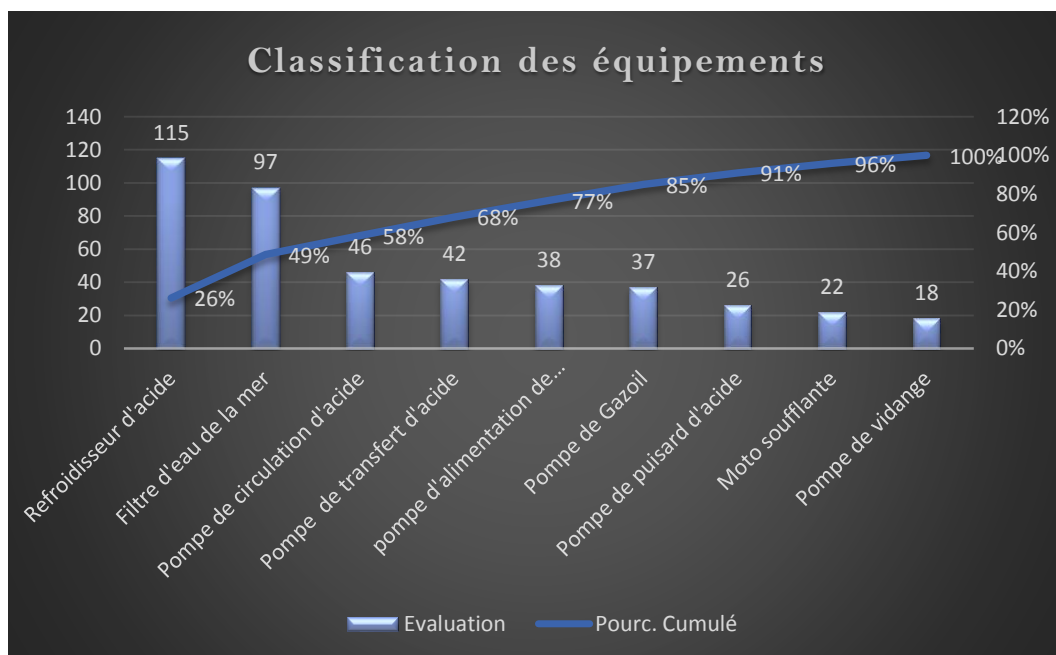


FIGURE 20 : DIGRAMME DE PARETO

Selon les données obtenues ci-dessus au sein du PAKISTAN PHOSPHORE, Les équipements majeurs sont :

Refroidisseur de l'acide dont son étude a été effectuée l'année passée avec l'élaboration de son plan de maintenance, la tour de refroidissement est conçue pour refroidir l'eau chaude provenant des sept échangeurs à plaque, à l'aide de l'air ambiant.

Il s'agit d'un cas particulier d'un échangeur de chaleur où le transfert thermique s'effectue par contact direct ou indirect entre les flux.

Filtre d'eau de mer : autonettoyant, vertical, 100% automatique est indiqué pour filtrer l'eau de refroidissement aux utilisateurs de l'eau de refroidissement d'usine. Le tamis est équipé de purge automatique et d'indication de différence de pression.

Les pompes les plus considérées des équipements névralgiques au sein de l'unité de l'acide sulfurique, sont classées selon leurs vendeurs :

➤ Type monocellulaire :

✓ **ENSIVAL MORET :**

401AAP01	}	Pompe de circulation d'acide de la tour de séchage
401AAP02		Pompe de circulation d'acide de la tour d'absorption finale

✓ **Weir LEWIS :**

401AAP04	}	Pompe de circulation d'acide du SRC
401ABP04		

Au cours de notre étude suivante, on a choisi ces pompes sur quoi on va agir pour élaborer un plan de maintenance préventive, vu leurs importances dans la production.

II. Etude de fonctionnement de la pompe de circulation d'acide

1. Description des pompes de circulation d'acide P01, P02, et P04

L'atelier de production d'acide sulfurique à l'usine P1, est équipé des pompes de circulation d'acide monocellulaires.

Ces pompes sont de type centrifuges verticales fonctionnent dans un milieu très corrosif (H_2SO_4 concentré à 98,6% et à une température allant jusqu'à 110°C). En conséquence, ces pompes sont exposées à une usure prématurée par corrosion. Dont une planification d'entretien systématique et préventive est nécessaire pour assurer une meilleure disponibilité.

➤ Pompe de circulation d'acide de la tour de séchage (401 AAP 01)

Pompe à acide verticale, centrifuge, à moteur et résistante à la corrosion, avec une capacité maximale d'environ 1861 m³/h. La pompe fournit l'acide à partir le bac de circulation à la tour de séchage à travers le 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 SRC (si nécessaire).

➤ Pompe de circulation d'acide de la tour d'absorption finale (401 AAP 02)

Pompe à acide verticale, centrifuge, à moteur et résistante à la corrosion, avec une capacité maximale d'environ 1082 m³/h. La pompe fournit l'acide à la tour finale à partir du bac de circulation.

➤ Pompe de circulation d'acide du SRC (401 AAP/ABP 04)

Ces deux pompes à acide, verticales, centrifuges, à moteur et résistantes à la corrosion, d'une capacité d'environ 1700 m³/h de H₂SO₄ à 99.6%, à environ 218°C. Les deux pompes fonctionnent en parallèle et font circuler l'acide de la base de la tour de HRS en passant par la chaudière du SRC et les dilueurs du SRC, vers le premier étage de la tour du récupération de chaleur, ainsi que le flux transversal passant par le chauffeur et le préchauffeur du SRC pour atteindre le bac de circulation. Une troisième pompe sert de pompe de réserve non installée.



FIGURE 21 : POMPE DE CIRCULATION D'ACIDE ENSIVAL MORET (1); POMPE D'ACIDE LEWIS (2)

N.B : On s'intéressera par la suite d'étudier uniquement la pompe d'acide P01

2. Dessin d'ensemble de la pompe d'acide P01 (voir annexe III)

3. Milieu de fonctionnement

a. Caractéristiques de la pompe et les conditions de milieu de fonctionnement

Les conditions de service générales sont comme suit :

- ✓ Température : Elle varie entre 97°C à 110°C
- ✓ Pression : 4 bars

Humidité relative de l'air :

- ✓ Humidité relative maximale : 100%
- ✓ Humidité relative normale : 70%
- ✓ Humidité relative minimale : 30%

Pump Performances		ENSIVAL MORET		LEWIS
		401 AAP 01	401 AAP 02	401 AAP/ ABP 04
Fluid	%	98.6	98.6	99.6
Capacity	m ³ /h	1861	1082	1700
Total head	m	33	19	-
Rotation speed	tr/min	970	1470	980
Efficiency pump	%	80.3	74.3	79
Abs. power at nom.d	KW	385.5	139.4	225
Min. flow	m ³ /h	500	400	-
Min. motor rating	KW	425	154	250
NPSHr	mCl	5.2	4.6	4.4

TABLE 1 : LES PERFORMANCES DES POMPES D'ACIDE DANS LA SAP

b. Impact du milieu sur le fonctionnement de la pompe

Les pompes 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.

4. Exigence d'exploitation et exigences techniques

- ✓ -Les pompes doivent être disponibles et en bon état (débit et pression conformes), pendant les cycles d'exploitation qui est d'environ 2 ans.
- ✓ -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.
- ✓ -Les changements importants des conditions de service (perturbation de la dilution au niveau du bac) ne sont pas admis. Les matériaux des pompes étant conçus spécialement pour une plage limitée de concentration d'acide et de température.
- ✓ -Révision et montage selon le manuel du constructeur ou les gammes du présent document.
- ✓ -Respect de la procédure de démarrage selon les gammes de ce document.
- ✓ -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). La position verticale est la mieux préconisée.
- ✓ Pour une pompe ancienne, il faut surtout éviter de la laisser placée 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.

5. L'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.

- ✓ L'indisponibilité d'une pompe réduit la cadence de l'unité correspondante à 50%.
- ✓ L'indisponibilité d'une pompe induit l'arrêt de l'unité correspondante.

Il est donc évident que ces pompes sont critiques et par conséquent, leur maintenance doit être à la hauteur de cette criticité.

Conclusion

Afin d'éviter cet influence indésirable de la panne sur la production, il est donc indispensable de la déterminer et localiser son emplacement, son effet, sa cause et sa criticité.

Chapitre 4 :

Analyse des modes de défaillance, de leurs effets, et de leurs criticité des équipements critiques

Introduction

Dans ce chapitre et afin de mieux cerner le besoin, on a procédé à une analyse de des pompes de circulation d'acide en se basant sur deux principales méthodes, la méthode QQQQCP et le diagramme Ishikawa. L'objectif est de présenter une formulation claire des objectifs qu'on va déduire au fur et à mesure du développement de notre analyse. Une deuxième partie a été consacrée une étude AMDEC qui avait pour but de répertorier les principaux modes de défaillance de la pompe ainsi que leurs criticités.

