



Université Sidi Mohammed Ben Abdellah Fès
Faculté de Sciences et techniques de Fès-Saïss
Département de génie mécanique



Mémoire de projet de fin d'étude pour l'obtention du :

Master Sciences et Techniques
Spécialité : Ingénierie Mécanique

Thème :

Etude des pompes de circulation d'acide

Lieu :

OCP Ljarf Lasfar Eljadida

Présenté par :

- SARIH Nidal
- AMARA Azzeddine

Encadré par :

- A. SARRAR
- J. ABOUCHITA

Soutenu le 18/06/2014 devant le jury :

- J. ABOUCHITA
- I. MOUTAWAKKIL
- A. ABOUTAJDDINE

Avant-propos

Le stage de formation est le plus solide lien qui peut exister entre les études théoriques et leurs applications dans le domaine professionnel. Dans cet esprit vient notre stage au sien du groupe OCP Ljarf Lasfar, et plus précisément dans l'atelier de la maintenance des lignes de production de l'acide sulfurique.

Notre projet de fin d'études à pour but d'étudier les pompes de circulation d'acide, plus précisément, tout d'abord, faire une description de ces dernières, puis définir le fonctionnement et les points de fonctionnement. Ensuite faire une étude du taux de défaillance et ces cause. Enfin proposer un plan de maintenance simple qui facilite la révision des pompes de Chass-Lewis.

Ce stage qui a duré quatre mois et qui était une occasion pour mieux se familiariser avec le monde industriel et aussi une bonne opportunité pour appliquer ce qu'on a acquis à **La Faculté des Sciences et Techniques de Fès.**

Sommaire

CHAPITRE I.	7
PRESENTATION DU LIEU DE TRAVAIL	7
I. HISTORIQUE	7
II. PRESENTATION DU LIEU DE TRAVAIL	8
CHAPITRE II.	10
DESCRIPTION DES POMPES DE CHASS-LEWIS INSTALLEES DANS LE PARC	10
I. INTRODUCTION	10
II. DESCRIPTION ET DESIGNATION DES COMPOSANTES DE LA POMPE	11
II.1. Description des composantes de la pompe	11
II.2. Désignation des composantes de la pompe	20
III. FONCTIONNEMENT ET POINTS DE FONCTIONNEMENT DE LA POMPE	21
III.1. Fonctionnement des pompes de Chass-Lewis	21
III.2. Les points de fonctionnement des pompes de Chass-Lewis	21
III.2.1. Le guidage	21
III.2.2. Le jeu fonctionnel	22
III.2.3. Liaison	22
III.2.4. L'étanchéité	23
III.2.5. Graissage	23
CHAPITRE III.	25
BILAN ET ANALYSE DES PANNES DES POMPES DE CHASS-LEWIS	25
I. BILAN DES ARRETS DES POMPES DE CHASS-LEWIS	25
I.1. Chute d débit :	26
I.2. Arrêts forcé :	26
I.3. Problèmes de vibration :	27
I.4. Arrêts programmés :	27
I.5. Problèmes de corrosion :	27
II. TAUX DE DEFAILLANCE MOYENS DES POMPES INSTALLE DANS LES LIGNES DE PRODUCTION	27
II.1. Taux de défaillance moyens des pompes de Chass-Lewis :	28
II.1.1. Taux de défaillance des pompes T10 :	29
II.1.2. Taux de défaillance des pompes T08 :	32
II.1.3. Les causes de défaillance :	33
II.2. Analyse des causes de défaillance de la pompe :	33
II.2.1. Le corps de la pompe :	33
II.2.2. Les éléments tournants en rotation :	34
II.3. Les actions d'améliorations	35
II.3.1. Le corps de la pompe	36

II.3.2. La réduction des problèmes de vibrations -----	37
CHAPITRE IV.-----	38
CONTROLE NON DESTRUCTIF DES POMPES DE CHASS-LEWIS-----	38
I. PAR LE SON : -----	38
II. LE CONTROLE NON DESTRUCTIF : -----	38
II.1. <i>L'analyse vibratoire</i> :-----	38
II.1.1. La mesure de niveau global : -----	38
II.1.2. L'analyse spectrale : -----	38
II.1.3. L'appareil de mesure -----	40
II.1.4. La sauvegarde des données :-----	41
II.2. <i>Analyse des résultats obtenus</i> : -----	49
II.2.1. La fréquence de rotation des éléments tournante de la pompe :-----	50
II.2.2. Analyse des courbes de mesure obtenues : -----	52
II.3. <i>Lubrification du roulement</i> -----	52
II.3.1. Fréquence de regraissage : -----	53
II.3.2. Le poids de la graisse à ajouter : -----	54
CHAPITRE V.-----	55
PLAN DE MAINTENANCE ASSOCIE A LA POMPE DE CHASS-LEWIS -----	55
I. PRESENTATION DE L'OUTIL AMDEC : -----	55
I.1. <i>Analyse AMDEC</i> ;-----	55
I.2. <i>Application de l'AMDEC aux pompes d'acide</i> :-----	55
II. PLAN DE MAINTENANCE : -----	59
II.1. <i>Les actions correctives</i> -----	59
II.2. <i>surveillance systématique</i> : -----	60
II.3. <i>Gamme de révision</i> : -----	60
II.4. <i>Les outils et les moyennes nécessaire pour la révision</i> : -----	61
II.5. <i>Contrôle des jeux</i> : -----	62
CONCLUSION -----	64

Remerciement

Nos remerciements s'adressent à toutes les personnes du service **maintenance mécanique**, qui par leurs dévouements, leurs savoir-faire et leurs extrêmes gentillesse, ont su donner à notre stage un supplément pratique qui a renforcé incontestablement notre formation théorique.

De plus, l'accueil chaleureux qu'ils nous ont réservé, l'amitié dont ils ont fait preuve à notre égard ; mais encore leur disponibilité à pour répondre tout besoin d'informations ont fait que nous gardons un très beau souvenir de ce stage à la fois agréable, enrichissant et instructif.

Nous exprimons toute notre reconnaissance à notre professeur **Mr. ABOU CHITA** et **Mr. SARRAR** responsable du stage, pour l'aide et les précieux renseignements qu'ils nous ont communiqué.

Nous tenons à présenter notre sincère gratitude et notre chaleureux remerciement au **Mr. AISSA, Mr. KARMAJI, Mr. JOU, Mr. JABRAN, Mr. ESSAHL** et **Mr. CHAACA** qui nous ont beaucoup aidé et encouragé.

Introduction

Les réserves du Maroc en phosphate sont environ 64 milliards m³ soit 75% des réserves mondiales. En effet, la capacité de production du groupe, peut atteindre les 29 millions de tonnes par ans. Compte tenu des chiffres, le Maroc est le premier exportateur mondial du phosphate devant les U.S.A et il est le deuxième producteur des minerais ⁽¹⁾.

L'atelier de production d'acide sulfurique du Maroc phosphore, est composé de six unités utilisant le procédé à double absorption de Monsanto Enviro-Chem, Il est chargé de produire l'acide sulfurique, cet opération passe par plusieurs étapes, sous l'aide de plusieurs équipements, filtre, pompes, circuits....

Les pompes qui sont le but de notre études, 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 projet de fin d'études est constitué de cinq chapitres. Dans le premier chapitre nous avons présenté le lieu de travail et une démarche simplifiée pour l'obtention de l'acide sulfurique. Pour le deuxième chapitre on a fait une description de la pompe avec ces sous-ensembles. Le troisième chapitre contient les différents contrôles non descriptifs durant le fonctionnement de la pompe. Ensuite le quatrième chapitre présente un bilan bien analysé des pannes et une étude du taux de défaillance de chaque pompe installée dans les lignes sulfuriques. Enfin le cinquième chapitre contient un plan de maintenance simple et généralisé qui est basé sur une analyse **AMDEC**.

Chapitre I.

Présentation du lieu de travail

I. Historique



L'Office Chérifien des Phosphates fut créé le 7 août 1920 par un dahir (décision royale) .Tous les droits de recherche et d'exploitation du phosphate sont réservés à l'Etat, ainsi que le monopole des ventes de ce minerai sur le marché.

Le phosphate se compose d'ossements de poissons et autres déposés de fond de mer. Il est constitué de plusieurs produits : Calcium, Fluor, Uranium et Phosphore.

L'exploitation effective du minerai ne fut entreprise qu'en 1921 dans la région de KHOURIBGA. Dès cette date, l'OCP connût une très vive expansion grâce à la qualité du minerai extrait et à l'appréciation des pays demandeurs.

Malheureusement, cette expansion fut interrompue brusquement par la chute des prix sur le marché mondial, ce qui obligea l'état et l'OCP à revoir leur politique, jusqu'alors basée sur les entrées en devise issues de la vente du phosphate. Pour répondre à ce problème, l'OCP due diversifier ses activités en vue d'éviter d'autres crises. Ainsi, elle mit en place tout

une industrie en relation avec son activité principale et se mit à développer toutes les formes de dérivées du phosphate (acide phosphorique, fertilisants, etc.), ce qui constituera le noyau du Groupe O.C.P.

Actuellement le groupe O.C.P connaît un regain d'activité grâce au développement du partenariat avec les pays importateurs, à la création des entreprises mixtes et à la diversification de ses activités.

Lestatut juridique de l'OCP :

L'office chérifien de phosphate est un organisme étatique ayant pour mission l'extraction, le traitement, la valorisation ainsi que l'exportation du phosphate et ces dérivés au pays demandeurs. Etant donné ses activités industrielles et commerciales intenses et critiques pour l'économie du pays, le législateur l'a doté d'une organisation spécifique lui permettant d'agir avec une grande liberté indépendamment de l'état et ceci bien sûr dans les limites bien déterminées.

Il a une gestion financière séparée de l'état, ainsi, chaque année il établit ses prix de revient, on compte d'exploitation, son bilan et participe au budget de l'état.

II. Présentation du lieu de travail



Notre projet de fin d'étude est effectué au sein du service de la production de l'acide sulfurique, qui est équipé de six unités ABC et XYZ utilisant le procédé double absorption de Monsanto Enviro-Chem.

L'acide sulfurique est obtenu à partir d'un ensemble de réaction chimique du soufre, premièrement avec l'oxygène O₂ et finalement avec l'eau H₂O.

- La réaction du soufre liquide avec oxygène le l'air :



L'air de combustion est véhiculé dans le four à travers la tour de séchage par une soufflante, entraînée par une turbine à vapeur. La température dans le four est de l'ordre de 200°C.

- L'oxydation du SO₂ par le vanadium selon la réaction suivante :

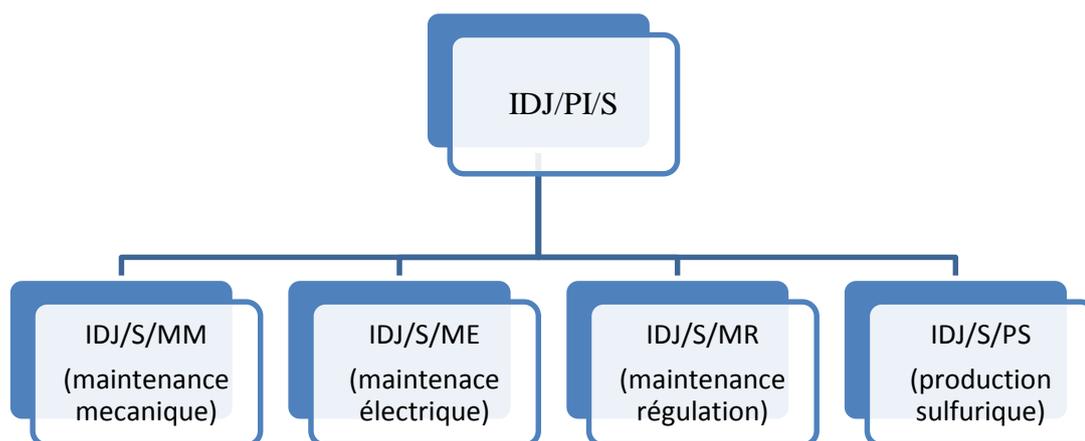


La dernière réaction consiste à l'absorption de l'anhydride sulfurique dans l'eau pour obtenir l'acide sulfurique, selon la réaction suivante :



Durant toutes ces opérations, pour éviter le problème de consolidation du soufre, et pour le garder dans son état liquides, Les circuits de circulation de ce dernier sont chemisé par des conduites de vapeur à basse température (110° C). Aussi d'un point de vue économique, cette vapeur est utilisée aussi pour la production de l'énergie électrique.

Service D'accueil



Notre projet de fin d'études est effectué au sien de l'atelier de la maintenance mécanique, qui est chargé de la réparation et de la maintenance des installations des lignes de production de l'acide sulfurique.

Chapitre II.

Description des pompes de Chass-Lewis installées dans le parc

I. Introduction

Les pompes de Chass-Lewis installées, sont utilisées pour assurer la circulation de l'acide sulfurique dans les unités de production de ce dernier. Chaque unité est équipée par deux pompes de taille T10 et une pompe de taille T08.

Ces pompes sont de type centrifuge vertical. Elles fonctionnent dans des milieux très corrosifs (H_2SO_4 concentrés à 98.5% et une température allant jusqu'à 110°). En plus de ça, ces pompes sont émergées dans des milieux plein d'acide H_2SO_4 . Par conséquent, elles doivent être capables à résister à l'usure par corrosion.

Les pompes de circulation d'acide sont au nombre de trois par ligne, installées comme suit :

- deux pompes T10 refoulent l'acide vers le tour d'absorption intermédiaire. $Q_v=1000 \text{ m}^3/\text{h}$ pour chaque pompe
- une pompe T8 reçoit l'acide du tour d'absorption intermédiaire. $Q_v=850 \text{ m}^3/\text{h}$ (de fonctionnement mais elle peut dépasser ce débit).

Les pompes sont installées dans des bacs sous forme de brique, qui doivent être maintenue sous vide. Cette condition est nécessaire pour éviter la pénétration de l'air humide. Ce dernier engendre des réactions avec l'acide sulfurique. Ces réactions conduisent à l'obtention d'un acide dilué sur la surface libre du liquide dans les bacs. Celui-ci attaque la pompe, et on observe une corrosion plane au niveau de la surface de contact air-liquide qui peut provoquer la rupture de l'enveloppe de la pompe.

Ces ruptures au niveau des composantes de la pompe, provoque des pertes importantes au niveau de la production car :

- L'arrêt d'une pompe T08 signifie l'arrêt de la production de la ligne concerné (absorption final).
- L'arrêt d'une pompe T10 signifie une réduction de 50% de la cadence de production de la ligne concerné (les deux pompes T10 refoule le même débit au tour d'absorption finale et ayant un connecteur commun qui conduit à la tour d'absorption).

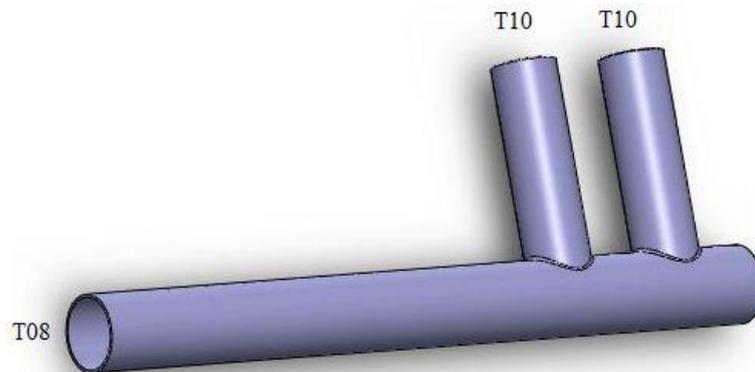


Figure 1 : position des pompes T10 et T08

L'hors du démarrage de la pompe, il est conseillé de garder la vanne de refoulement fermé. Cette condition permet de créer une pression qui permet l'envoi du fluides vers les conduites de refoulement.

Les conditions de service générales sont comme suit :

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

II. Description et désignation des composantes de la pompe

II.1. Description des composantes de la pompe

- ***la plaque d'assise***

Elle assure la mise en position de la pompe dans le bac, et utilisé comme un support du moteur.

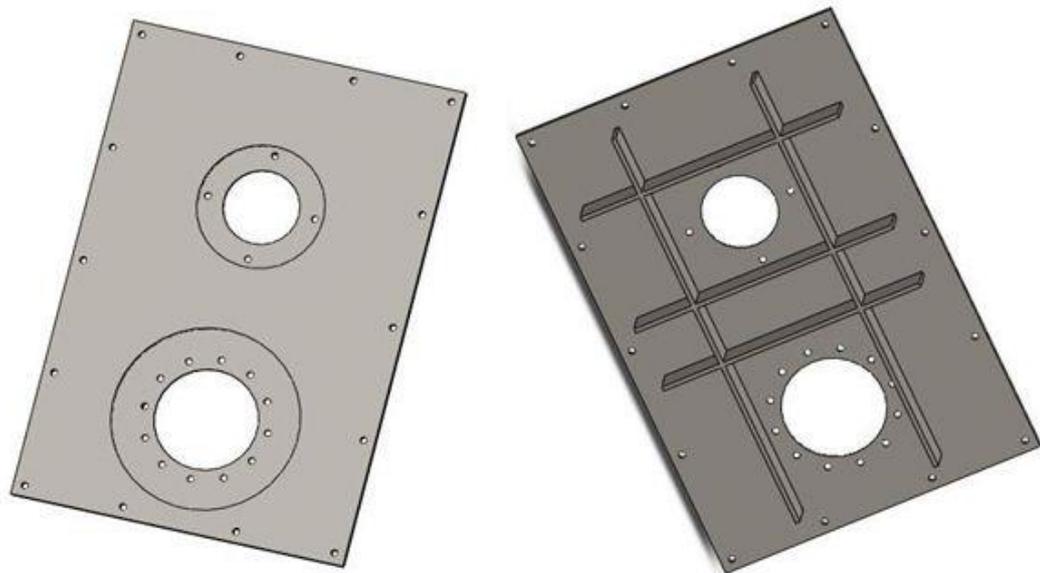


Figure 2 : la plaque d'assise

➤ ***La conduite de refoulement***

C'est la conduite qui permet de transmettre l'acide du bac vers la conduite du tour



Figure 3 : Conduite de refoulement

➤ ***L'enveloppe d'aspiration***

Elle est utilisée pour diminuer le contact entre l'acide et l'arbre (le distributeur). Elle est composée de deux parties, un supérieur et l'autre inférieur, pour faciliter le montage et le démontage du palier lisse.



Figure 4 : enveloppe d'aspiration « partie inférieur »



Figure 5 : enveloppe d'aspiration « partie supérieur »

➤ ***Les paliers lisses***

Il est constitué par l'assemblage de trois éléments : adaptateur du palier, chemise du palier et porter du palier. Les deux paliers (inf. et sup.) sont immergés dans l'acide et ils assurent le guidage du distributeur en rotation.

Le palier inférieur

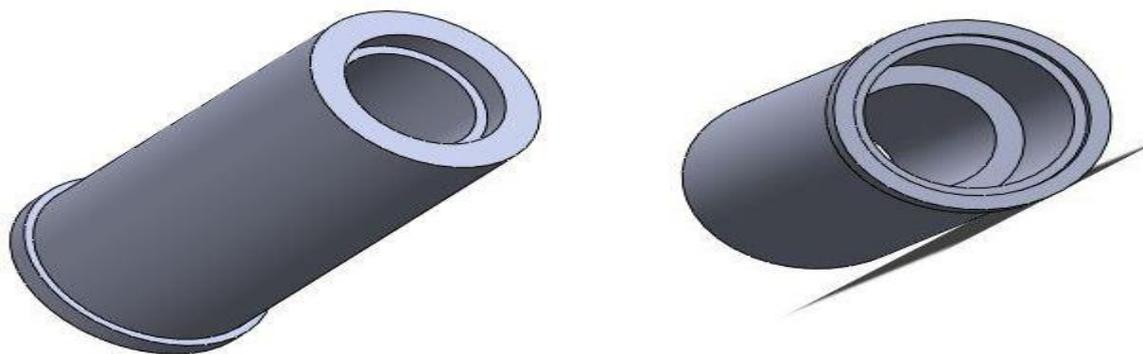


Figure 6 : porter du palier

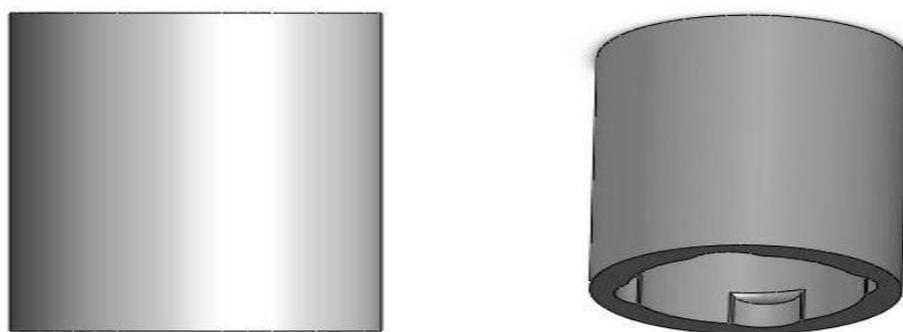


Figure 7 : chemise du palier



Figure 8 : adaptateur du palier

L'assemblage de ces trois éléments nous donne le palier lisse inf. monté sur le distributeur

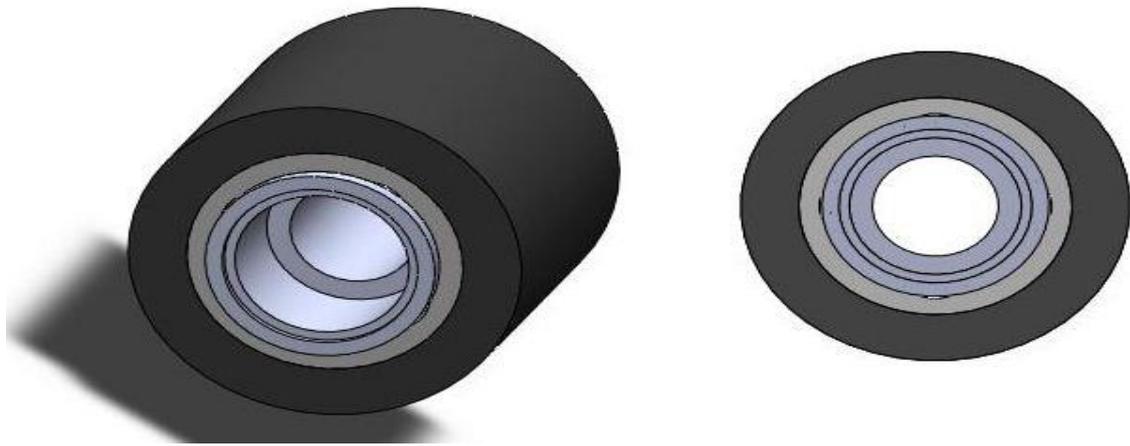


Figure 9 : palier lisse inférieur

Le palier supérieur

Le palier supérieur comporte un adaptateur et une chemise de palier identique à ceux du palier inférieur. La seule différence existe seulement au niveau du porter du palier. Sa position sur l'arbre à aubes, permet de diminuer le phénomène de vibration et de flexion.