I. Identification de la problématique par la méthode QQQQCP

Quoi ?	
De quoi s'agit-il ?	Elaboration d'un plan de maintenance préventive des équipements de la SAP
En quoi consiste l'intérêt d'élaborer un plan de maintenance ?	-Maximiser la disponibilité des pompes -Minimiser les temps d'arrêts et gagner la productivité
Quel est l'état de la situation ?	-L'usine est en cours de Démarrage, -Les pompes ne sont pas encore employées
Qu'est ce qui manque en termes de politique de maintenance des pompes de circulation d'acide ?	Le manque de documentation de constructeur et d'un plan de maintenance communiqué par le constructeur
Qui ?	
Qui est concerné ?	La division technique
Qui est intéressé par le résultat ?	JESA
A qui l'amélioration rendra-t-elle service ?	Le service maintenance
Qui peut aider pour élaborer ce plan de maintenance ?	-Atelier de maintenance à l'usine de Pakistan Phosphore -Équipe de Jacobs Engineering S.A
Où ?	
Dans quelle usine le travail sera effectué ?	Le complexe africain des engrais
Sur quel équipement ?	Les pompes de circulation d'acide
Où se trouvent ces pompes dans l'usine ?	-Tour de séchage -Tour finale -Tour SRC (système de récupération de la chaleur) de l'unité sulfurique
Où le problème apparaît-il ?	Dans les éléments constitutifs de la pompe
Quand ?	
Quand le plan de maintenance doit-il être élaboré ?	-Avant le démarrage de la production
Quand est ce que a-t-on recours à la maintenance des pompes ?	-Suivant la fréquence définit dans notre politique de maintenance
Comment ?	
Comment maximiser la disponibilité des pompes ?	-En réduisant le temps de réparation
Dans quelles conditions fonctionnent-elles ?	-Milieu acide
Avec quelles méthodes, quels moyens on va travailler ?	-Pareto, AMDEC et Ishikawa -GMAO, Oracle -SolidWorks
Comment diminuer les coûts de la maintenance ?	En établissant un plan de maintenance préventive des pompes de circulation d'acide

Pourquoi ?	
Pourquoi une telle étude ?	-Maximiser la disponibilité des pompes ; -Eviter les fuites d'acide -Eviter les arrêts de production imprévus ; -Réduire le coût de la maintenance -Maintenir le zéro accident
Pourquoi JESA s'intéresse à la maintenance des équipements ?	-Prochainement Jacobs Engineering S.A va ajouter un service de maintenance dans son bureau d'étude

TABLE 2 : IDENTIFICATION DE LA PROBLEMATIQUE PAR LA METHODE QQOQCP

II. Taux de défaillance

1. La synthèse des arrêts des pompes d'acide enregistrées 2013 (Annexe IV)

2. Taux de défaillance moyens par rapport aux pannes enregistrées (2013)

Le taux de défaillance est fourni par les constructeurs mais vous pouvez le définir par exploitation des historiques de pannes.

$$\lambda = \frac{\text{nombre de pannes}}{\text{nombre d'heures de fonctionnement}}$$

Evolution d'un équipement tout au long de son cycle de vie (LCC) :

Zone 1 : période de rodage, les pannes nombreuses au début diminuent

Zone 2 : période durant laquelle le nombre de pannes est le plus faible

Zone 3 : période de vieillissement accéléré, le nombre de pannes augmente sans cesse.

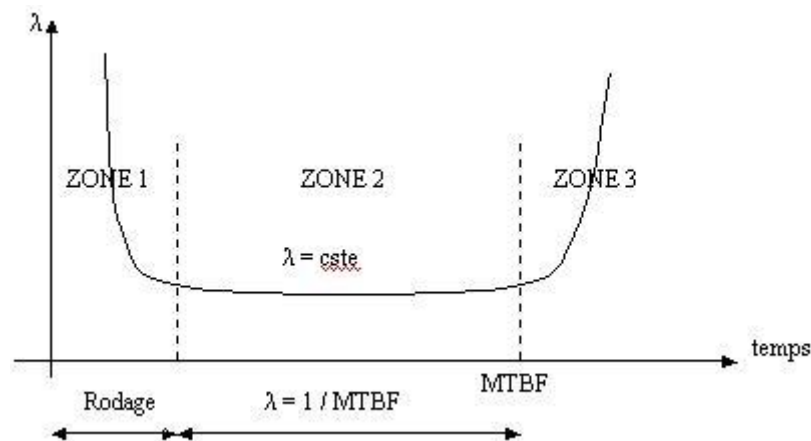


FIGURE 22 : COURBE EN BAIGNOIRE DU TAUX DE DEFAILLANCE

La durée de fonctionnement annuel de la pompe avec considération de l'arrêt annuel programmé : 8280 heures.

La durée de la panne : 145.35 heures, le nombre des pannes : 20.

Le taux de défaillance dans notre cas est :

$$\lambda = 2.4 \times 10^{-3}$$

III. Analyse AMDEC

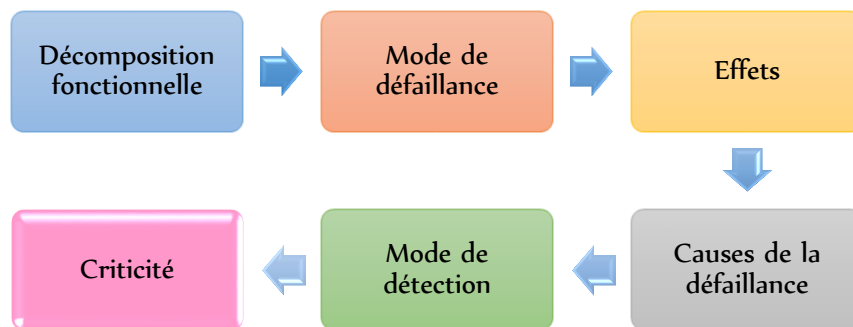


FIGURE 23 : ÉTAPES DE REALISATION DE L'ÉTUDE AMDEC

Cette analyse a pour objectif d'identifier de façon inductive et systématique les risques de dysfonctionnement des machines, puis à en rechercher les origines et leurs conséquences. Elle Permet de calculer la criticité d'un composant de l'équipement en se basant sur trois critères : la gravité, l'occurrence et la détectabilité. De ce fait on peut en déduire les composants critiques et leurs associer des actions appropriées pour chacun.

1. Analyse fonctionnelle

L'analyse fonctionnelle est une démarche qui décrit complètement les fonctions et leurs relations, qui sont systématiquement caractérisées, classées et évaluées (NF X 50-100).

a. Analyse fonctionnelle externe

C'est le point de vue de l'utilisateur du produit, celui-ci ne s'intéresse au produit qu'en tant que « boîte noire » capable de fournir des services dans son environnement durant le cycle d'utilisation. Les actions correspondantes externes appelées fonctions de service dont l'ensemble constitue l'expression fonctionnelle du besoin.

- Bête à corne

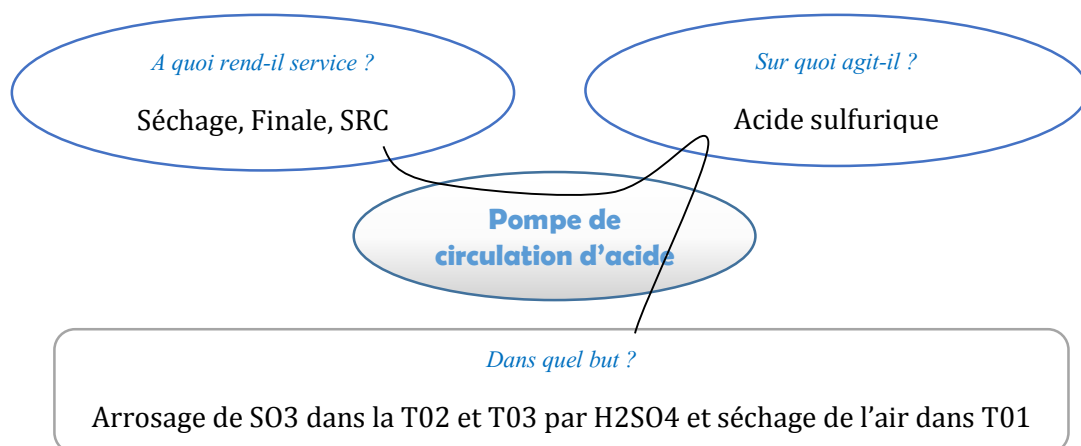


FIGURE 24 : DIAGRAMME BÊTE A CORNE DES POMPES DE CIRCULATION D'ACIDE

- Diagramme de pieuvre

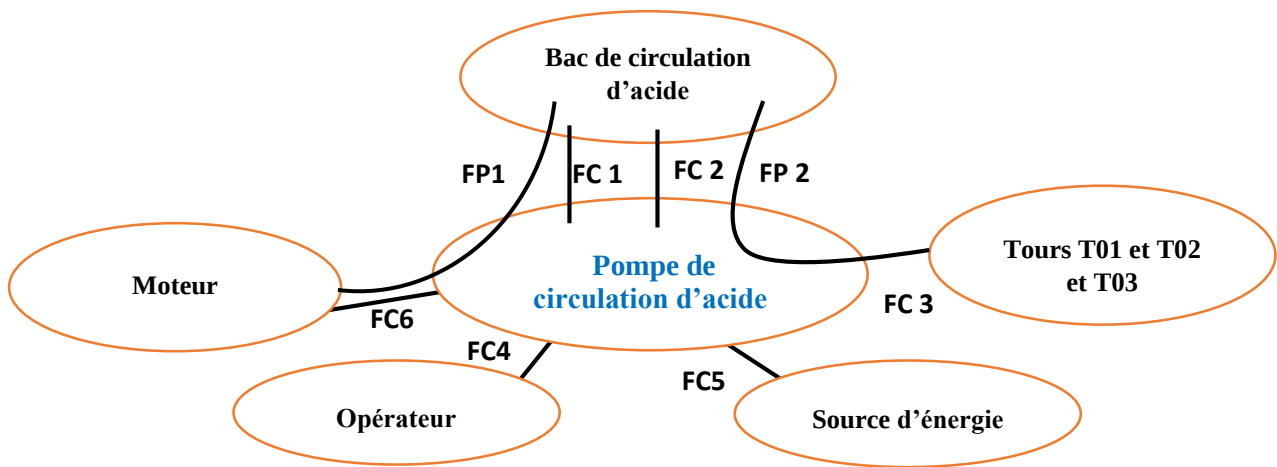


FIGURE 25 : DIAGRAMME PIEUVRE DES POMPES DE CIRCULATION D'ACIDE

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	Facile à maintenir et ne présente pas un 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