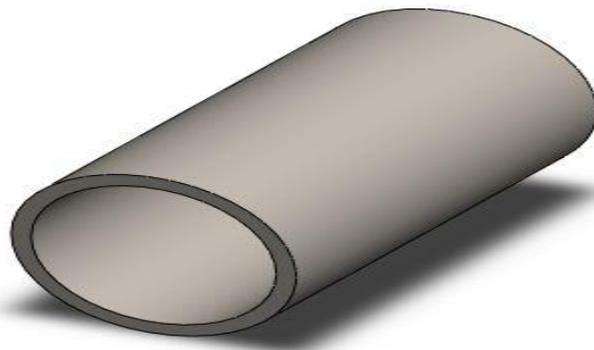


Figure 10 : porter du palier

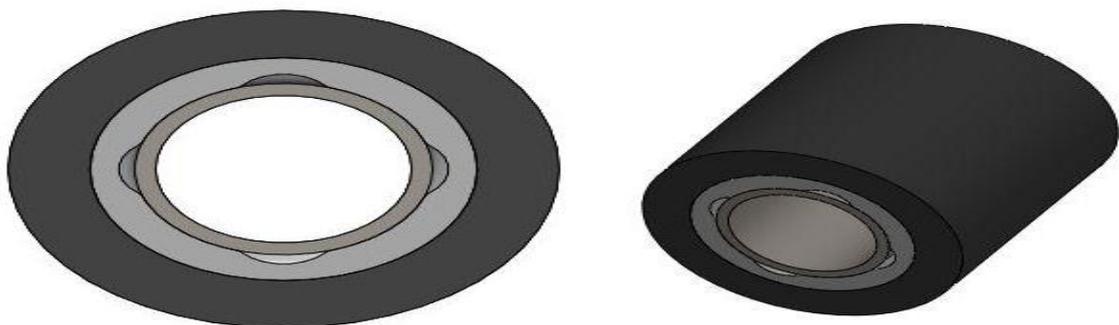


Figure 11 : palier lisse supérieur

➤ *Le roulement*

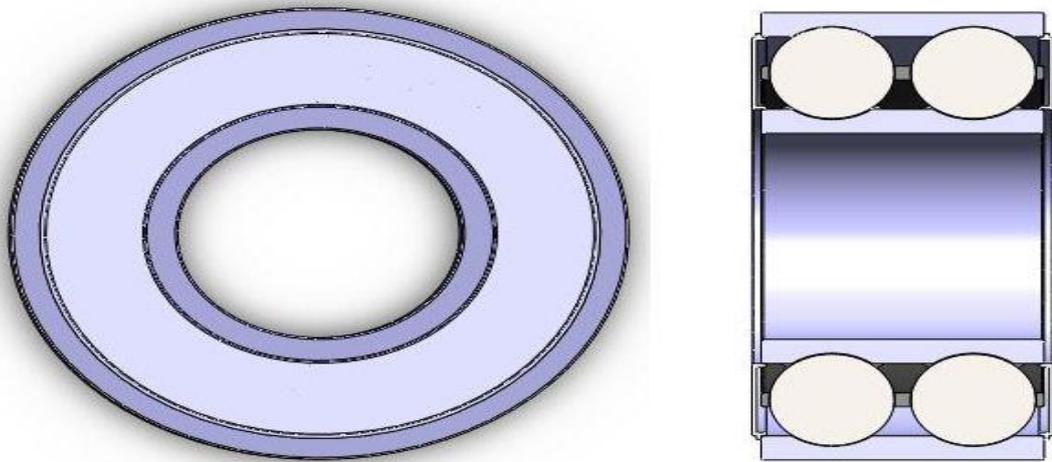


Figure 12 : roulement

➤ *Roue à aubes*

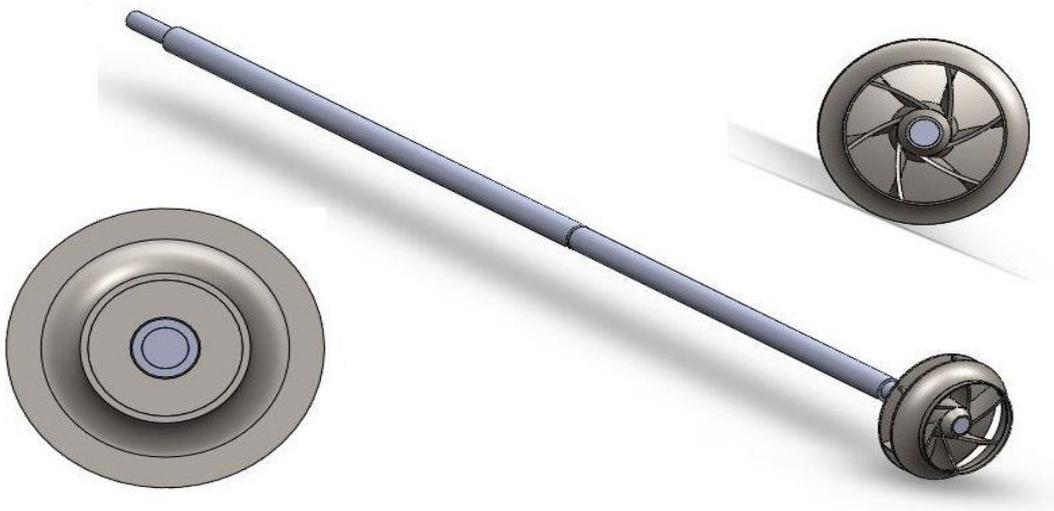


Figure 13 :l'arbre à aubes

La roue à aubes (impulseur) qui constitue l'élément mobile de la pompe, c'est la composante qui assure l'aspiration du liquide et le refoule vers la conduite de refoulement. Elle est constituée d'un distributeur (arbre) qui assure la transmission du couple du moteur vers les aubes de la pompe. Le distributeur porte aussi les deux paliers lisses et le roulement.

➤ *Coude de refoulement*



Figure 14 : coude de refoulement

➤ *volute*



Figure 15 : Volute

Remarque : quel que soit la taille des pompes de circulation d'acide T08 ou T10, tous ces composants ont le même diamètre. La seule différence se trouve seulement au niveau de la longueur des conduites et le volume de la volute.

➤ *La pompe de circulation d'acide Chass-Lewis*

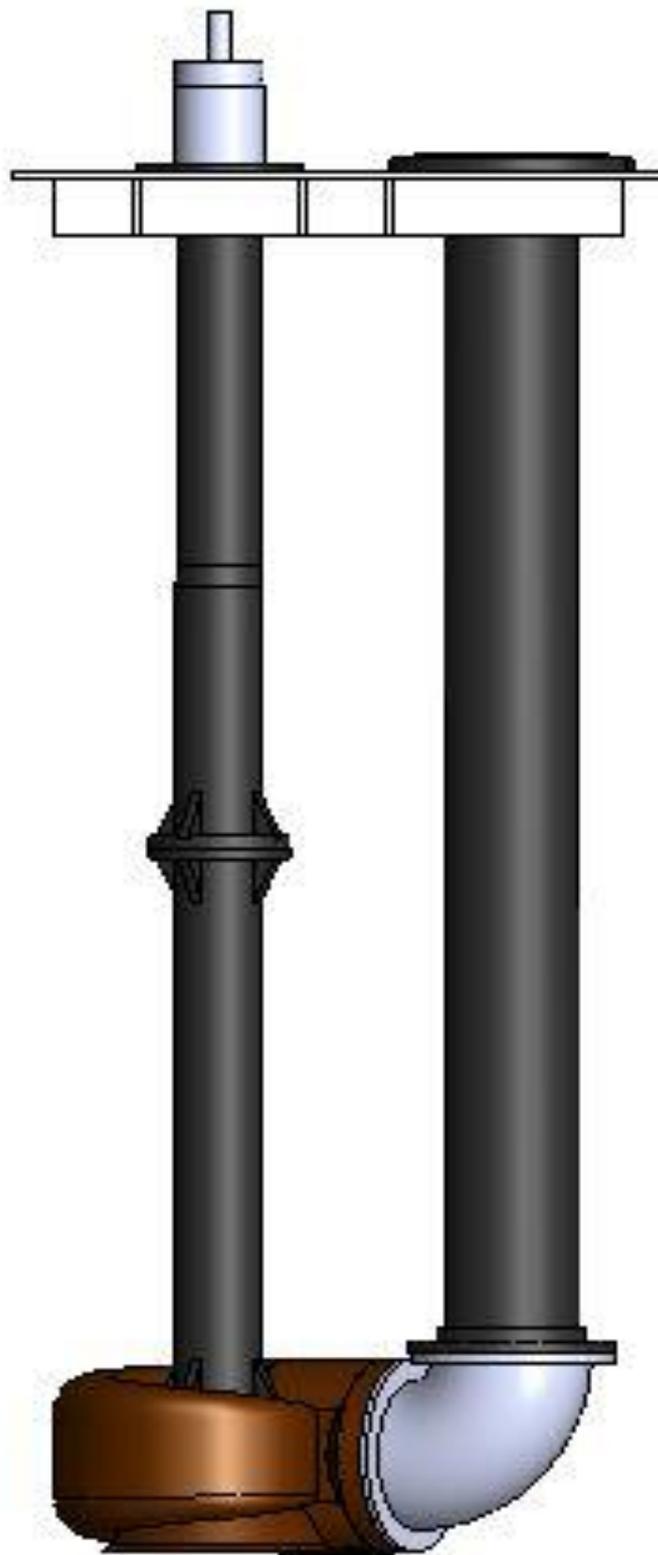


Figure 16 : pompe de Chass-Lewis

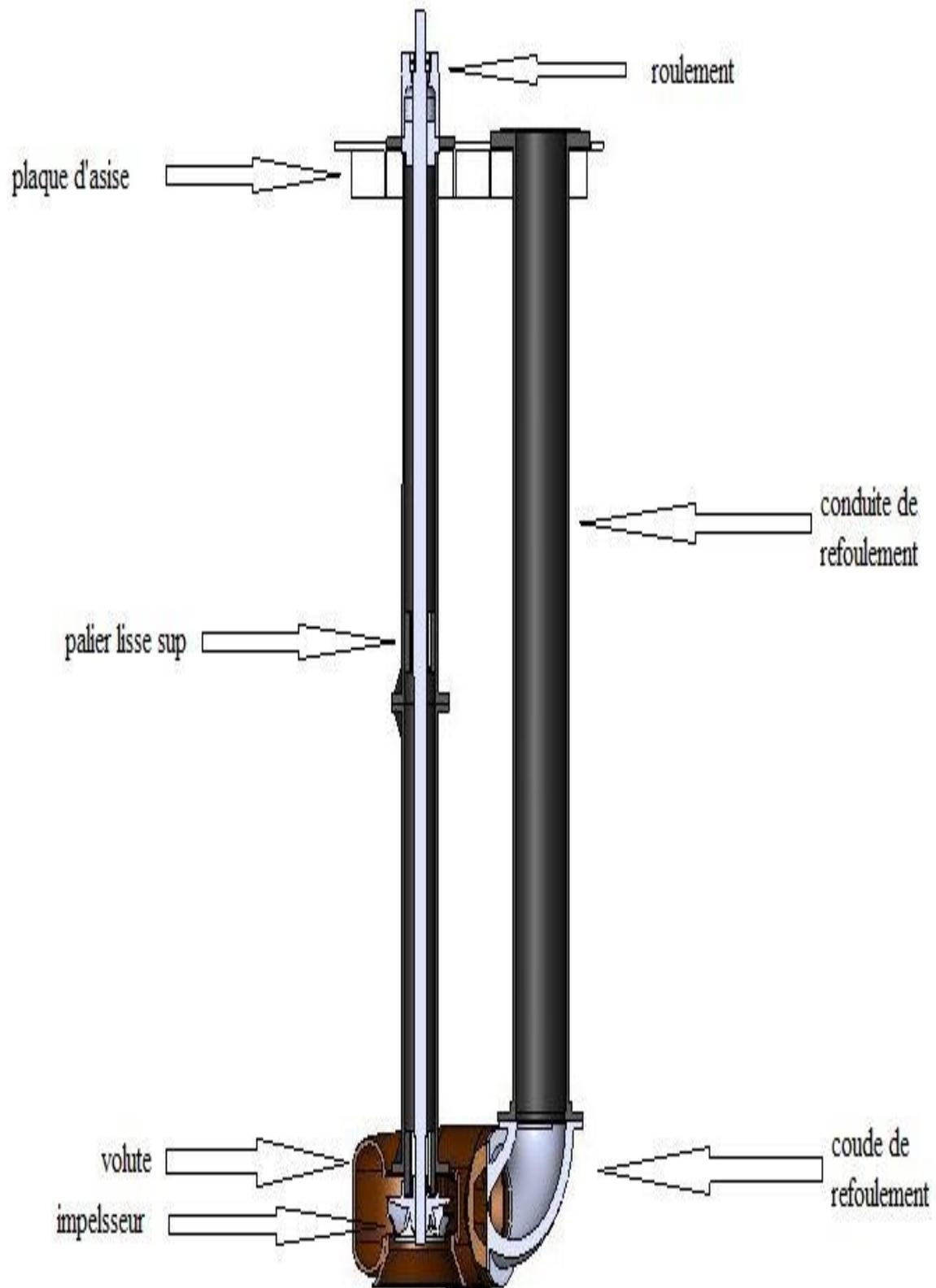


Figure 17 : vue de coupe de la pompe

II.2. Désignation des composantes de la pompe

Quel que soit la taille de la pompe utilisée, il doit être capable de résister au fonctionnement continu des tâches de pompage de l'acide sulfurique. Les composantes de ces pompes doivent être élaborées par des métaux qui résistent à la corrosion et au fonctionnement agressif des lignes de production.

Le tableau ci-dessus représente la désignation des composantes des pompes de Chass-Lewis installées⁽²⁾.

les composantes	ALLIAGE	LEWNET	FONTE ALLIEE	FONTE	ACIER
demi-accouplement moteur					•
demi-accouplement pompe					•
roulement à bille					•
cage de roulement à bille				•	
plaque d'assise					•
Enveloppe d'aspiration			•		
arbre (avec revêtement Téflon Double)	•				
Impulser		•			
bague d'impulseur		•			
bague de corps		•			
écrou d'impulseur		•			
Volute			•		
couvercle de cage de roulement				•	
palier de volute		•			
conduite de refoulement				•	
coude de refoulement			•		
goujons (20 utilisée)					
écrou et rondelle de blocage de roulement					•
tête d'aspiration			•		
rondelle de blocage de l'impulseur	INOXYDABLE				
support pour moteur				•	
les joints	véton				

Figure 18 : désignation des composantes de la pompe

Téflon : polymère thermostable, possède une grande inertie chimique et un très grand pouvoir antiadhésif (ensemble des phénomènes physico-chimiques qui se produisent lorsque l'on met en contact intime de deux matériaux).

LEWNET : désigne une série des d'alliages d'austénites nickel-chrome conçue spécialement pour la fabrication des composantes résistants à l'acide sulfurique. Cet alliage est très résistant à la corrosion dû à l'acide sulfurique, les études montre que pour une concentration de 98% de l'acide à 120° on a une corrosion de 0.0762 mm/ ans.

Viton : C'est un caoutchouc Fluor carboné .La feuille Viton est hautement appréciée dans les applications industrielles les plus pointues vu qu'elle présente la meilleure résistance aux hydrocarbures, aux acides, aux alcalis et même aux oxydants et qu'elle supporte des températures allant jusqu'à 250°C sans perdre ses propriétés mécaniques.

III. Fonctionnement et points de fonctionnement de la pompe

III.1. Fonctionnement des pompes de Chass-Lewis

Après l'installation de la pompe dans le bac, le démarrage de la pompe s'effectue tout d'abord à vanne de refoulement fermé pour créer une pression qui permet d'arriver à la hauteur manométrique désirée, ensuite, l'ouverture de la vanne se fait d'une manière progressive pour refouler le débit souhaité.

Les pompes de Chass-Lewis installées dans les lignes de production sont de type centrifuge. Au cours de son fonctionnement, on s'intéresse seulement au débit refoulé. Une pompe centrifuge est constituée par :

- Une roue à aube tournant au tour de son axe. Elle assure la transmission du liquide du bac vers la conduite de refoulement.
- Un distributeur coaxial avec l'axe de la roue, c'est celui qui assure la transmission du couple du moteur vers les aubes de la pompe.
- Un collecteur de section croissante, à une forme de spirale appelé volute.