TABLE 3 : FONCTIONS PRINCIPALES ET CONTRAINTES DU DIAGRAMME PIEUVRE

b. Analyse fonctionnelle interne

La structuration organique interne d'une pompe stipule que, la réalisation de la fonction souhaitée par cet équipement est issue de la transmission de l'énergie mécanique provenant du moteur électrique. Cette énergie est ensuite transformée en énergie hydraulique par l'opérateur qui réalise l'action. Cet opérateur joue le rôle d'un convertisseur puisque l'énergie de sortie est différente à celle de l'entrée.

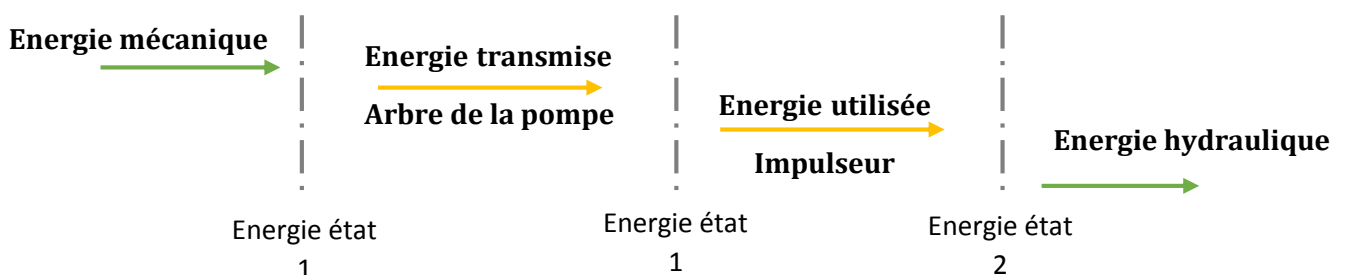


FIGURE 26 : DIAGRAMME ENERGETIQUE DES POMPES D'ACIDE

L'analyse fonctionnelle constitue l'outil privilégié pour illustrer d'une manière détaillée les différents composants internes d'une pompe, ainsi que les interactions existantes entre eux. Ce qui va être une préparation efficace pour l'analyse suivante des défaillances.

c. Les éléments à étudier et les fonctions à assurer

Groupe	Composant		Fonctions
Partie motrice	Moteur électrique	Stator	Assurer de l'énergie pour faire tourner l'arbre de transmission
		Rotor	
Partie de transmission de puissance	Arbre		Transmission du mouvement rotatif du moteur à l'impulseur
	Accouplement		Transmission du couple
	Unité de guidage	Roulement	Assure le guidage en rotation par glissement
		Paliers lisse	
		Bagues	
Corps de la pompe	(Impulseur, turbine)		Le corps de la pompe a pour but de prendre le liquide qui provient de l'aspiration et de le diriger vers le refoulement
	Pièces d'usure		
	Corps d'aspiration		
	Orifice de refoulement		
Partie d'étanchéité	Tresses		Assurer l'étanchéité
	Garniture mécanique		
Unité de support	Boitiers de roulements		Supporter et guider, en rotation, des arbres de transmission
	Enveloppes		
	Coude		
	Volute		

TABLE 4 : LES ELEMENTS A ETUDIER DE LA POMPE ET LEUR FONCTIONNEMENT

2. Le tableau AMDEC: (Voir annexe V)

a. Mode de défaillance

Une fois la liste des composants identifiée, on peut chercher les modes de défaillance. Pour les identifier, il faut connaître la fonction du composant. Cette fonction peut cependant être mal assurée.

b. Effet de défaillance

Pour une défaillance donnée, on a un effet. Cela peut être un arrêt de l'installation, d'une partie de l'installation, un risque pour l'opérateur, des rejets environnementaux, ... L'identification de l'effet de la défaillance permet de définir la gravité de celle-ci.

- **Gravité**

La gravité est le premier facteur de la criticité à définir, on commence par celui-ci car en fonction de sa note, on doit ou pas continuer l'AMDEC.

Il faut définir la gravité d'une défaillance pour chacun des 5 points : la sécurité, la production, la qualité, l'impact environnemental et la réputation de l'entreprise. Si un des points a un score plus haut que les autres, on prendra la note la plus haute afin de faire ressortir le point critique.

Gravité	Détail	Note
Mineure	Sécurité : Aucune incidence mesurable Production : Aucune incidence mesurable Qualité : Aucune incidence mesurable Environnement : Aucune incidence mesurable Réputation : Aucune incidence mesurable	1
Moyenne	Sécurité : Risque faible pour les machines seulement Production : Retard rattrapable en travail normal Qualité : Manque de qualité acceptable Environnement : Emissions, rejets dans les normes, mais au-dessus de l'optimum Réputation : Mécontentement ponctuel d'un client sans modification des habitudes	2
Importante	Sécurité : Risque faible pour le personnel Production : Retard rattrapable en travail supplémentaire Qualité : Manque de qualité rattrapable Environnement : Pollution accidentelle confinée au site de production Réputation : Mécontentement du client avec perte de marché	3
Catastrophique	Sécurité : Risque grave pour le personnel et les machines Production : Retard non rattrapable Qualité : Manque de qualité non rattrapable Environnement : Pollution accidentelle affectant l'extérieur du site Réputation : Perte de marchés importants avec déstabilisation possible de la société	4

c. Cause de défaillance

On différencie les différentes causes car elles peuvent avoir des occurrences et des détectabilités différentes. Par exemple, un roulement peut ne plus tourner parce qu'il est grippé ou desserré. Une fois les causes identifiées, on peut noter l'occurrence.

- **Occurrence**

Pour définir l'occurrence d'une panne, il faut se baser sur l'expérience propre, celle de l'opérateur ou des techniciens maintenance (historique de pannes). On peut aussi faire des comparaisons avec d'autres équipements connus relativement similaires.

Occurrence	Détail	Note
Exceptionnelle	La possibilité d'une défaillance est pratiquement inexistante	1
Rare	Une défaillance s'est déjà produite ou pourrait se produire	2
Occasionnelle	Il y a eu traditionnellement des défaillances dans le passé	3
Fréquente	Il est presque certain que la défaillance se produira souvent	4

d. Mode de détection

La détectabilité est un point important, si on ne peut pas prédire la panne, il y a un plus grand risque d'arrêt à cause d'elle. On peut réduire la détectabilité et donc la criticité d'un équipement en lui affectant des capteurs ou en le remplaçant par un qui l'intègre.

Détectabilité	Détail	Note
Très bonne	Il existe des capteurs en ligne	1
Bonne	La défaillance est décelable ou visible	2
difficile	Nécessite un démontage ou utilisation d'un appareil de contrôle	3
pas détectable	La défaillance n'est pas décelable ou encore sa localisation nécessite une expertise approfondie	4

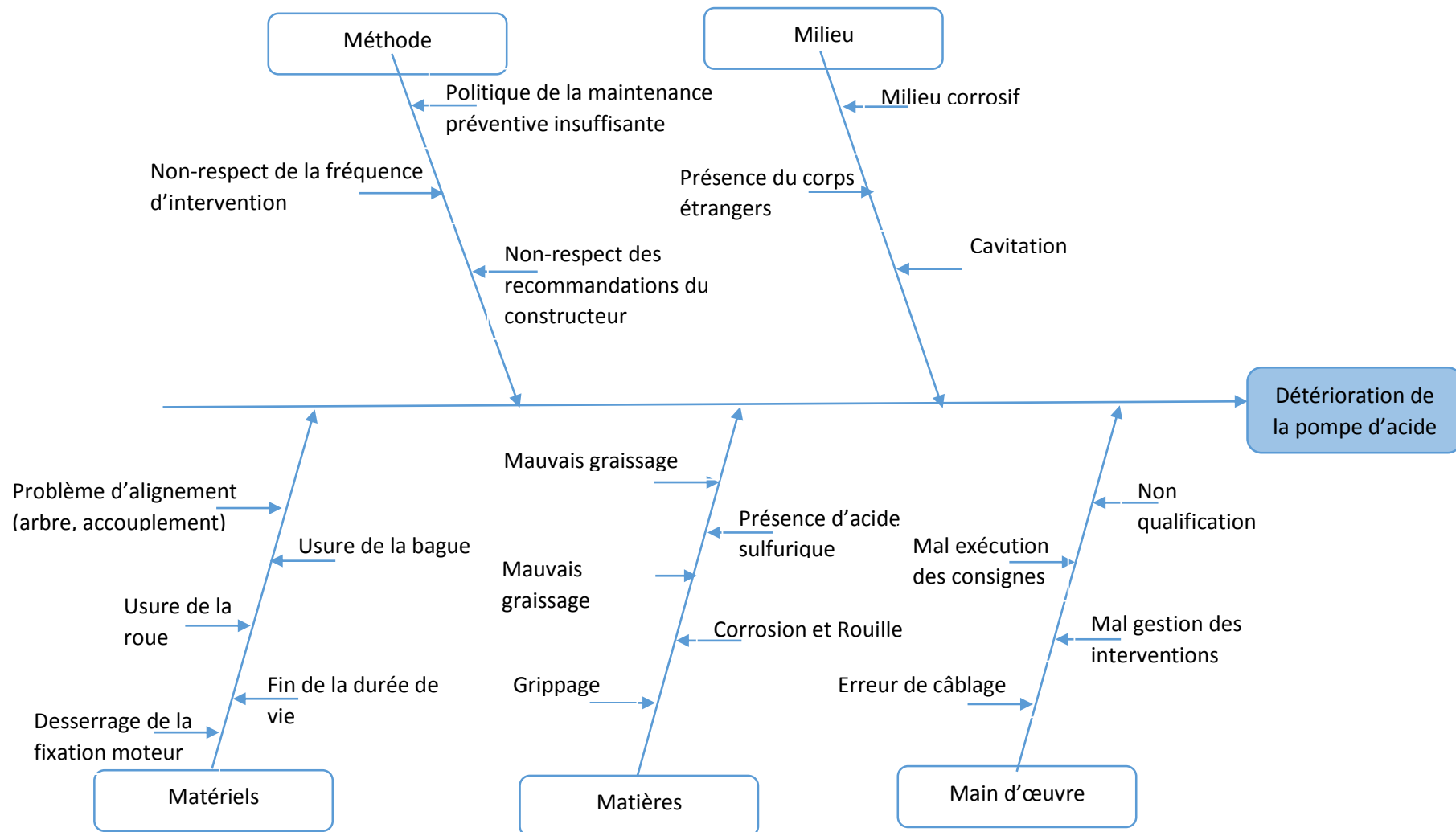
e. Criticité

La Criticité est en fait la gravité des conséquences de la défaillance, déterminée par :

$$C = D \times G \times F$$

Criticité	Action
C < 16	Ne pas tenir compte (hormis la maintenance de base : lubrification, nettoyage, contrôle visuel par l'opérateur)
16 <= C < 32	Mise sous maintenance préventive à fréquence faible
32 <= C < 36	Mise sous maintenance préventive à fréquence élevée
36 <= C < 48	Recherche d'amélioration
C >= 48	Reprendre la conception

3. Identification des causes par la méthode Ishikawa



4. Evaluation de la criticité

Dans un premier temps l'AMDEC m'a permis de découvrir toutes les modes de défaillance possibles, leurs causes, leurs conséquences et leurs méthodes de détection et d'identifier les sous-ensembles critiques de ces équipements comme le montre l'histogramme suivant, selon le seuil de criticité qu'on a fixé :

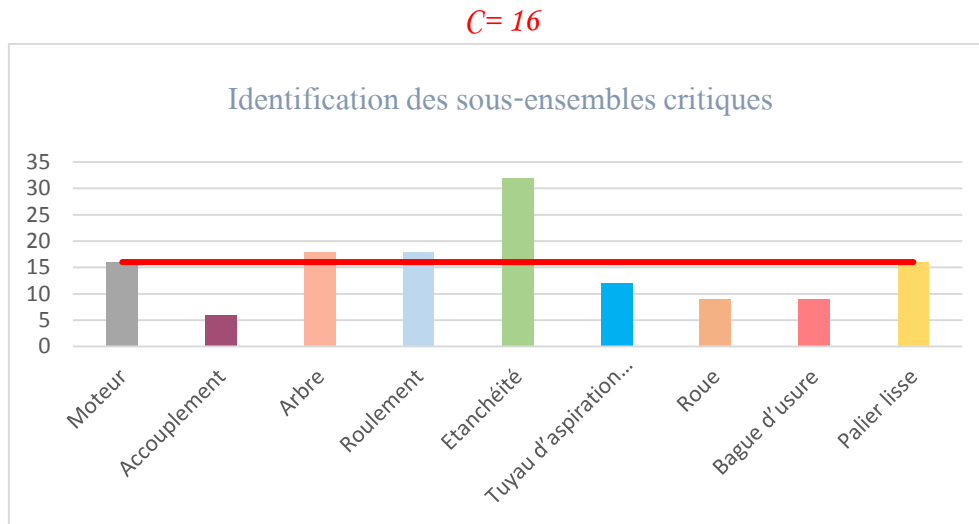


FIGURE 27 : RESULTATS DE L'AMDEC DES POMPES DE CIRCULATION

Donc pour réduire la criticité il faut réduire les trois facteurs qui sont la fréquence, la gravité et la non-détection par les méthodes suivantes :

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

➤ **Application PARETO:**

Sous-élément	Criticité	%	% cumulé
Etanchéité	32	24%	24%
Arbre	18	13%	37%
Roulement	18	13%	50%
Palier lisse	16	12%	62%
Moteur	16	12%	74%
Tuyau d'aspiration et de refoulement	12	9%	83%
Roue	9	7%	90%
Bague d'usure	9	7%	97%
Accouplement	6	3%	100%

TABLE 5 : DONNEE DU DIAGRAMME PARETO

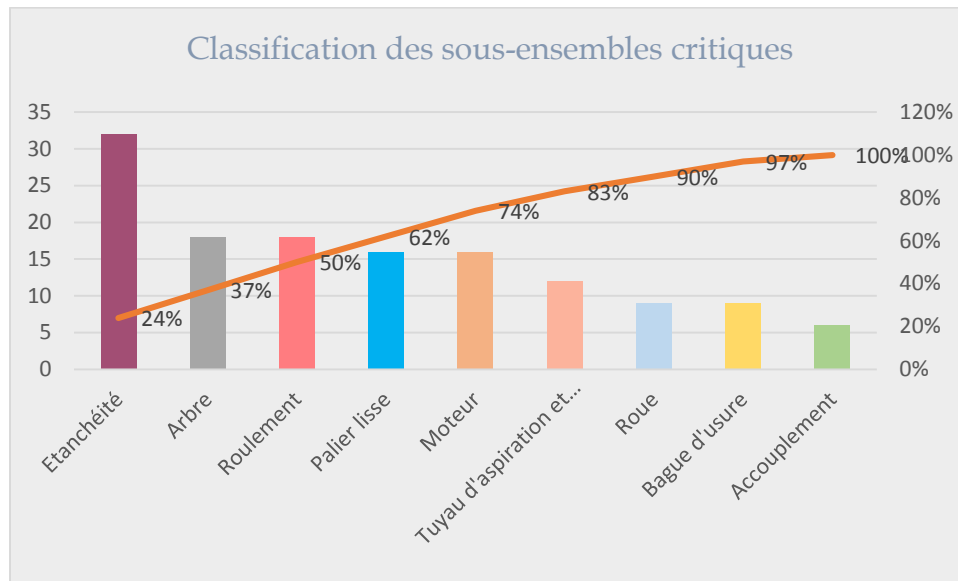


FIGURE 28 : CLASSIFICATION DES SOUS-ENSEMBLES CRITIQUES PAR PARETO

➤ **Analyse ABC**

Classe A	Classe B	Classe C
Etanchéité	Arbre	Tuyau d'aspiration et de refoulement
	Roulement	Roue
	Palier lisse	Bague d'usure
	Moteur	Accouplement

TABLE 6 : LES CLASSES ABC

A cette étape, on constate que les sous-ensembles les plus critiques de la pompe sont au niveau de l'étanchéité qui nécessite une maintenance préventive à fréquence élevée, ainsi que l'arbre, les roulements, les paliers lisses, et le moteur qui nécessitent d'une maintenance préventive à fréquence faible d'après la valeur de criticité obtenue.

Conclusion

Les résultats obtenus à partir de l'analyse AMDEC nous donnent juste les sous-ensembles critiques selon un ordre de priorité qui nécessitent plus d'interventions afin de garder la fiabilité de la pompe, et ça ne veut pas dire que les autres sous-éléments ne sont pas assez importants.

Dans le chapitre qui suit nous allons montrer les opérations qui seront effectuées lors des interventions à travers un plan de maintenance préventive

Chapitre 5 :

Elaboration d'un plan de maintenance préventive de la pompe de circulation d'acide

Introduction

Le plan de maintenance des pompes d'acide est déterminé sur la base de l'expérience interne acquise au fil du temps. Cette expérience est le fruit de plusieurs années durant lesquelles plusieurs opérations de maintenance ont été effectuées et plusieurs modes de défaillance ont été observés, on a ressortit que :

- ✓ Une pompe d'acide neuve ou complètement révisée (pièces d'usure neuves) peut fonctionner sans aucune panne pendant au moins 24 mois. Après quoi, il faut procéder à un entretien de ses éléments.
- ✓ Une pompe d'acide neuve ou complètement révisée fonctionne sans problème le long du cycle d'exploitation.

Les objectifs à accrocher par l'application d'un plan de maintenance préventive se résument comme suit :

- ✓ Améliorer le rendement des équipements ;
- ✓ Diminuer les heures d'arrêts ;
- ✓ Améliorer la qualité des services ;
- ✓ Assurer la sécurité des biens et du personnel ;
- ✓ Diminuer les coûts.