En ce qui concerne le réglage du débit refoulé, il s'effectue par des vannes mécaniques. Car il s'agit soit de refouler un débit maximal au cours du fonctionnement à l'état normal, ou d'annuler complètement le débit lors de l'apparition d'une panne ou une chute de débit.

III.2. Les points de fonctionnement des pompes de Chass-Lewis

Après l'installation de la pompe, pour assurer son fonctionnement normal, augmenter sa durée de vie et éviter toute panne brusque, il faut respecter quelques points de fonctionnement qu'on peut les citer dans les étapes suivantes :

III.2.1. Le guidage

Le guidage de l'arbre se fait à l'aide de deux paliers lisses, un placé au centre de l'arbre et l'autre à l'extrémité inférieure. De plus un roulement à bille à deux rangées placé à

l'extrémité supérieur de l'arbre. C'est trois éléments assurent le guidage en rotation de l'arbre avec l'enveloppe d'aspiration.

Le palier qui est placé au centre de l'arbre est utilisé pour éviter le phénomène de la flexion. Il est aussi destiné à diminuer la vibration de l'arbre (longueur de l'arbre $L=4000\text{mm}$). Sans oublier aussi que la bonne mise en position des paliers et du roulement assure une bonne transmission du couple moteur vers la roue à aubes.

III.2.2. Le jeu fonctionnel

Le jeu fonctionnel à respecter concerne les parties en contact de la pompe, qui sont mobiles en rotation : arbre, paliers lisses et roulement. Pour avoir un bon fonctionnement au cours de la mise en marche, il faut respecter les valeurs signalées dans le tableau suivant ⁽³⁾:

Les pièces en contact	valeur admissible (en mm)
portée intermédiaire et palier intermédiaire	1,15
portée de volute et palier de volute	1,15
bague d'impulseur et bagues de corps et de jupe	1,4
palier de volute et arbre	0,01
moyen d'impulseur et palier de volute	0,018
cage de roulement et roulement	0,075
portée d'arbre et roulement	0,06
impulseur et bague d'impulseur	-0,06
jupe et bague de corps	-0,06
volute et bague de corps	-0,06
adaptateur et palier de volute	-0,025
volute et adaptateur du palier de volute	-0,013

Figure 19 : tableau des jeux fonctionnels admissibles

III.2.3. Liaison

Le montage des composants des pompes se fait soit par des liaisons que ce soit par ressort ou par adhérence pour assurer son fonctionnement normal.

Liaison par adhérence : par des boulons

Liaison par ressort : au niveau de l'accouplement de l'arbre de la pompe avec le moteur.

III.2.4. L'étanchéité

L'étanchéité est assurée par des joints, pour éviter tout contact entre métal. Ils sont en **VETON**, qui résiste à la chaleur, l'acide et au oxydant.

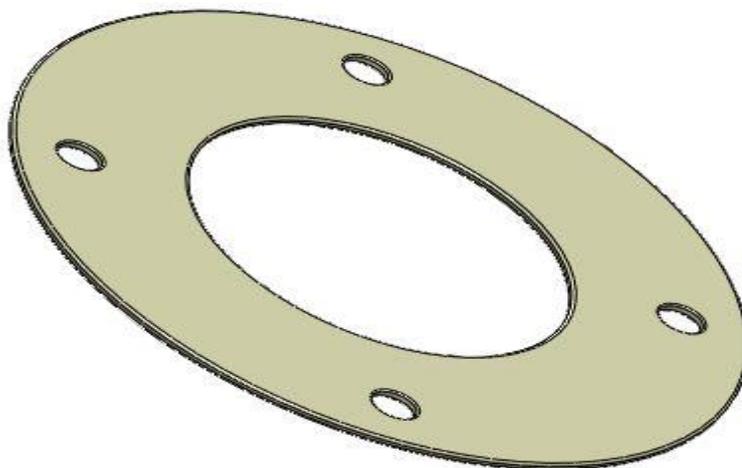


Figure 20 : joint en VITON

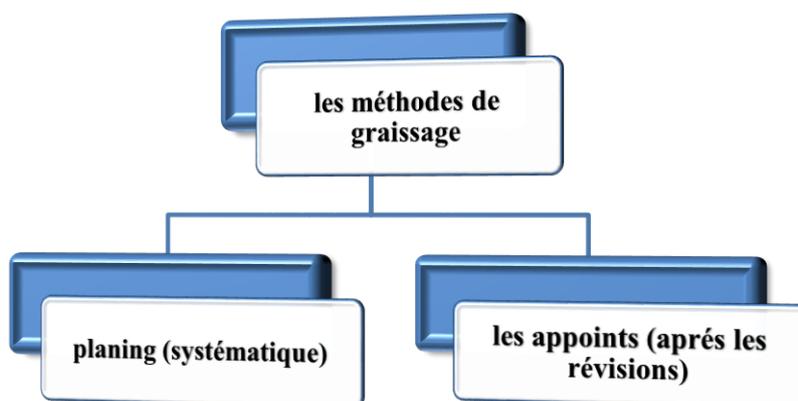
III.2.5. Graissage

La lubrification est une action nécessaire pour assurer le bon fonctionnement des paliers lisses et du roulement.

Les conditions de service générales sont comme suit :

- Température: Elle varie entre 97°C à 110°C.
- La vitesse de la rotation : $\omega=1500$ tr/min.
- Présence de la vibration (effet de Brinell).

Donc, pour le roulement, la lubrification se fait avec la graisse pour lutter contre les phénomènes citer au paravent.



La quantité de graisse nécessaire au bon fonctionnement est calculé par la formule suivante :

$$G=0.005*D*B$$

- ✓ G : quantité de graisse en g.
- ✓ D : Diamètre extérieur du roulement en mm
- ✓ B : Largeur du roulement en mm

En ce qui concerne le roulement monté sur l'arbre on a :

- ✓ D= 130 mm
- ✓ B= 60 mm

A.N : $G= 39$ g

Remarque : la graisse occupe un volume de 20% à 30% du volume interne du roulement.

Les paliers lisses sont immergés dans l'acide au cours de leur fonctionnement. Alors une lubrification que ce soit par la graisse ou par l'huile est impossible à faire. Donc la lubrification se fait par l'acide lui-même.

Chapitre III.

Bilan et analyse des pannes des pompes de Chass-Lewis

Durant le fonctionnement des pompes de Chass-Lewis, il y'a toujours apparition des pannes qui perturbent la production. Ces pannes sont dues aux conditions du service :

- Production en continu (risque d'usure par fatigue).
- Milieu basique (immergé H₂SO₄ de concentration 98%).
- Haute température peut atteindre 110°C.

I. Bilan des arrêts des pompes de Chass-Lewis

Les lignes de production de l'acide contiennent dix-huit pompes (12 de taille 10 et 6 de taille 8). Selon l'historique des arrêts des lignes de production, durant les trois ans dernières, on peut regrouper les pannes et les arrêts des pompes dans le tableau suivant :

Les arrêts	durée (min)
chute de débit	2860
arrêt forcé	2259
problèmes de vibration	1045
arrêt programmé	870
grippage du moteur de la pompe	736
Problèmes électrique	492
Désaccouplement	148
intervention du service ME	95
arrêt pour former le bouchon au niveau de la vanne de refoulement	41

Figure 21 : pannes et arrêts des pompes

Une étude par secteur nous donne le schéma suivant :

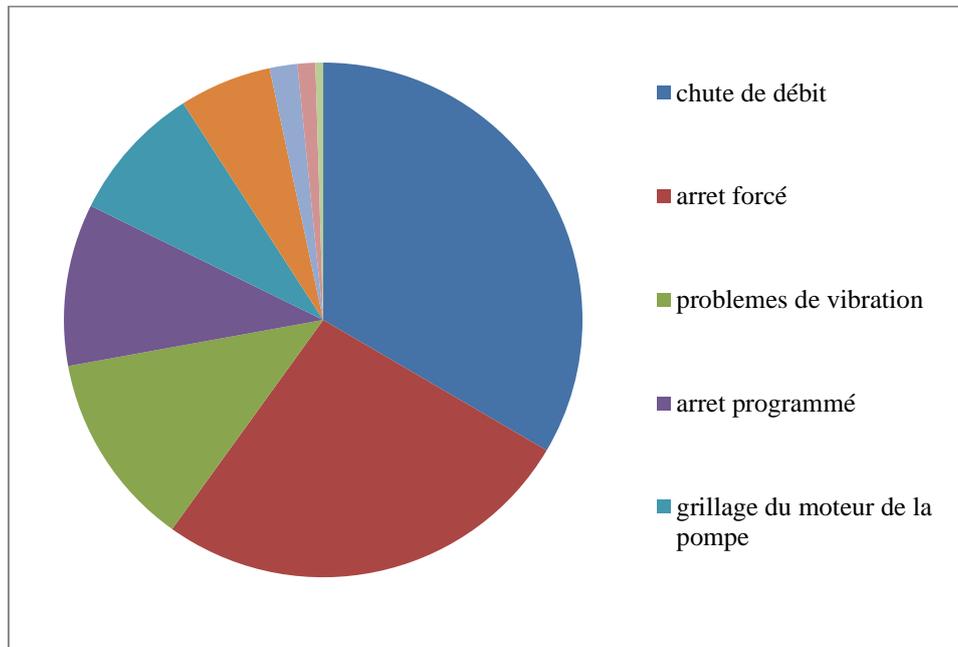


Figure 22 : la répartition des pannes et arrêts des pannes selon le temps

D'après le secteur de l'analyse des pannes, on remarque que les programmes majeurs par ordre d'importance sont : chute de débit, arrêt forcé, arrêts programmés et problèmes de vibration.

1.1. Chute d débit :

Au cours du fonctionnement, chaque pompe de Chass-Lewis est équipée d'un débitmètre qui calcule le débit refoulé. Ce dernier ne doit pas être inférieur à une valeur qui est déjà mentionné au début ($Q_v = 850 \text{ m}^3/\text{h}$ pour T08 et $Q_v = 1000 \text{ m}^3/\text{h}$ pour T10). Est si le débitmètre capte une valeur inférieur, à ce moment on aura un chute de débit. Les causes essentielles de la chute de débit sont :

- Débouchage au niveau des conduites (d'aspiration, de refoulement ou du coude).
- Problèmes au niveau des aubes (.
- Problèmes mécanique au niveau de l'arbre (désaccouplement.....).
- Dégradation du corps de la pompe.
- Problèmes au niveau du moteur.

1.2. Arrêts forcé :

Les arrêts forcés sont imposées lorsqu'il y'a des problèmes d'une chute de débit au niveau des pompes T08. Ou lorsqu'il y'a apparition des fuites des gaz ou de l'acide au niveau des circuits de la ligne de production (des contrainte de sécurités).

I.3. Problèmes de vibration :

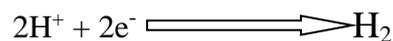
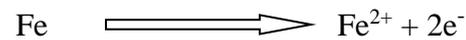
Les problèmes de vibration apparaissent lorsqu'il y'a une dégradation du matériau des paliers lisse ou du roulement. Aussi dû à l'apparition des problèmes au niveau de l'arbre (mauvais accouplement, corrosion de l'arbre ou des aubes...).

I.4. Arrêts programmés :

Ce sont des arrêts programmés selon des intervalles de temps précis. Ils sont destinés pour les réparations totales des lignes de production.

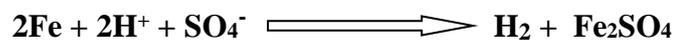
I.5. Problèmes de corrosion :

Ce sont des problèmes qui apparaissent ou il existe un contact entre le métal et l'acide. Généralement ils sont détectés lors de la révision de l'état de la pompe. Ceci est dû à la présence des ions H^+ . Ceci peut être expliqué par les réactions suivantes :



H^+ est dû à la réaction suivante : $H_2SO_4 \rightleftharpoons H^+ + SO_4^-$

Donc la réaction chimique qui provoque la corrosion les composantes de la pompe est :



Fe₂SO₄: sulfate ferreux, il apparait sous forme d'une couche verte sur les composante ou il y'a un contact entre le métal et l'acide sulfurique. Sa présence permet aussi de diminuer la corrosion lorsqu'il est collé sur les conduites et les aubes de l'impulser.

II. Taux de défaillance moyens des pompes installé dans les lignes de production

Selon les critères du fabricant, la pompe doit être capable de fonctionner deux ans sans connaitre une défaillance ou panne. Mais en pratique, et grâce aux conditions de fonctionnement sévères (production en continu, milieu basique, la vitesse de rotation des éléments tournant arrive à 1500 tr/min, une température peut arriver à 110° C, présence des impuretés...), la durée de vie théorique de la pompe diminue.

Théoriquement, dès l'installation de la pompe pour la première fois, on doit avoir pour $t=17088$ h (une durée de deux ans) pour la T10 selon les conditions de fonctionnement, une

fiabilité $R(t=17088)=1$. Et les pompes T08, leur durée de vie peut dépasser $t=17088$ h car elles sont immergées dans un acide de température qui ne dépasse pas 40° .