I. Généralités sur un plan de maintenance préventive

1. Définition d'un plan de maintenance préventive

Le Plan de Maintenance Préventive est la liste de toutes les interventions nécessaires à effectuer sur une machine ou une installation en termes de nettoyage technique, contrôle, visite, inspection et intervention de maintenance, pour la maintenir à son état de référence. Il permet une vision globale de toutes les actions à apporter à l'équipement.

La liste des actions du plan de maintenance préventive détermine des actions prises en charge par les opérateurs de production dans le cadre de la maintenance autonome (MA), et celles prises en charge par l'équipe de maintenance dans le cadre de la Maintenance Professionnelle (MP).

Toutes ces opérations font souvent référence à des gammes de maintenance qui sont le descriptif opératoire pour réaliser l'action. Elles montrent la manière, la chronologie, les valeurs de référence et les consignes de sécurité.

2. Processus de préparation d'un plan de maintenance préventive

La mise en œuvre d'un plan de maintenance préventive systématique comporte deux phases :

- ✓ **L'élaboration du plan** : Consiste à analyser les actions préventives proposées suivant la criticité de chaque équipement ainsi que d'établir un programme selon un processus structuré.
- ✓ **L'exécution du plan** : Consiste à lancer les opérations et réaliser des visites afin de collecter les informations nécessaires pour l'évaluation du plan.

3. Description du plan proposé

Le plan de maintenance préventive, que nous avons proposé, est composé de treize colonnes qui comportent les désignations représentées dans le tableau suivant :

N° de colonne	Désignation	Définition
1	Sous-ensemble	Partie de l'ensemble contenant l'élément sur lequel on agit
2	Élément	Matériel ou composant du sous-ensemble sur lequel on agit
3	Opération à effectuer	Désignation de l'opération à effectuer
4	Charge prévue	Temps estimé de l'opération
5	Périodicité	Intervalle de temps entre deux opérations.
6	Etat machine	Etat de la machine pendant la réalisation de l'opération. Codification utilisée : AHP : Arrêt Hors Tension. MEP : Machine En Production.
7	Outillage	Outillage nécessaire à la réalisation de l'opération
8	N° d'intervention	Numéro d'intervention
9	MA	« X » si la maintenance est autonome
10	MP	« X » si la maintenance est réalisée par un professionnel de la maintenance
11	Spécialité	Métier préconisé pour réaliser l'opération Codification utilisée : MS : Mécanicien spécialisé

II. Entretien et inspections

Dans ce qui suit on va établir l'inventaire des interventions ; pièce maitresse du plan de maintenance. Ils représentent d'une façon globale et synthétique l'activité de maintenance prévisible sur la pompe : ils énoncent l'ensemble des interventions à réaliser et les observations nécessaires.

Il convient de se référer à la notice d'utilisation et d'entretien du constructeur

1. Inspection périodique

Il est suggéré de procéder à une inspection périodique (une fois par mois) de tous les équipements. Durant cette inspection, la pompe et le moteur doivent faire l'objet d'une vérification de performance, d'une vérification des niveaux de bruit et de vibration, d'une vérification du serrage des boulons et des tuyaux, ainsi que d'un examen de propreté et de corrosion. Nettoyez et repeignez toutes les zones rouillées ou corrodées.

Opération	La périodicité de l'opération	L'intervalle
Inspection initiale	Après 500 heures	Après 6 mois au plus tard
Re-lubrification (optionnelle)	Voir les instructions de lubrification (Annexe VI)	-
Nettoyage	Dépend du degré de la pollution du local	-
Inspection principale	Approximativement chaque 16000 heure	Après 2 ans au plus tard
Drainage	Dépend des conditions climatiques	-

TABLE 7 : INTERVALLE DE PERIODICITE DES OPERATIONS DE LA MAINTENANCE

2. Les règles générales de la sécurité

Seulement les opérations suivantes peuvent être effectuées au cours de fonctionnement de la pompe :

- Lubrification
- Contrôle de niveau d'huile et remplissage
- Contrôle de la température
- Les mesures affichées sur l'écran de contrôle

3. Inspections du moteur

Durant le fonctionnement du moteur, vérifiez que :

- ✓ Les paramètres électriques sont maintenus
- ✓ La température du palier n'est pas dépassée
- ✓ Les caractéristiques de fonctionnement souples et le bruit de la machine à trois phases n'ont pas détériorée pendant le fonctionnement.

Lorsque le moteur est en arrêt, vérifiez que :

- ✓ La base de la machine, n'a pas des fissures
- ✓ La machine triphasée est alignée à l'intérieur des plages de tolérance permises.
- ✓ Tous les boulons de fixation / vis pour les connexions mécaniques et électriques sont serrés

4. Lubrification

Comme une caractéristique standard, les machines qui ont des paliers à roulements doivent en permanence être lubrifiés avec de la graisse (UNIREX N3, faite par ESSO). Le dispositif de graissage est possible comme une option. Dans ce cas, vous pouvez trouver des informations sur des intervalles de lubrification, les quantités et types de graisse, et, si nécessaire, des données supplémentaires sur la plaque signalétique ou la plaque de lubrifiant, (voir annexe VI).

Graissage

La pompe nécessite un graissage standard des roulements, Intervalle de lubrification : 1500 heures. Pour la remplir en utilisant dégraissage d'une pompe à main

Pour un milieu corrosif, la lubrification doit être fréquente

Qualité de dégraissage

- a. Il est conseillé d'utiliser un graissage de lithium d'un niveau NLGI.2, Pour les applications normales de graissage pour les roulements ainsi pour les unités de lubrification
- b. Pour les applications dans un milieu entouré de l'acide, il est conseillé d'utiliser un dégraissage à base d'un complexe de calcium

5. Entretien de la boîte à garniture

L'entretien de la boîte à garniture consiste en un graissage lorsque nécessaire, au serrage occasionnel du presse-garniture lorsque la fuite devient excessive et l'installation de nouvelles bagues de garniture lorsque nécessaire.

Sous des conditions de fonctionnement normales, un graissage mensuel de la boîte à garniture devrait être adéquat. Il est recommandé d'utiliser une graisse de bonne qualité.

6. Interventions sur les étanchéités

Les joints d'étanchéité ne sont pas techniquement réparables. Ceux-ci devront être remplacés par des joints neufs. Qui doivent des pièces identiques, pour ce qui concerne Les matériaux, la taille, et le type de joint.

7. Les paliers lisses

Les paliers qui nécessitent la présence d'un agent de lubrification pour éviter le passage à une température supérieure à la température de surface maximale, ou la création d'étincelles mécaniques capables d'enflammer, doivent être réparés de manière à garantir la présence de cet agent de lubrification.

8. Arbres et logements

Les arbres et les logements de paliers peuvent être remis en état par exemple par métallisation ou chemisage, tout usinage ultérieur devant amener les dimensions du joint à celles requises par la norme du matériel et/ou par les documents de certification.

9. Roulements

Les roulements doivent être remplacés par des pièces identiques. La matière, le type (à billes, à rouleaux, etc.), les jeux et tolérances ainsi que le type de lubrification doivent être respectés.

Si le nombre d'heures d'utilisation n'est pas connu, il conviendra de remplacer les roulements.

Si une modification du type de roulement est nécessaire, dans le cadre d'une maintenance corrective par exemple, celle-ci devra s'effectuer en concertation avec le fournisseur, le constructeur de l'équipement et l'utilisateur.

Lors de leur stockage, les roulements doivent être protégés contre la corrosion et les pollutions, de préférence en restant dans leur emballage d'origine. La zone de stockage doit être exempte de vibrations et non trop humide.

L'aire de stockage doit être maintenue propre et éloignée de sources de chaleur éventuelles (éclairage, radiateur, lumière solaire directe, etc.)

Les roulements doivent être conservés à plat et sans charge. Dans la mesure du possible, les empilements sont à éviter. La durée maximale de stockage devra être respectée. Celle-ci varie généralement selon les fournisseurs entre 3 et 5 ans.

Il convient de ne pas nettoyer des roulements neufs. Cependant, en cas de ré-signification de l'huile de stockage, un nettoyage devra être réalisé avant utilisation du roulement. Les solvants secs sont à éviter.

Remarque : Le calendrier de la lubrification est mentionné dans l'annexe VI. Voir aussi (annexe VII) pour les entretiens préventifs, ainsi que les vérifications et la fréquence proposée

III. Réalisation d'un plan de maintenance préventive

1. Les actions correctives

Etant donné l'importance de ces pompes, ces actions sont utilisées dans le cas de changement des pièces qui ne nécessitent pas un démontage total de la pompe (changement sur place) :

- ✓ Accouplement moteur-arbre
- ✓ Roulement.

2. Surveillance systématique

La vérification de l'état des pompes à travers les contrôles périodiques (contrôle de vibration, bruit, échauffement ...), En tenant compte des questions à répondre pour vérifier le fonctionnement de la pompe en marche, ces questions dédiées à un technicien.

Ce sont les questions à répondre pour vérifier le fonctionnement de la pompe en marche, ces questions peuvent être répondues par un ouvrier :

- ✓ Est-ce qu'il y a de la vibration ?
- ✓ Est-ce qu'il y a du bruit ?
- ✓ Qu'elle est l'état de la graisse ?
- ✓ Est-ce que les boulons sont serrés ?
- ✓ Est-ce que l'ampérage est élevé ?
- ✓ Est-ce que l'ampérage est bas ?
- ✓ Est-ce qu'il y a une fuite de gaz ou d'acide ?

Pour rassembler ces données, il est indispensable d'utiliser une fiche de visite systématique (Voir annexe VIII)

3. Gamme de révision

Cette gamme montre comment se fait la révision totale de la pompe, ou le démontage total lors de la rupture d'une composante qui nécessite la révision de la pompe, (Voir annexe IX).

4. Pièces de rechange

Les pièces de rechange constituent une composante essentielle pour la réussite de la politique de maintenance et l'atteinte des objectifs fixés. En effet la réalisation de toute prestation de maintenance est conditionnée par la disponibilité des pièces de rechange nécessaires. Une pièce défectueuse qui n'a pas été changée par manque de pièces de rechange engendre de grandes pertes indirectes à cause des arrêts subis pour dépannage et des pertes directes car elle engendre la défaillance d'autres pièces qui ne devraient pas être consommées (Voir annexe X).

D'autre part, la qualité de la pièce de rechange conditionne sa durée de vie. Une pièce de rechange moins cher n'est pas forcément la plus économique. Pour le cas des pompes d'acide, une convention a été établie avec le fournisseur d'origine pour faciliter et alléger la procédure d'achat.

Afin de respecter le programme de maintenance des pompes d'acide, les actions suivantes doivent être menées :

- ✓ Pour les pièces de rechange la quantité annuellement à approvisionner doit être fonction du programme de maintenance et non des consommations antérieures
- ✓ Le délai d'approvisionnement fixe et respecté pour ne pas perturber le programme de maintenance
- ✓ La politique et la procédure d'approvisionnement de ces pièces doivent être formalisées et respectées par les entités connexes, notamment les services de gestion des stocks, les contrôleurs techniques et les entités des achats.

5. Fiche d'évaluation de la pompe (Annexe XI)

Conclusion

Notre stage, est ainsi clôturé, en permettant de plus éclaircir l'état actuel de la maintenance préventive des pompes de circulation d'acide vu leur rôle capital dans le processus de production d'acide sulfurique.

D'abord on a commencé par une classification des équipements de l'atelier sulfurique, suivi d'une étude de fonctionnement détaillée de la pompe de circulation d'acide qui a été l'équipement critique retiré, ensuite on a recensé l'historique des pannes. Cette collecte d'information s'est effectuée en collaboration avec les différents personnels de la documentation à JACOBS et OCP, les agents de maintenance et de production en vue de remplir soigneusement la fiche d'AMDEC. Dans cette analyse on a déterminé les sous éléments critiques de la pompe d'acide qui ont besoin d'un suivi particulier, ainsi un plan d'action de maintenance a été établi en vue d'assurer la disponibilité des équipements durant la production.

D'un part, les difficultés rencontrées (manque de temps, documentation, historique, mesure, coûts,...) nous n'a pas permis à réaliser tous les résultats déterminés dans le cahier de charge.

D'un autre part, le fait que l'usine n'est pas encore démarrée nous a posé un défi pour élaborer un plan de maintenance préventive d'un équipement qui n'a pas encore été fonctionné avant.

Pour conclure, JACOBS Engineering S.A nous a confié d'élaborer un plan de maintenance préventive des équipements d'une nouvelle usine, car des préparations ont été lancées pour que la maintenance sera parmi les services de JESA offerts à OCP.

Bibliographie

<http://www.jacobs.com/>

<https://www.qualite.qc.ca/centre-des-connaissances/fiches-outils-detaillees/amdec/methodologie>

<http://www.ouati.com/>

Mémoire « Elaboration d'un plan de maintenance préventive de la tour de refroidissement de la nouvelle unité sulfurique à Jorf Lasfar/OCP » 2014

Mémoire « plan de maintenance des pompes Chass-Lewis » M.Y. Fallahi 2012

Livre « Le guide de la TPM » J.Bufferne

Document constructeur d'ENSIVAL MORET pour la pompe de circulation d'acide

Annexe I

Critères de classification

Classification	N°	Item	Critères
Temps de réparation (T)	1	Temps moyen de réparation (MTTR)	Supérieur à 2 jour =35
			24h < ... < 48h =30
			12h < ... < 24h =25
			8h < ... < 12h =20
			4h < ... < 8H =15
			0,5h < ... < 4H =10
			< 0,5 = 5
Facteur d'influence (D)	2	Utilisation de l'équipement	Avec Stand-by = 1 ; sans Stand-by = 5
	3	Aspect sur la sécurité	Très fort risque pour le personnel = 5, sans risque = 1
	4	Aspect sur l'environnement	Fort impact=5 ; faible impact= 1
Probabilité de panne (P)	5	Fréquence des pannes (MTBF)	Supérieur à 4 par mois =35,
			3 fois /mois =25
			2 fois /mois =15
			1 fois /mois =10
			Inférieur à 1 par mois =5
Criticité de l'équipement (C)	6	Criticité de l'équipement en fonction des arrêts de production	00 Pas d'impact sur la production
			20 Réduction de la cadence SAP
			30 Arrêt d'un échelon
			40 Réduction de la cadence PAP/A.F
			70 Arrêt chaud de l'unité SAP
			70 Arrêt de l'atelier CAP
			80 Arrêt de l'atelier PAP
			100 Arrêt froid de PMP

Annexe II

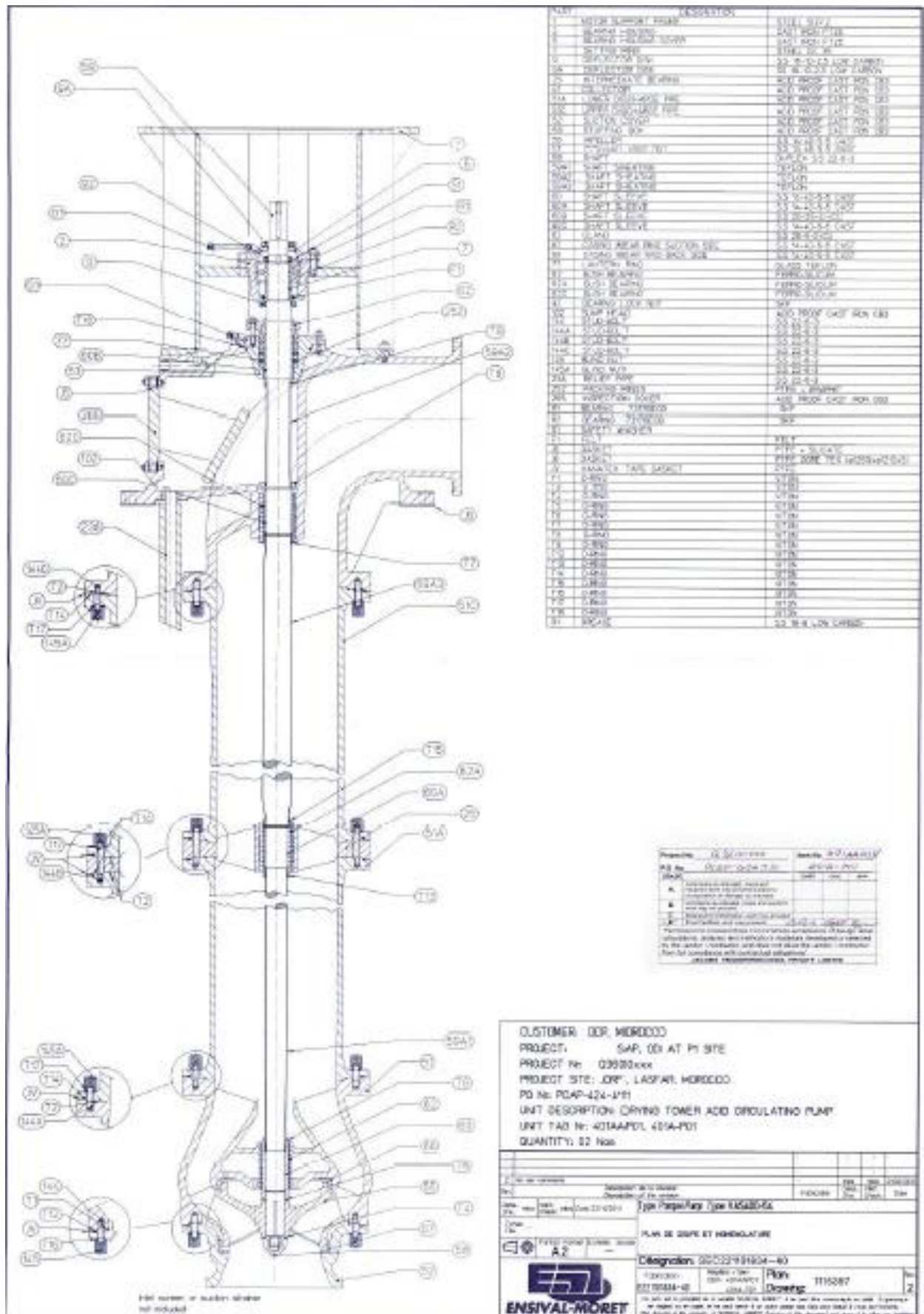
Classification des équipements

Maintenance professionnelle			Critère d'évaluation							Atelier : périmètre de SAP-PMP	Date : 10/12/12
Classification des équipements- synthèse										Ligne de production : PMP	
Unité	Repère	Désignation	T	D	P	C	Evaluation	%	% Cumul	Classification	Commentaire
SAP	201-FE-06	Refroidisseur d'acide	25	15	5	70	115	26	26	AA	Le plan de maintenance préventive est déjà élaboré
SAP	201-FE-06	Refroidisseur d'acide	25	15	5	70	115	26	26	AA	-
SAP	201-FE-06	Refroidisseur d'acide	25	15	5	70	115	26	26	AA	-
SAP	201-FS-06	Filtre d'eau de mer	15	7	5	70	97	22	49	AA	Malgré son importance, il ne provoque pas un arrêt de production
SAP	201-FP-01	Pompe de circulation d'acide	10	11	5	20	46	10	58	A	Critique car elle provoque un arrêt de production
SAP	201-FP-01	Pompe de circulation d'acide	10	11	5	20	46	10	58	A	-
SAP	201-FP-01	Pompe de circulation d'acide	10	11	5	20	46	10	58	A	-
SAP	212-FP-01	Pompe de transfert d'acide	10	7	5	20	42	10	68	B	-
SAP	212-FP-01	Pompe de transfert d'acide	10	7	5	20	42	10	68	B	-