II.1. Taux de défaillance moyens des pompes de Chass-Lewis :

Comme on voit dans le tableau suivant, chaque pompe est définie par un matricule qui facilite son suivi et de connaître sa durée de fonctionnement. Vu des contraintes de disponibilité (seulement trois pompes on stocks deux de T10 et une de T08), et pour diminuer le temps d'arrêt des lignes lors du déclenchement d'une pompe, il arrête la ligne et il l'enlève pour l'envoyer à la révision ou la réparation puis la remplacer par la pompe qui est disponible dans le parc.

Pompes	période 1	période 2	période 3	période 4	période 5
AP01	572412		32001 24/05/2012		489869 28/08/2013
AP02	572413	489868 24/01/2012	560881 24/05/2012	560881 13/08/2012	560883 15/10/2013
AP03	560884		88401 25/05/2012		88401 25/05/2012
BP01	489871			65754 23/05/2013	65754 23/05/2013
BP02	489868	517117 03/08/2012	32006 22/12/2012	489868 07/01/2013	489868 07/01/2013
BP03	61252		487924 22/12/2012		487924 22/12/2012
CP01	517117 26/09/2011	560879 15/06/2012	517117 05/01/2013		517117
CP02	489869 22/09/2011	32005 05/10/2012	32005 06/02/2013	560881	69295 14/01/2014
CP03	67749		560884 05/10/2012		560884 05/10/2012
XP01	560881 06/10/2011	560880 24/01/2012	560880 24/08/2012	489868 04/01/2013	489871
XP02	560882	560879 24/01/2012	572412 05/06/2012	489871 25/11/2013	560880 24/12/2013
XP03	572416	487924 24/10/2012	WW 21/11/2012		WW 21/11/2012
YP01	32003 10/2011	560879 24/08/2012			560879 24/08/2012
YP02	32001 10/2011	560883 20/07/2012	560883 22/10/2012	32005 09/10/2013	32005 09/10/2013
YP03	560886 10/2011				560886 10/2011
ZP01	560878 02/2010	489868 15/05/2012	560878 20/01/2013		560878
ZP02	560883 02/2010	560878 26/06/2012	32006 03/04/2013		32006 03/04/2013
ZP03	560885 02/2010		560889 08/09/2012		560885 20/09/2012

Cette partie a pour but d'étudier le taux de défaillance des pompes et aussi déterminer les causes de l'indisponibilité et de proposer des améliorations pour assurer un taux de défaillance minimal.

On se basant sur l'historique des pompes installé dans les lignes de production de l'acide sulfurique, on peut calculer le taux de défaillance de chaque pompe.

La première étape consiste à calculer le moyen temps de bon fonctionnement MTBF :

$$\text{MTBF} = \frac{\text{le temp théorique total de fonctionnement} - \text{la durée du temps des arrêts}}{\text{nombre total des pannes}} = \frac{1}{\lambda}$$

Avec λ : le taux de défaillance.

II.1.1. Taux de défaillance des pompes T10 :

Pour cette étape, on doit connaître la durée et le nombre des arrêts de chaque pompe (P01 et P02).

La détermination du temps des arrêts se par le suivie de l'enlèvement de la pompes de sa position et son emplacement dans une nouvelle position, c'est-à-dire, la différence entre le temps de l'enlèvement et de mise en position.

Pour mieux montré comment ça se fait, on considère la pompe **517117**, elle est installée pour la première fois dans la ligne de production C. Sa première défaillance apparait le **15/06/2012**, elle est envoyée pour la révision puis installé dans la ligne de production B le **03/08/2012**. Et il est encore eu une autre panne le **22/12/2012**. Il est revenu en marche dans la ligne C le **05/01/2013** jusqu'à aujourd'hui. Donc le nombre des arrêts est deux fois.

La pompe 517117 :

La durée du temps des arrêts : 1560 h

$$\text{MTBF} = \frac{17088 - 1560}{2} = 7746 \text{ h} \quad \text{d'où } \lambda = 1.29 * 10^{-4}$$

La pompe 572412 :

La durée du temps des arrêts : 288 h

$$\text{MTBF} = \frac{17088 - 288}{2} = 8400 \text{ h} \quad \text{d'où } \lambda = 1.19 * 10^{-4}$$

La pompe 572413 :

Cette pompe a arrêté de fonctionner depuis **24/01/2012** car elle a subi une défaillance total, donc on conclue que sa MTBF=0.

La pompe 489871 :

La durée du temps des arrêts : 3744 h

$$MTBF = \frac{17088 - 3744}{2} = 6672 \text{ h} \quad \text{d'où } \lambda = 1.50 * 10^{-4}$$

La pompe 69295 :

Dès l'installation de cette pompe, elle n'a pas subi aucune défaillance d'où :

$$MTBF = 17088 \text{ h et } \lambda = 0$$

La pompe 32005 :

La durée du temps des arrêts :

$$MTBF = \frac{17088 - 5928}{1} = 11160 \text{ h} \quad \text{d'où } \lambda = 8.96 * 10^{-5}$$

La pompe 32006 :

La durée du temps des arrêts :

$$MTBF = \frac{17088 - 3744}{2} = 6672 \text{ h} \quad \text{d'où } \lambda = 1.50 * 10^{-4}$$

La pompe 65754 :

Dès l'installation de cette pompe, elle n'a pas subi aucune défaillance d'où :

$$MTBF = 17088 \text{ h et } \lambda = 0$$

La pompe 32001 :

La durée du temps des arrêts :

$$MTBF = \frac{17088 - 3744}{2} = 6672 \text{ h} \quad \text{d'où } \lambda = 1.50 * 10^{-4}$$

La pompe 560879 :

Dès l'installation de cette pompe, elle n'a pas subi aucune défaillance d'où :

$$MTBF = 17088 \text{ h et } \lambda = 0$$

La pompe 560882 :

Cette pompe a arrêté de fonctionner depuis **24/01/2012** car elle a subi une défaillance total, donc on conclue que sa MTBF=0.

La pompe 489868 :

La durée du temps des arrêts : 3744 h

$$MTBF = \frac{17088 - 3744}{1} = 13344 \text{ h} \quad \text{d'où } \lambda = 7.50 * 10^{-5}$$

Elle est considérée comme une pompe de réserve.

La pompe 489869 :

La durée du temps des arrêts : 7896 h

$$MTBF = \frac{17088 - 7896}{1} = 9192 \text{ h} \quad \text{d'où } \lambda = 1.08 * 10^{-4}$$

La pompe 560881 :

La durée du temps des arrêts : 7800 h

$$MTBF = \frac{17088 - 7800}{3} = 3096 \text{ h} \quad \text{d'où } \lambda = 3.22 * 10^{-4}$$

La pompe 560878 :

La durée du temps des arrêts : 1032 h

$$MTBF = \frac{17088 - 1032}{1} = 16056 \text{ h} \quad \text{d'où } \lambda = 9.68 * 10^{-4}$$

La pompe 560883 :

La durée du temps des arrêts : 3000 h

$$MTBF = \frac{17088 - 3000}{3} = 4696 \text{ h} \quad \text{d'où } \lambda = 2.12 * 10^{-4}$$

La pompe 560880 :

La durée du temps des arrêts : 11448 h

$$MTBF = \frac{17088 - 11448}{1} = 5640 \text{ h} \quad \text{d'où } \lambda = 1.77 * 10^{-4}$$

La pompe 32003 :

Cette pompe a arrêté de fonctionner depuis **24/08/2012** car elle a subi une défaillance total, donc on conclue que sa MTBF=0.

II.1.2. Taux de défaillance des pompes T08 :

Le fonctionnement des pompes de T08 est semblable à celui de T10, même puissance et même vitesse de rotation. La seule différence est que l'acide dont lequel elles sont émergées à une température $t = 40^\circ$ au maximum. Donc leur fiabilité est supérieure à celle de T10.

La pompe 560884 :

La durée du temps des arrêts : 3192 h

$$MTBF = \frac{17088 - 3192}{1} = 13896 \text{ h} \quad \text{d'où } \lambda = 7.19 * 10^{-5}$$

La pompe 61252 :

A connu une défaillance totale le 22/12/2012

La pompe 67749 :

A connu une défaillance totale le 05/10/2012

La pompe 572416 :

A connu une défaillance totale le 24/10/2012

La pompe 560886 :

Dés sont installation, du mois 10/2011 jusqu'à aujourd'hui, elle n'a connue aucune défaillance.

La pompe 560885 :

La durée du temps des arrêts : 312 h

$$MTBF = \frac{17088 - 312}{1} = 16776 \text{ h} \quad \text{d'où } \lambda = 5.96 * 10^{-5}$$

La pompe 88401 :

Dès l'installation de cette pompe, elle n'a pas subi aucune défaillance d'où :

$$MTBF= 17088 \text{ h et } \lambda=0$$

La pompe 487924 :

La durée du temps des arrêts : 768 h

$$MTBF = \frac{17088-768}{1} = 16320 \text{ h d'où } \lambda = 6.12 \cdot 10^{-5}$$

La pompe 560889 :

Cette pompe est considérée comme une pompe de réserve. Elle est utilisée dans le cas de déclenchement d'une pompe ou si une pompe doit être révisée.

II.1.3. Les causes de défaillance :

Les principaux problèmes de défaillance des pompes sont :

- Bruits et vibrations.
- Fuites au niveau des conduites.
- Défaillance du système d'entraînement.
- Défaillance des paliers et le roulement
- usure du corps de la pompe.

Durant le fonctionnement de la pompe, les pièces qui provoquent la défaillance sont les éléments de guidages. Le manque de lubrification ou le mal serrage, conduit à la rupture du roulement, ceci génère des problèmes de vibration (en générale de type balourd) qui provoquent la dégradation du matériau des paliers lisses.

II.2. Analyse des causes de défaillance de la pompe :

II.2.1. Le corps de la pompe :

Concerne tout ce qui est fixe (coude de refoulement, conduite d'aspiration, conduite de refoulement et volute), leur défaillance se manifeste dans une dégradation du matériau, qui est due à la corrosion. Grâce à la présence de l'acide on peut s'assurer de ce phénomène par la réaction chimique qui est citée au paravent :



Ce phénomène peut être remarqué, dans le cas de la conduite d'aspiration, s'il y'a une révision de la pompe. Mais on peut le remarquer dans le cas de la conduite de refoulement, le coude et la volute s'il y'a une chute de débit. Car avec le temps, la dégradation de l'épaisseur des conduites provoque l'apparition des fuites qui génère une diminution du débit refoulé.

II.2.2. Les éléments tournants en rotation :

La rupture de l'impulser est dû à la pénétration d'un corps étrange qui provoque la fissuration des aubes. Ces fissurations, grâce à la chaleur et la fatigue se propagent avec le temps, et cela conduit à la rupture de l'impulser.

Si le corps étrange est grand, il peut conduire au freinage de la rotation de l'impulser, et ceci peut conduire à la rupture de l'arbre (effet de torsion). Et parfois dû à la présence des corps étrange, le revêtement de l'arbre qui la protège contre la corrosion, subit des fissurations qui se propagent avec le temps. A cause de ces dernières, l'acide pénètre entre le revêtement de téflon et l'arbre. Et par conséquent l'arbre subit des ruptures par corrosion.



Figure 23 : influence de la corrosion sur l'arbre

Pour les éléments tournants, théoriquement si l'arbre est bien guidé, il n'y a pas de dégradation de matériau. Une simulation par Solidworks montre qu'il n'y a pas de défaillance.

Les données d'entrés :

La vitesse de rotation de la pompe : $\omega=1480$ tr/min.

La puissance motrice : $P = 130$ kW

On a : $P=C*\omega$ avec C : le couple moteur

$$D'o\grave{u} \quad C = \frac{P}{\omega} = \frac{130 \cdot 60}{\omega \cdot 2\pi} \cdot 10^3$$

$$A.N \quad C = 838.80 \text{ N.m}$$

Les hypothèses de fixation :

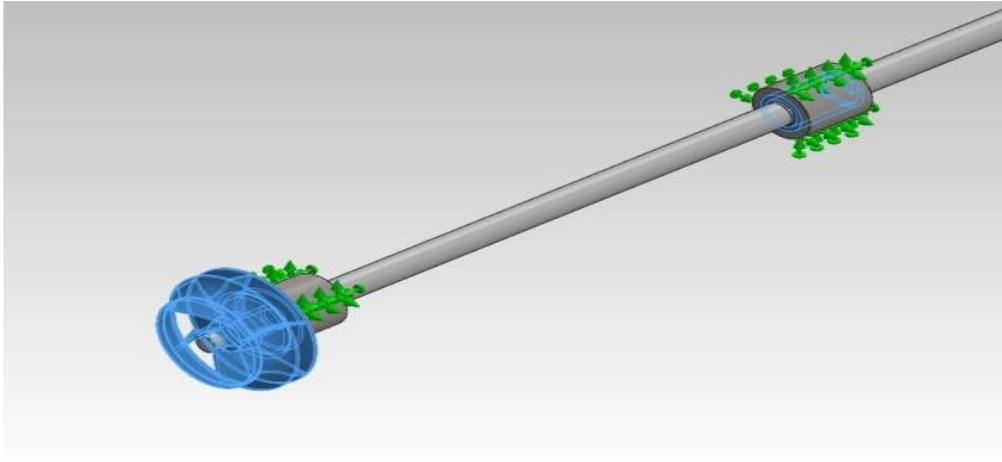


Figure 24 : fixation de l'arbre

Les résultats obtenus après analyse :



Figure 25 : maillage et simulation de l'arbre

Mais en réalité et durant le fonctionnement de la pompe, les problèmes de vibration qui apparaissent avec le temps (surtout les problèmes de type balourd), provoquent la dégradation du matériau des paliers lisses.