SAP	211-FP-01	Pompe d'alimentation de souffre	10	3	5	20	38	9	77	B	-
SAP	211-FP-02	Pompe d'alimentation de souffre	10	3	5	20	38	9	77	B	-
SAP	201-HS-641	Pompe de gaz oil	5	7	5	20	37	8	85	B	-
SAP	201-HS-642	Pompe de gaz oil	5	7	5	20	37	8	85	B	-
SAP	201-FP-07	Pompe de puisard d'acide (bac de stockage)	10	11	5	0	26	6	91	C	-
SAP	201-FC-02	Moto-soufflante	10	7	5	0	22	5	96	C	-
SAP	201-FP-04	Pompe de vidange d'acide (drainage)	10	3	5	0	18	4	100	C	-
SAP	201-FP-07	Pompe de puisard d'acide	10	3	5	0	18	4	100	C	-

Annexe III

Dessin d'ensemble



Annexe IV

Synthèse d'arrêt Pompe d'acide

Rep Equipement	Cause d'arrêt	Durée	Nombre d'arrêt	Nature d'arrêt	Imputation
Ppe d'acide	Problème électrique sur le moteur de la pompe	2	1	Programmé	ME
Ppe d'acide	Changement de la pompe	7,5	1	Subit	MM
Ppe d'acide	Changement de la pompe	20,5	1	Subit	MM
Ppe d'acide	Changement du moteur de la pompe	4,41	1	Subit	MM
Ppe d'acide	Changement de la pompe	4,41	1	Subit	MI
Ppe d'acide	Désaccouplement de la pompe 14AP01	10,83	1	Subit	MM
Moteur et Ppe	Changement de moteur de la pompe	2	1	Subit	ME
Ppe d'acide	Changement de la pompe	3,5	1	Subit	MM
Ppe d'acide	Désaccouplement et changement de la pompe	13,3	1	Subit	MM
Ppe d'acide	Changement de la pompe (Déplacement axial)	14	1	Subit	MM
Circuit acide	Chute de débit sur circuit d'acide	14,83	1	Subit	MM
Moteur et ppe	Changement câble électrique du moteur de la pompe	2,67	1	Subit	MM
Circuit acide	Fuite d'acide au refoulement de la pompe	4,08	1	Programmé	MM
Moteur et ppe	Défaut électrique sur moteur des pompes	1,33	1	Subit	ME
Pompe d'acide	Changement de la pompe	5,08	1	Subit	MM
Moteur électrique ppe	Défaut électrique sur moteur des pompes	1,67	1	Subit	ME
Moteur ppe	Changement du moteur de la pompe	6,5	1	Subit	MI
Ppe d'acide	Changement de la pompe	5,91	1	Subit	MM
Ppe d'acide	Changement de la pompe d'acide 14BP01	4,83	1	Subit	MM
Moteur ppe	Changement moteur de la pompe	16	1	Subit	ME

Annexe V

AMDEC

Complexe africaine des engrais			Analyse des modes de défaillances actuelles									
Equipement	Sous-élément de la pompe	Fonction	Secteur : SAP - ODI / P1 Système : Pompe de circulation d'acide (ENSIVAL MORET 401 AAP 01/02)									
			Caractéristiques de la défaillance				Criticité				Résultat d'étude	
			Mode de défaillance potentielle	Causes possibles de la défaillance	Effets de la défaillance potentielle	Contrôles actuels du processus	Gravité	Occurrence	Détection	Criticité	Actions recommandées	Fréquence
Pompe de circulation d'acide ENSIVAL MORET	Moteur	Convertir l'énergie électrique en énergie mécanique	Fatigue des roulements	Fin de la durée de vie	Détérioration prématurée des autres composants	Bruit et vibration	4	2	1	8	Les paliers ne dépassent pas les températures admissibles Changement des roulements	1 mois
			Mauvaise fixation du moteur	Desserrage de la fixation	Détérioration prématurée des autres composants	Vibration au niveau de la fixation	2	2	2	8	Contrôler l'état des supports et de leur fixation	1 mois
			Rotation inversée	Erreur de câblage	Non fonctionnement de la pompe	Indétectable	4	1	4	16	Contrôle avant la mise en service (test de sens de rotation)	-
	Accouplement	Transmission de mouvement	Déformation (torsion, flexion, flambage...)	Couple élevé Présence du corps étrangers	Détérioration du système d'entraînement	Visuel	1	3	2	6	Nettoyage régulier et la mise en place des capots de protection	1 an

			Casse, fissure ...	Désalignement (radial, axial, ou angulaire)	Arrêt de la pompe	Visuel	1	3	2	6	Contrôle d'alignement	1 an
	Arbre	Transmettre le mouvement entre le réducteur et la roue	Blocage de l'arbre	Rouille et corrosion Présence de corps étrangers	Arrêt de la pompe Vibration	Analyse vibratoire	3	3	2	18	Contrôle vibratoire Nettoyage et lubrification	1 mois
	Roulement	Guide et supporter l'arbre en rotation	Usure excessive	Mauvaise graissage grippage	Détérioration rapide des roulements	Analyse vibratoire	3	2	3	18	-Respecter le calendrier de graissage -Respecter les tolérances de montage des roulements	
	Paliers lisses	Guide l'arbre en rotation	Usure	Présence d'acide	Vibration	Analyse vibratoire	4	4	1	16	Remplacement total de la pompe par une autre et l'envoi de l'autre pour la révision	

	Etanchéité	Assurer l'étanchéité et la protection de l'arbre contre l'usure	Usure	Mauvaise lubrification	Fuite d'acide Chute de pression	Visuel	4	4	2	32	Changement ou réglage des tresses et Lubrification des joints ou des tresses afin de conserver l'étanchéité	
	Volute	Assurer la circulation de liquide pompé	Chute de débit	Cavitation de la pompe	Détérioration rapide des équipements de la pompe	Contrôle de débit (chute d'ampérage)	3	4	1	12	Avant le démarrage, vérifier que le corps de la pompe soit complètement rempli avec le liquide à pomper	
	Roue	Transmission d'énergie cinétique au fluide	Fonctionnement non conforme	Usure de la roue	Chute de débit au refoulement	Débitmètre	3	1	3	9	Contrôler l'alignement, l'état de la bague d'usure et l'état de la roue à chaque révision	

	Bague d'usure	Protection du corps de la pompe	Mauvaise protection du corps de la pompe	Usure de la bague	Usure de la roue et du corps de la pompe	Visuel	3	1	3	9	Contrôler l'état de la bague d'usure et changement si nécessaire lors de la révision	
--	---------------	---------------------------------	--	-------------------	--	--------	---	---	---	---	--	--

Annexe VI

Calendrier de lubrification

Equipement			Lubrification					
Type de pompe	N° d'article	N° Fab	Poste de lubrification	Opération	Périodicité	Quantité	Type de lubrifiant	Remarques
VAS300-36	401 AAP 02	E221101834-10	Roulement - Graisseur	FF G SE + F	PS 1500 H 8000 H	500 Gr 20 Gr 800 Gr	Graisse	Voir les notes générales et la légende dans le document constructeur
VAS300-54	401 AAP 01	E221101834-40	Roulement - Graisseur	FF G SE + F	PS 1500 H 8000 H	800 Gr 33 Gr 800 Gr	Graisse	

Note:

1. Graisse : inclus la tuyauterie
2. Huile : Vérifier quotidiennement l'huile durant la première semaine de fonctionnement

Legend:

FF : First filling (Premier Remplissage)
 G : Greasing (Lubrification)
 SE+F : Subsequent Emptying and Filling
 PS : Prior to start-up
 Gr : Grammes
 H : Hours

Annexe VII

Intervention des pompes

Intervention des pompes:

Équipement entretien préventif	Fréquence	Référence
Mécanique Pompe : ➤ vérification des turbines ➤ vérification des anneaux d'usure ➤ vidange d'huile ➤ contrôle de l'état des câbles d'alimentation ➤ serrer l'ensemble des vis et écrous ➤ calibration pompes et combinaison des pompes	Première inspection après 500 heures de fonctionnement et ensuite après 6 mois au plutard Après 3 ans de service ou 6 000 heures de fonctionnement, vérification par une firme spécialisée.	Manuel d'opération et d'entretien
Panneau de contrôle : ➤ serrer l'ensemble des contacts ➤ nettoyage des contacteurs	1 fois / année (l'entretien doit être effectué par un électricien qualifié)	
Sonde de pression : ➤ vérifier l'ajustement des points de consigne	3 mois	
Débitmètre : ➤ valider le débit	1/mois	
Vannes papillons : ➤ manipuler manuellement	1/mois	
Purgeur d'air : ➤ démonter et nettoyer	1/4 mois	
Électricité Remarque importante : L'entretien des équipements à l'intérieur du panneau électrique doit être confié à un électricien qualifié, familier avec les équipements électriques industriels.		

Vérification et fréquence proposée

Vérification ou intervention	Fréquence			Remarques
	Jour	Sem.	Mois	
Débits	X			
➤ Consommation journalière	X			
➤ Consommation de nuit	X			
➤ Pointe horaire sur chaque plage de 4 heures	X			
Pression de distribution	X			
Pompes de distribution				La lecture des temps de marche permet de diagnostiquer rapidement les problèmes de colmatage de pompes ou conduites, de mauvaise alternance des pompes et des débits anormaux.
➤ vérification visuelle et auditive	X		X	
➤ lecture et compilation des temps de marche	X		X	
➤ vérification ampérage et voltage			X	
➤ cycles manuels				
➤ consommation électrique				
Vanne de régulation de pression		X		
➤ nettoyage du tamis		X		
➤ simulation manuelle				
Panneau de contrôle				Surveiller la présence de traces de condensation, de câble débranché ou de surchauffe.
➤ vérification intérieure			X	
Éclairage		X		Changer les ampoules brûlées
➤ vérification				

Annexe VIII

Fiche de visite systématique

Fiche de visite systématique

N° Identification équipement		Visite systématique			Temps	Page
401 AAP 01 / 02 Pompe de circulation de l'acide sulfurique		Annuelle	Mécanique		2h	1/1
		Périodicité	Corps de métier		Marche X	Arrêt X
Consignes de sécurité		Outillages nécessaires				
Rép.	Opération à exécuter	Résultat de la visite			Observations	
		Bon	Fait	Relevé		
1	Moteur : ✓ Vérifier la température du palier ✓ vérifier la conformité des câbles électriques ✓ vidange d'huile et remplissage ✓ Graisser le palier ✓ Nettoyer les ailettes de refroidissement					
2	Partie de transmission ✓ Nettoyage et lubrification ✓ Vérification visuelle, auditive ✓ Contrôle d'alignement ✓ Nettoyage régulier et la mise en place des capots ✓ Contrôle vibratoire					
3	Etanchéité ✓ Lubrification des tresses ✓ Vérification visuelle ✓ Changement ou réglage des tresses					
4	Corps de la pompe ✓ Nettoyage ✓ Contrôle de débit ✓ Contrôle d'alignement					
5	Ensemble ✓ Vérifier le serrage de toute la boulonnerie					
6	Vanne de régulation de la pression ✓ Nettoyage du tamis Simulation manuelle					
7	Panneau de contrôle ✓ Nettoyage des contacteurs					

Annexe IX

Gamme de révision

GAMME DE MAINTENANCE N°		N° Equipement : 401 AAP 01	Désignation Intervention : la Révision-phase de démontage							Repère Géographique : SAP	401 AAP 01
Activité GMAO :		Désignation Equipement : Pompe de circulation d'acide sulfurique								Repère Gamme :	VERSION 31-05-15
N° phase	Description des phases	ILLUSTRATION	Durée	COMPETENCES				Temps MO	Pièces de Rechanges	Outillage	Autorisation et mesures de sécurité nécessaires
			(min)	Méca	Elect	Instr	Autre (*)				
00	Démontage du ½ accouplement de la pompe		5								
10	Démontage du couvercle du boitier		5								
20	Libération de rondelle frein de desserrage de l'écrou a encoche		10								
30	Desserrage des écrous de fixation du boitier		10								
40	Démontage de la presse étoupe		10								
50	Extraction du boitier		5								
60	Démontage de la jupe d'aspiration		15								
70	Extraction d'arbre		10								

80	Contrôle fléchissement arbre et relève des jeux de fonctionnement		10								
90	Changement si nécessaire des pièces d'usure et des joints		240								
100	Graissage paliers d'arbre		5								
110	Introduction d'arbre		15								
120	Montage et serrage du boîtier après changement des joints		15								
130	Montage du niveau roulement graisse		10								
140	Serrage de l'écrou a encoche et le fixer par rondelle frein		10								
150	Montage et serrage du couvercle du boîtier		8								



160	Montage presse étoupe		8								
170	Montage du ½ flasque et du ½ accouplement de la pompe		10								
180	Montage de la jupe d'aspiration		15								

Annexe X

Pièces de rechange de la pompe
401 AAP 01

RECHARGE POUR POMPE VAS300-36 Fab.: E221101834-10 ITEM 401AAP02/401A-P02

Total Poste : 19.488,80 EUR

Poste E221251120/20 RECHARGE POUR POMPE VAS400-54 Fab.: E221101834-40 ITEM 401AAP01 / 401A-P01

Ligne	Qté	Code Article	Désignation	Prix unit.	Prix Total	Délai
0020	1	CHEE0421-00NZM-KIT	SHAFT SLEEVE PART. 60	2.620,00	2.620,00	12 Sem
0030	1	CHEE0423-00NZM-KIT	SHAFT SLEEVE PART. 60A	1.560,00	1.560,00	12 Sem
0040	1	CHEE0422-00UB6-KIT	SHAFT SLEEVE PART. 60B	1.585,00	1.585,00	12 Sem
0050	1	CHEE0424-00NZM-KIT	SHAFT SLEEVE PART. 60C	2.720,00	2.720,00	12 Sem
0060	1	CERQ0071AA00NZM	CASING WEAR RING SUCTION SIDE P.67	1.378,00	1.378,00	12 Sem
0070	1	CERQ0071AA00NZM	CASING WEAR RING BACK SIDE PART. 68	1.378,00	1.378,00	12 Sem
0080	1	COUE0124AA00FSI	BUSH BEARING PART. 82	3.030,00	3.030,00	12 Sem
0090	1	COUE0124AA00FSI	BUSH BEARING PART. 82A	3.030,00	3.030,00	12 Sem
0100	1	COUE0124AA00FSI	BUSH BEARING PART. 82C	3.030,00	3.030,00	12 Sem
0110	1	TRESSES-E221101834-40-KIT	SET OF PACKING RING PART. 252	475,00	475,00	12 Sem
0120	1	RL7317BECB	BEARING PART. R1	197,00	197,00	12 Sem
0130	1	RL7317BECB	BEARING PART. R2	197,00	197,00	12 Sem
0140	1	FI460FEU	FELT PART. F1	37,80	37,80	12 Sem
0150	1	JOIN0098-00TFE	GASKET PART. J5	177,60	177,60	12 Sem
0160	1	JOIN0372-00GOR	GASKET PART. J6	5.290,00	5.290,00	12 Sem
0180	1	TO608.1-5.33VIT	O-RING PART. T1	74,30	74,30	12 Sem
0190	4	TO481.4-5.33VIT	O-RING PART. T2	49,00	196,00	12 Sem
0200	1	TO94.9-2.62VIT	O-RING PART. T4	17,70	17,70	12 Sem
0210	1	TO94.9-2.62VIT	O-RING PART. T5	17,70	17,70	12 Sem
0220	1	TO88.5-3.53VIT	O-RING PART. T6	17,70	17,70	12 Sem
0230	1	TO91.7-3.53VIT	O-RING PART. T7	17,70	17,70	12 Sem
0240	1	TO91.7-3.53VIT	O-RING PART. T8	17,70	17,70	12 Sem
0250	1	TO88.5-3.53VIT	O-RING PART. T9	17,70	17,70	12 Sem
0260	1	TO705-5CVIT	O-RING PART. T12	133,10	133,10	12 Sem
0270	1	TO91.7-3.53VIT	O-RING PART. T13	17,70	17,70	12 Sem
0280	4	TO608.1-5.33VIT	O-RING PART. T14	74,30	297,20	12 Sem
0290	1	TO91.7-3.53VIT	O-RING PART. T15	17,70	17,70	12 Sem
0300	12	TO34.6-2.62VIT	O-RING PART. T16	17,70	212,40	12 Sem
0310	36	TO34.6-2.62VIT	O-RING PART. T17	17,70	637,20	12 Sem
0320	1	TO190.1-3.53VIT	O-RING PART. T18	17,70	17,70	12 Sem

Total Poste : 28.414,90 EUR

Annexe XI

Fiche d'évaluation

Fiche d'évaluation de pompe d'ENSIVAL MORET

Taille :

Ligne :

Date de révision :

L'évaluateur :

Composantes		Etat					Nécessité de maintenance	
		1	2	3	4	5	Oui	Non
Moteur	Accouplement							
	Palier							
Partie de transmission de puissance	Arbre							
	Accouplement pompe							
	Roulement							
	Paliers lisses							
Etanchéité								
Corps de la pompe	Roue							
	Pièces d'usure							
	Impulseur							
Tuyauterie d'aspiration et de refoulement								
Unité de support	Boitiers de roulements							
	Enveloppes							
	Volute							

Signature

1 : très bon

2 : Bien

3 : Assez bien

4 : Mauvais

5 : Très mauvais