Pour améliorer la pompe, et augmenter sa durée de vie sans changement ni le matériau ni le dimensionnement. On va ajouter quelques modifications, qui vont diminuer son taux de défaillance.

II.3. Les actions d'améliorations

II.3.1. Le corps de la pompe

Le corps de la pompe est soumis à l'effet de corrosion, et comme le cas de l'arbre qui est protégée par un revêtement de téflon, on va ajouter à chaque composante un autre revêtement pour le protéger de l'extérieur. Par exemple le cas de la conduite d'aspiration, après l'ajout du revêtement :



Figure 26 : conduite de refoulement avec revêtement en Téflon

Ce revêtement est capable de protéger la conduite contre la corrosion. Tandis que la surface intérieure sera protégée par la couche du **sulfate ferreux**, car l'apparition de ce dernier diminue le phénomène de corrosion.

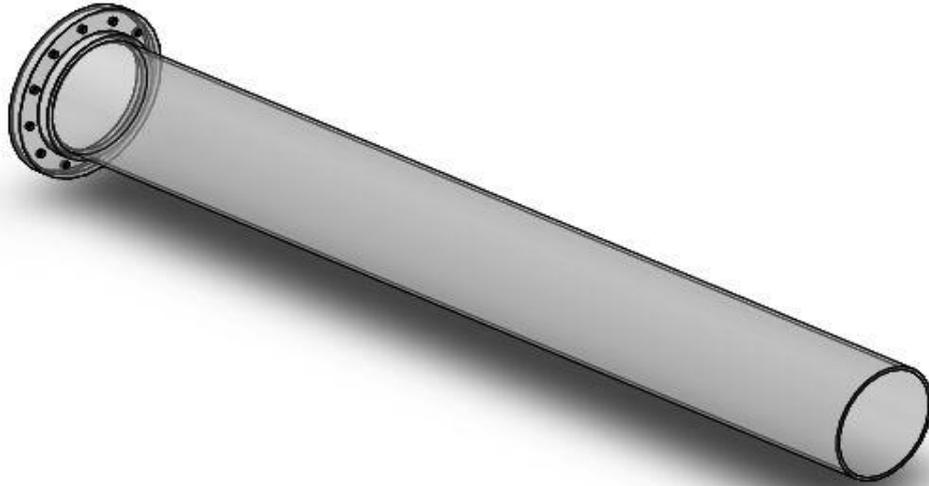


Figure 27 : revêtement en Téflon

II.3.2. La réduction des problèmes de vibrations

Le contrôle de vibration de la pompe se fait deux fois par semaine. Le but de ce contrôle est de suivre l'état de la pompe, et d'intervenir au cas d'apparition d'un problème. Généralement ces problèmes sont dus à :

- ✓ L'usure du roulement.
- ✓ Desserrage des boulons de fixation du support du moteur.
- ✓ Désaccouplement de l'accouplement arbre-moteur.

Pour diminuer les phénomènes de vibration, l'agent qui fait le contrôle doit être aussi capable de diagnostiquer l'état des boulons et de qui assure la fixation du boîtier du moteur sur la plaque d'assise.

Chapitre IV.

Contrôle non destructif des pompes de Chass-Lewis

Dans le but d'assurer une disponibilité maximale des pompes de circulation d'acide, il est nécessaire de mettre en œuvre une maintenance efficace basée sur le contrôle, le suivi de l'état des équipements en marche, le diagnostic des anomalies de fonctionnement.

Puisqu'il s'agit des éléments tournants, ces derniers se traduisent par l'apparition des phénomènes de vibration. A ce niveau, l'analyse vibratoire est un moyen de diagnostic efficace qui permet de suivre l'état des composantes tournantes de la pompe.

Le contrôle des composantes interne de la pompe se fait par deux méthodes :

I. Par le son :

Cette méthode est basée sur l'expérience des agents. D'après leur expérience, tout changement ou perturbation dans le son de la pompe au cours de son fonctionnement indique l'existence d'un problème ou d'une panne.

II. Le Contrôle non destructif :

II.1. L'analyse vibratoire :

Il existe deux niveaux d'investigation :

II.1.1. La mesure de niveau global :

Identifie l'état général de la pompe dans sa globalité par une seule valeur de mesure, soit par l'accélération ou la vitesse efficace. Cette méthodes et rapide et aussi inopérante, mais seulement elle est utilisée pour suivre l'état de la pompe.

II.1.2. L'analyse spectrale :

Les valeurs mesurées en un point de mesure ont généralement plusieurs origines et causes. La simple mesure au niveau globale est rapidement inopérante dû à la présence de

plusieurs composantes. Cette méthode permet de détecter la source de la panne apparue au niveau de la pompe.

Le diagnostic vibratoire est basé sur l'identification de la fréquence de la vibration générée par un phénomène mécanique, selon la nature du signal vibratoire, on obtient un spectre de raies discrètes ou un spectre continu. Le spectre se représente sous forme d'un graphe montrant l'amplitude à chaque fréquence.

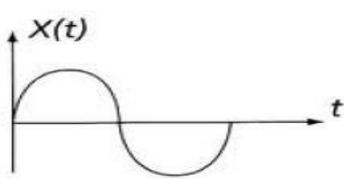
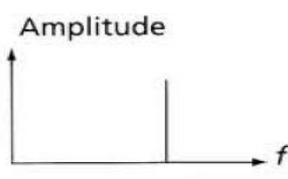
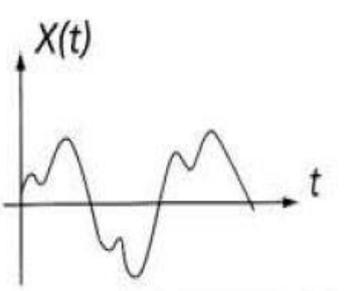
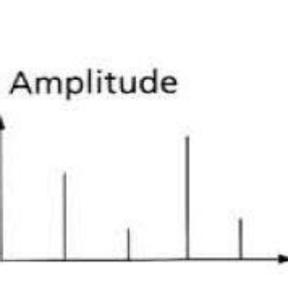
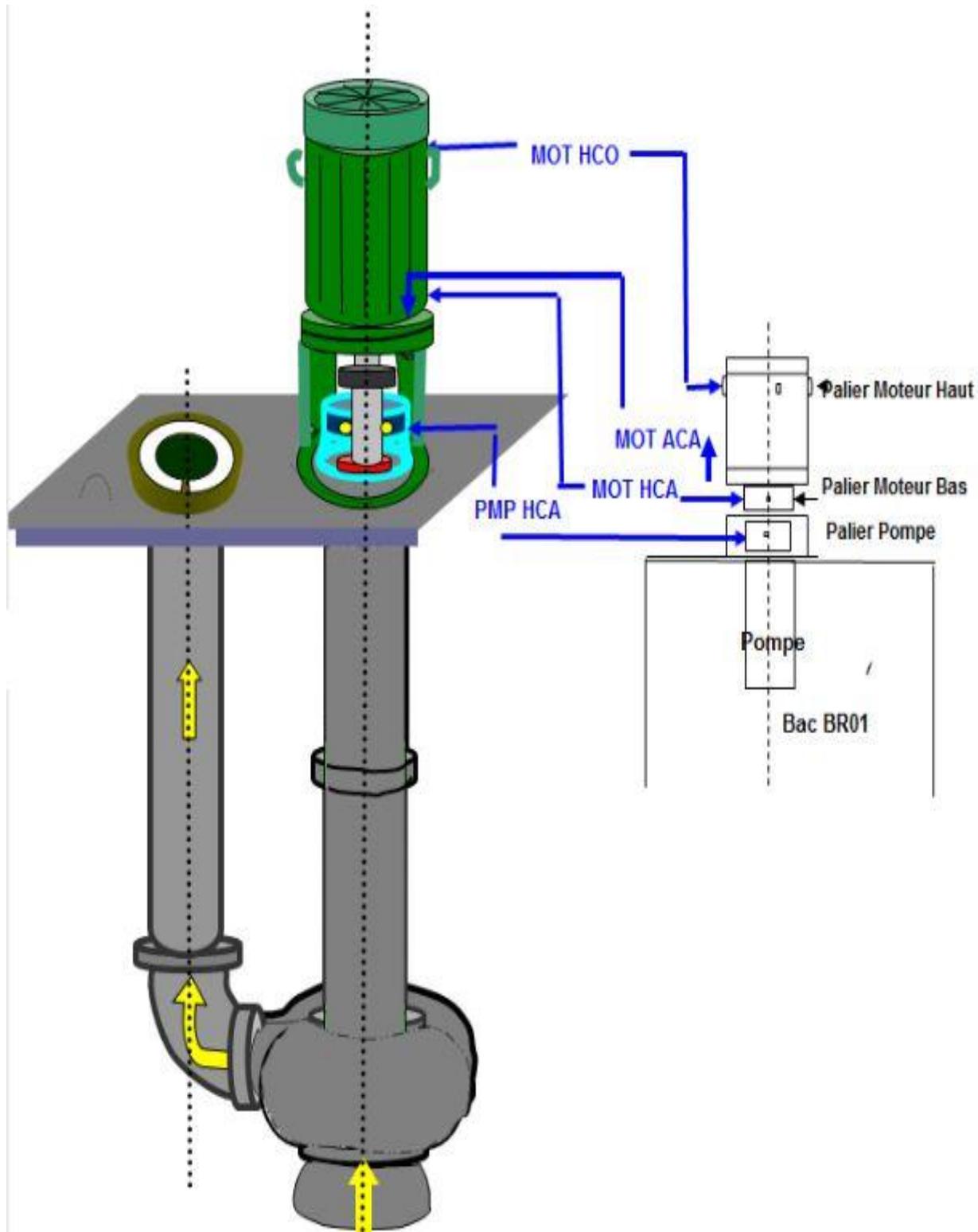
Nature de vibration	Forme temporelle	Forme spectrale	Phénomène générateur
Sinusoidal e			Balourd
Sinusoidal e Complexe			Effort dynamique D'engrènement

Figure 28 : fonctions temporelles et leurs formes spectrales

La prise des mesures se fait périodiquement (2 fois par semaine), et sauvegarder dans des tableaux d'Excel. Les graphes représentent la valeur maximale obtenue dans les directions de chaque point en fonction du temps de la mesure.

Les points de mesure sont illustrés dans le schéma suivant. Ces points concernent généralement les paliers du moteur et le roulement de la pompe.



II.1.3. L'appareil de mesure

L'appareil de mesure X-viber permet de mesurer les déplacements, les vitesses et les accélérations. Ceci permet de détecter les problèmes de haute fréquence, moyens fréquence ou de basse fréquence. Ceci permet aussi, de savoir s'il existe des problèmes au niveau de

roulement (haute fréquence) ou des problèmes de balourd (basse fréquence). La définition des types de mesure se fait par le choix du calibre de mesure (des intervalles de fréquence).



Figure 29 : l'appareil de mesure « X-trend »

La prise des mesures à partir de ces points permet de déterminer toute panne ou problème qui peuvent perturber le fonctionnement de la pompe.

Pour utiliser l'analyse spectrale des vibrations comme outil de diagnostic, l'utilisateur doit connaître les fréquences caractéristiques des différentes anomalies pouvant affecter chaque type d'équipement.

Le tableau présente les principales anomalies pouvant apparaître au niveau de la pompe avec la fréquence caractéristique et le type d'action à entreprendre pour éliminer l'anomalie.

Cause	fréquence	Remède
balourd	1*N	Equilibrer
désalignement	souvent 1*N parfois 2, 3, 4*N	Aligner Serrer accouplement
arbre fléchi ou tordu	1*N, 2*N	rectifier ou changer l'arbre
défaut d'impulseur	n*N	Changement ou nettoyage de l'impulseur

Figure 30 : les anomalies des pompes

n : représente le nombre des ailles de l'impulser.

II.1.4. La sauvegarde des données :

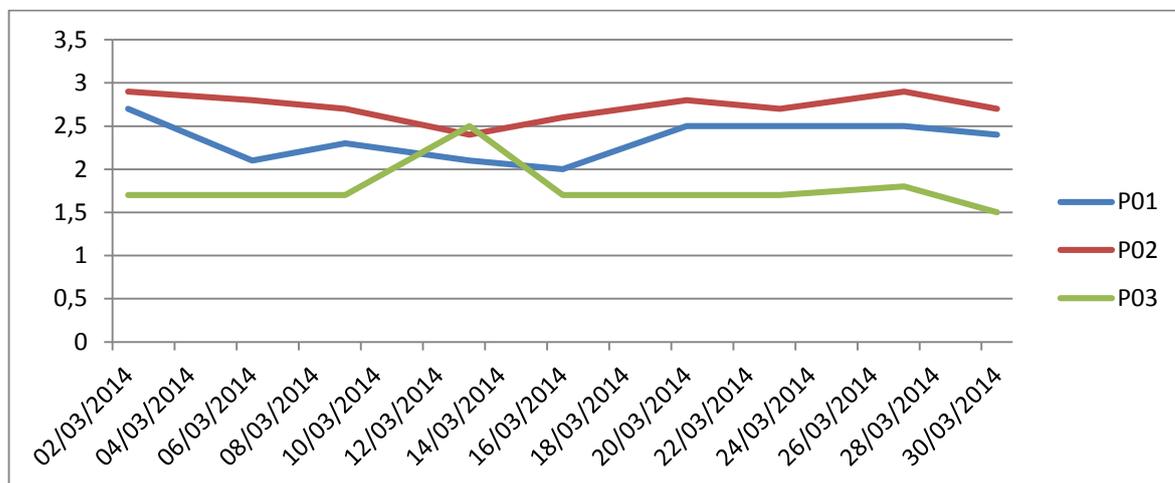
Pour mieux montrer comment ça se fait au service de maintenance, on applique ça sur les mesures effectués au mois mars des six lignes de productions.

La ligne de production A

Unité A													
		01AP01			01AP02			01AP03			Max		
Date	Pnt Pal	P/PE	P/M.B	P/M.H	P/PE	P/M.B	P/M.H	P/PE	P/M.B	P/M.H	P01	P02	P03
02/03/2014	Ax	2,3	1,7	2,6	2,6	2,3	2,8	1,4	1,2	1,5	2,7	2,9	1,7
	Ry	2,6	2,1	2,7	2,7	2,5	2,8	1,7	1,4	1,6			
	Rz	2,5	2,4	2,5	2,8	2,6	2,9	1,5	1,5	1,7			
06/03/2014	Ax	1,7	1,3	1,9	2,4	1,9	2,7	1,2	1	1,6	2,1	2,8	1,7
	Ry	1,9	1,5	2,1	2,6	2,1	2,8	1,4	1,1	1,5			
	Rz	2,1	1,7	2	2,5	2,2	2,6	1,3	1,3	1,7			
09/03/2014	Ax	1,8	1,5	2	2,3	1,8	2,5	1,3	1,1	1,5	2,3	2,7	1,7
	Ry	2,1	1,8	2,2	2,6	1,7	2,7	1,5	1,3	1,7			
	Rz	2,3	1,7	2,1	2,5	1,9	2,6	1,4	1,4	1,6			
13/03/2014	Ax	1,6	1,3	1,8	2	1,7	2,2	1,3	1	1,5	2,1	2,4	2,5
	Ry	1,7	1,5	2	2,4	1,9	2,4	2,5	1,2	1,4			
	Rz	1,8	1,4	2,1	2,2	2,1	2,3	1,4	1	1,6			
16/03/2014	Ax	1,4	1,1	1,8	2	1,8	2,3	1,1	1	1,6	2	2,6	1,7
	Ry	1,6	1,3	1,9	2,4	1,7	2,5	1,4	1,3	1,5			
	Rz	1,7	1,2	2	2,6	1,9	2,4	1,5	1,1	1,7			
20/03/2014	Ax	1,7	1,5	2,3	2,4	1,8	2,6	1,3	1,1	1,6	2,5	2,8	1,7
	Ry	1,9	1,7	2,5	2,6	1,7	2,8	1,5	1,3	1,5			
	Rz	2	1,8	2,4	2,5	1,9	2,7	1,4	1,2	1,7			
23/03/2014	Ax	1,9	1,6	2,2	2,3	1,8	2,4	1,3	1	1,5	2,5	2,7	1,7
	Ry	2,2	1,9	2,3	2,5	2,1	2,7	1,7	1,2	1,4			
	Rz	2	1,8	2,5	2,6	1,9	2,6	1,6	1,1	1,6			
27/03/2014	Ax	1,9	1,5	2,2	2,5	2	2,8	1,5	1,3	1,7	2,5	2,9	1,8
	Ry	2,3	1,8	2,4	2,7	2,1	2,9	1,7	1,5	1,6			
	Rz	2	1,7	2,5	2,4	1,9	2,7	1,8	1,4	1,8			
30/03/2014	Ax	1,7	1,5	2,2	2,2	1,9	2,6	1,1	1	1,4	2,4	2,7	1,5
	Ry	1,9	1,8	2,1	2,5	2,1	2,7	1,4	1,1	1,5			
	Rz	2	1,7	2,4	2,3	2,3	2,5	1,2	1,3	1,3			

Figure 31 : les mesures de vibration de la ligne de production A

Après la sauvegarde des mesures, on obtient le graphe des valeurs maximales des trois pompes en fonction du temps de mesure.

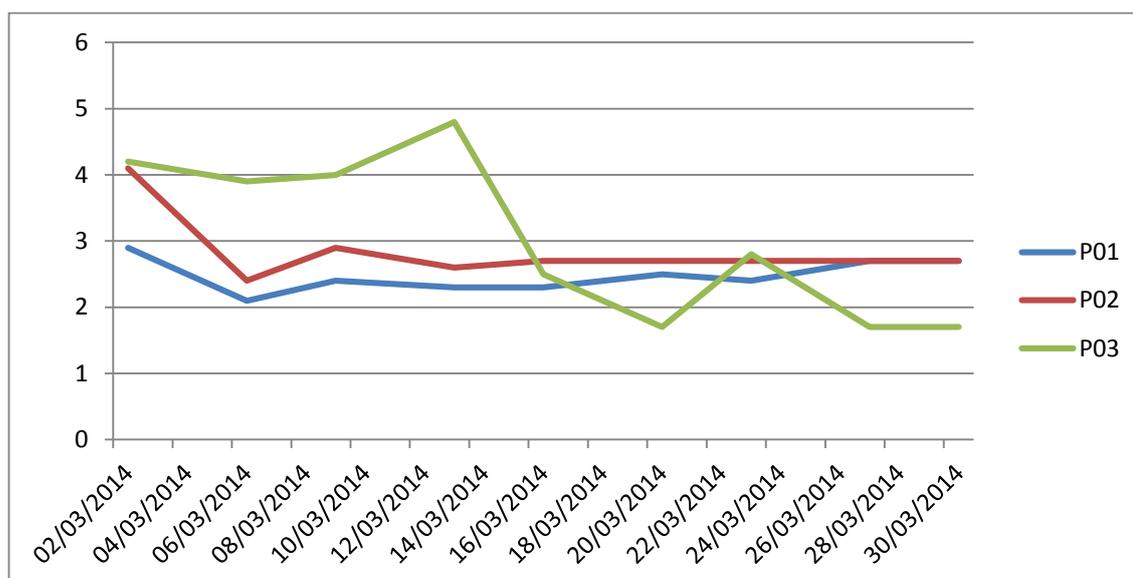


La ligne de production B

Unité B													
Date	Point	01AP01			01AP02			01AP03			Max		
		P/PE	P/M.B	P/M.H	P/PE	P/M.B	P/M.H	P/PE	P/M.B	P/M.H	P01	P02	P03
02/03/2014	Ax	2,5	2	2,6	3,8	2,7	3,3	1,3	1,4	2,1	2,9	4,1	4,2
	Ry	2,8	2,3	2,8	4,1	1,9	3	2,9	2,3	4,2			
	Rz	2,9	2,5	2,7	3,7	2	2,9	2,5	2,5	2,8			
06/03/2014	Ax	1,7	1,5	1,9	1,9	1,3	2,2	2,8	3,4	3,3	2,1	2,4	3,9
	Ry	1,9	1,6	2	2,1	1,5	2,3	3,9	3	3,7			
	Rz	2	1,8	2,1	2,3	1,4	2,4	2,8	3,3	3,5			
09/03/2014	Ax	1,9	1,6	2,3	2,6	1,8	2,7	1,6	1,3	1,7	2,4	2,9	4
	Ry	2,2	1,8	2,2	2,7	2	2,9	2,5	2,2	4			
	Rz	2,1	1,9	2,4	2,9	1,9	2,6	2,3	2,5	2,3			
13/03/2014	Ax	1,8	1,5	2,1	2,2	1,7	2,4	1,2	1,1	1,3	2,3	2,6	4,8
	Ry	2,1	1,7	2,3	2,5	1,9	2,5	2,4	1,6	4,8			
	Rz	1,9	1,8	2,2	2,3	1,8	2,6	2,1	2,1	2,3			
16/03/2014	Ax	1,7	1,5	2	2,3	1,8	2,6	1,3	1,2	1,7	2,3	2,7	2,5
	Ry	2,2	1,8	2,2	2,5	1,7	2,7	2,1	1,4	2,5			
	Rz	2	1,9	2,3	2,6	2	2,5	2,5	1,5	2,4			
20/03/2014	Ax	2	1,5	2,2	2,3	1,8	2,6	1,4	1,2	1,6	2,5	2,7	1,7
	Ry	2,2	1,9	2,3	2,5	1,9	2,7	1,6	1,5	1,5			
	Rz	2,3	1,7	2,5	2,6	1,8	2,5	1,5	1,3	1,7			
23/03/2014	Ax	2	1,5	2,3	2,4	1,7	2,5	1,4	1	1,1	2,4	2,7	2,8
	Ry	2,2	1,7	2,2	2,5	1,9	2,7	1,6	1,3	2,8			
	Rz	2,1	1,6	2,4	2,3	1,8	2,6	1,5	1,5	2,3			
27/03/2014	Ax	2	1,5	2,3	2,3	1,8	2,6	1,4	1,2	1,6	2,7	2,7	1,7
	Ry	2,3	1,7	2,5	2,6	2,1	2,7	1,5	1,5	1,7			
	Rz	2,1	1,6	2,7	2,4	2,3	2,5	1,7	1,3	1,5			
30/03/2014	Ax	2,1	1,8	2,4	2,3	1,9	2,6	1,4	1,1	1,6	2,7	2,7	1,7
	Ry	2,4	1,7	2,7	2,5	2	2,5	1,5	1,3	1,5			
	Rz	2,5	1,9	2,5	2,4	2,1	2,7	1,6	1,5	1,7			

Figure 32 : les mesures de vibration de la ligne de production B

Après la sauvegarde des mesures, on obtient le graphe des valeurs maximales des trois pompes en fonction du temps de mesure.



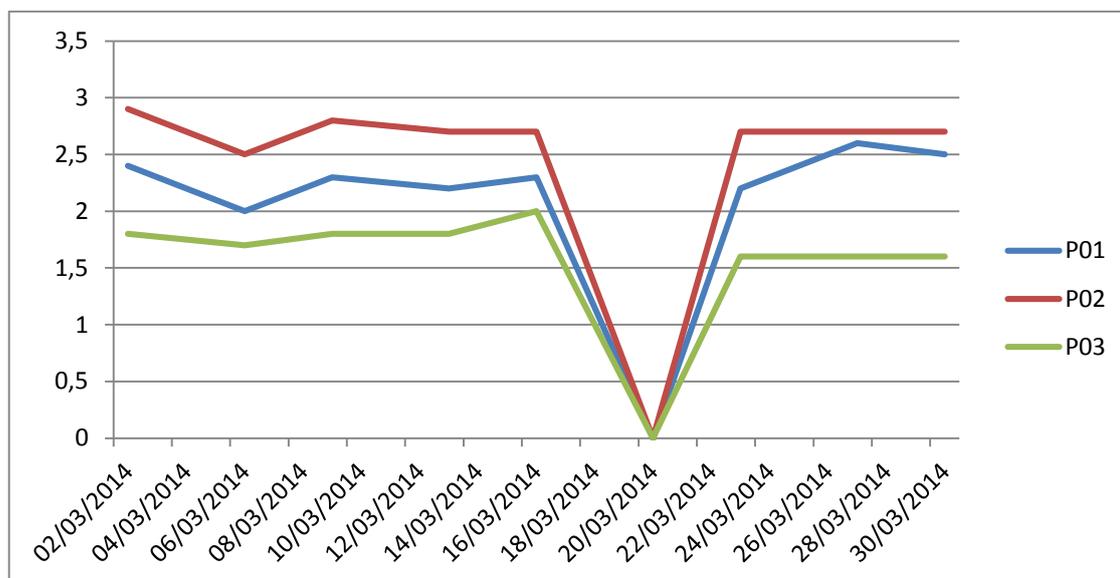
La ligne de production C

Unité C													
Date	Point	01AP01			01AP02			01AP03			Max		
		P/PE	P/M.B	P/M.H	P/PE	P/M.B	P/M.H	P/PE	P/M.B	P/M.H	P01	P02	P03
02/03/2014	Ax	2,1	1,6	2,2	2,3	2,1	2,8	1,4	1,3	1,6	2,4	2,9	1,8
	Ry	2,2	1,8	2,4	2,7	2,4	2,9	1,7	1,6	1,8			
	Rz	2,4	1,7	2,3	2,8	2,3	2,7	1,5	1,5	1,7			
06/03/2014	Ax	1,6	1,4	1,8	2,1	1,6	2,3	1,4	1,2	1,6	2	2,5	1,7
	Ry	1,9	1,7	2	2,4	1,8	2,4	1,6	1,3	1,5			
	Rz	1,9	1,5	1,9	2,3	1,5	2,5	1,5	1,4	1,7			
09/03/2014	Ax	1,7	1,4	2,1	2,4	1,8	2,6	1,4	1,3	1,7	2,3	2,8	1,8
	Ry	2	1,6	2,3	2,6	2	2,7	1,6	1,4	1,6			
	Rz	1,9	1,7	2,2	2,5	1,9	2,8	1,5	1,5	1,8			
13/03/2014	Ax	1,6	1,3	1,9	2,1	1,8	2,5	1,3	1,1	1,5	2,2	2,7	1,8
	Ry	1,9	1,5	2,2	2,3	2	2,6	1,5	1,4	1,7			
	Rz	1,8	1,4	2	2,4	2,2	2,7	1,6	1,3	1,8			
16/03/2014	Ax	1,8	1,4	2,1	2,2	1,6	2,4	1,4	1,2	1,9	2,3	2,7	2
	Ry	2	1,5	2,3	2,5	1,9	2,6	1,6	1,5	1,8			
	Rz	2,3	1,7	2,2	2,7	1,8	2,5	1,5	1,6	2			
20/03/2014	Ax	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Ry	0	0	0	0	0	0	0	0	0			
	Rz	0	0	0	0	0	0	0	0	0			
23/03/2014	Ax	1,7	1,5	2	2,2	1,7	2,6	1,2	1	1,6	2,2	2,7	1,6
	Ry	2	1,6	2,2	2,4	1,9	2,5	1,5	1,3	1,4			
	Rz	1,8	1,8	2,1	2,6	1,8	2,7	1,3	1,4	1,5			
27/03/2014	Ax	1,8	1,4	2,4	2,5	1,9	2,6	1,2	1	1,5	2,6	2,7	1,6

	Ry	2,2	1,7	2,3	2,7	2,1	2,4	1,3	1,3	1,4			
	Rz	2	1,5	2,6	2,6	2,3	2,5	1,5	1,1	1,6			
30/03/2014	Ax	1,8	1,5	2,2	2,2	1,8	2,5	1,3	1	1,5	2,5	2,7	1,6
	Ry	1,9	1,8	2,3	2,4	1,9	2,7	1,5	1,2	1,4			
	Rz	2,1	1,6	2,5	2,3	1,7	2,4	1,6	1,1	1,6			

Figure 33 : les mesures de vibration de la ligne de production C

Après la sauvegarde des mesures, on obtient le graphe des valeurs maximales des trois pompes en fonction du temps de mesure.



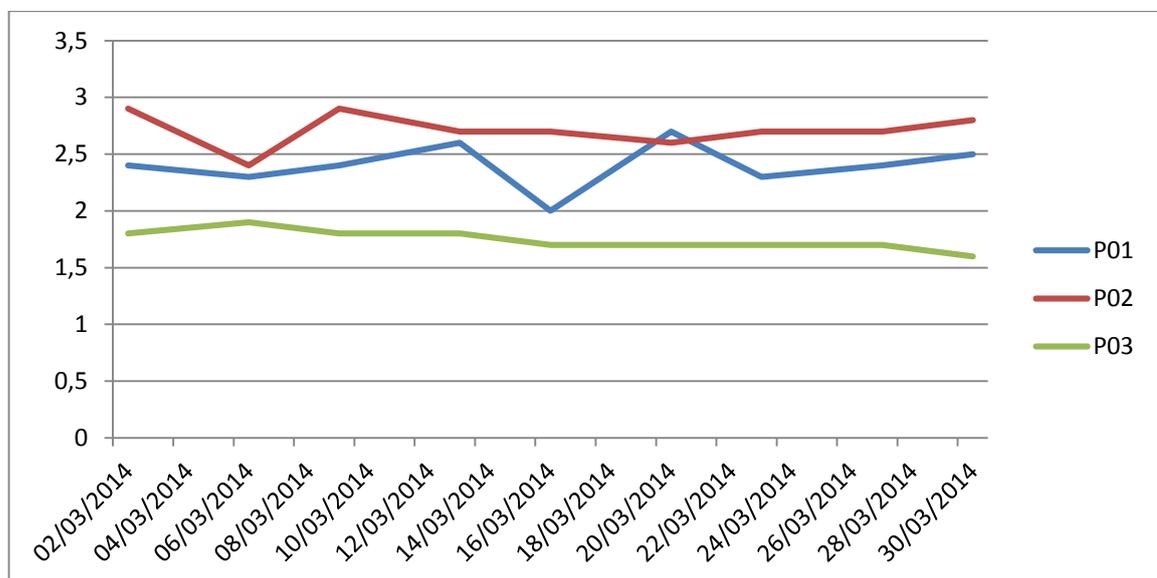
La ligne de production X

Unité X													
		01AP01			01AP02			01AP03			Max		
Date	Point	P/PE	P/M,B	P/M,H	P/PE	P/M,B	P/M,H	P/PE	P/M,B	P/M,H	P01	P02	P03
02/03/2014	Ax	1,7	1,5	2,4	2,5	1,8	2,4	1,2	1	1,4	2,4	2,9	1,8
	Ry	2,2	1,8	2,3	2,7	1,9	2,9	1,5	1,5	1,6			
	Rz	2,3	1,7	2,1	2,6	2,2	2,6	1,4	1,3	1,8			
06/03/2014	Ax	1,7	1,3	2	2	1,5	2,1	1,3	1,1	1,7	2,3	2,4	1,9
	Ry	2,1	1,5	2,1	2,3	1,7	2,4	1,5	1,2	1,9			
	Rz	2	1,6	2,3	2,4	1,6	2,2	1,7	1,4	1,8			
09/03/2014	Ax	1,9	1,6	2,2	2,5	2	2,8	1,4	1,1	1,6	2,4	2,9	1,8
	Ry	2,3	1,8	2,4	2,7	2,2	2,7	1,6	1,3	1,7			
	Rz	2,2	1,9	2,3	2,6	2,3	2,9	1,7	1,4	1,8			
13/03/2014	Ax	1,7	1,5	2,5	2,3	1,6	2,6	1,4	1,2	1,7	2,6	2,7	1,8
	Ry	1,9	1,8	2,6	2,6	1,8	2,5	1,5	1,4	1,6			
	Rz	1,8	1,9	2,2	2,5	1,5	2,7	1,7	1,3	1,8			
16/03/2014	Ax	1,5	1,3	1,8	2	1,7	2,4	1,2	1	1,5	2	2,7	1,7
	Ry	1,7	1,4	2	2,3	1,9	2,6	1,4	1,3	1,7			
	Rz	1,9	1,5	1,9	2,5	1,8	2,7	1,5	1,4	1,6			

20/03/2014	Ax		1,2	1,5	2,1	1,8	2,4	1,2	1	1,5	2,7	2,6	1,7
	Ry	1,9	1,1	2,7	2,4	2	2,5	1,4	1,2	1,7			
	Rz	2,1	1	2,5	2,3	1,9	2,6	1,5	1,4	1,6			
23/03/2014	Ax	1,8	1,6	2,1	2,3	2	2,5	1,3	1,1	1,6	2,3	2,7	1,7
	Ry	2,2	1,7	2,3	2,6	1,9	2,7	1,2	1,4	1,7			
	Rz	2,3	1,8	2	2,4	2,2	2,6	1,5	1,2	1,5			
27/03/2014	Ax	1,7	1,5	1,9	2,3	1,8	2,5	1,3	1,2	1,7	2,4	2,7	1,7
	Ry	1,9	1,6	2,1	2,5	2,2	2,7	1,2	1,4	1,5			
	Rz	2,2	1,7	2,4	2,4	2	2,5	1,5	1,3	1,6			
30/03/2014	Ax	2,1	1,7	2,3	2,5	2	2,7	1,2	1,1	1,5	2,5	2,8	1,6
	Ry	2,4	1,6	2,5	2,6	2,2	2,6	1,4	1,2	1,4			
	Rz	2,2	1,8	2,4	2,4	2,3	2,8	1,3	1,3	1,6			

Figure 34 : les mesures de vibration de la ligne de production X

Après la sauvegarde des mesures, on obtient le graphe des valeurs maximales des trois pompes en fonction du temps de mesure.



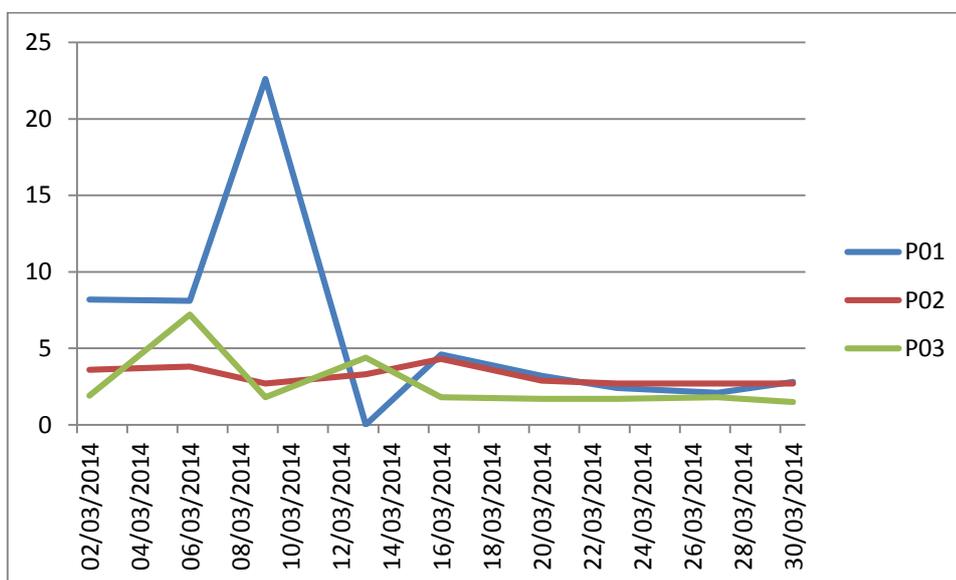
La ligne de production Y

Unité Y													
		01AP01			01AP02			01AP03			Max		
Date	Point	P/PE	P/M.B	P/M.H	P/PE	P/M.B	P/M.H	P/PE	P/M.B	P/M.H	P01	P02	P03
02/03/2014	Ax	8,2	2,5	2,2	2,1	2	1,9	1,6	1,4	1,6	8,2	3,6	1,9
	Ry	3,3	2,3	1,9	3,3	1,6	2,5	1,7	1,5	1,9			
	Rz	3	2,1	2,3	2,8	2,2	3,6	1,5	1,7	1,7			
06/03/2014	Ax	8,1	1,7	2,4	2,6	2,1	1,9	1,5	0,9	1,6	8,1	3,8	7,2
	Ry	3,4	1,9	2,6	3	2,3	3,2	6,9	1	2,4			
	Rz	2,8	2,2	2,5	3,8	2,2	3,1	7,2	1,2	1,9			
09/03/2014	Ax	22,6	2,5	2,8	2,5	1,9	2,6	1,6	1,3	1,7	22,6	2,7	1,8
	Ry	3,5	2,2	2,9	2,7	2,1	2,5	1,8	1,5	1,6			

	Rz	3,3	2,4	2,7	2,6	2	2,7	1,7	1,6	1,8			
13/03/2014	Ax	0	0	0	1,2	1,2	1	2,3	0,8	1,3	0	3,3	4,4
	Ry	0	0	0	3,3	1,3	2,8	4,2	1	2,4			
	Rz	0	0	0	2,8	1,1	2,6	4,4	1,3	2,5			
16/03/2014	Ax	3,3	3	2,5	2,2	2,3	2,9	1,4	1,1	1,6	4,6	4,3	1,8
	Ry	3,5	2,6	4,6	3,4	2,3	3,9	1,7	1,3	1,8			
	Rz	3,1	2,8	3,7	4,2	2,1	4,3	1,5	1,5	1,7			
20/03/2014	Ax	2,3	2,9	3,2	2,5	2,2	2,7	1,5	1,3	1,6	3,2	2,9	1,7
	Ry	3,2	2,7	2,9	2,7	2,6	2,9	1,7	1,5	1,5			
	Rz	3,2	2,2	2,8	2,8	2,4	2,9	1,6	1,4	1,6			
23/03/2014	Ax	1,9	1,6	2,1	2,4	1,9	2,6	1,3	1,1	1,5	2,4	2,7	1,7
	Ry	2	1,9	2,3	2,3	2	2,5	1,5	1,3	1,7			
	Rz	2,3	1,8	2,4	2,5	2,2	2,7	1,4	1,4	1,6			
27/03/2014	Ax	1,6	1,4	1,8	2,2	1,9	2,6	1,3	1,1	1,7	2,1	2,7	1,8
	Ry	1,9	1,5	1,9	2,5	2,3	2,7	1,5	1,4	1,6			
	Rz	1,7	1,6	2,1	2,3	2,1	2,5	1,6	1,5	1,8			
30/03/2014	Ax	2,5	2	2,6	2,4	2	2,5	1,2	1,1	1,4	2,8	2,7	1,5
	Ry	2,7	1,9	2,8	2,3	2,1	2,7	1,3	1,3	1,5			
	Rz	2,4	2,3	2,7	2,5	1,9	2,6	1,4	1,2	1,3			

Figure 35 : les mesures de vibration de la ligne de production Y

Après la sauvegarde des mesures, on obtient le graphe des valeurs maximales des trois pompes en fonction du temps de mesure.



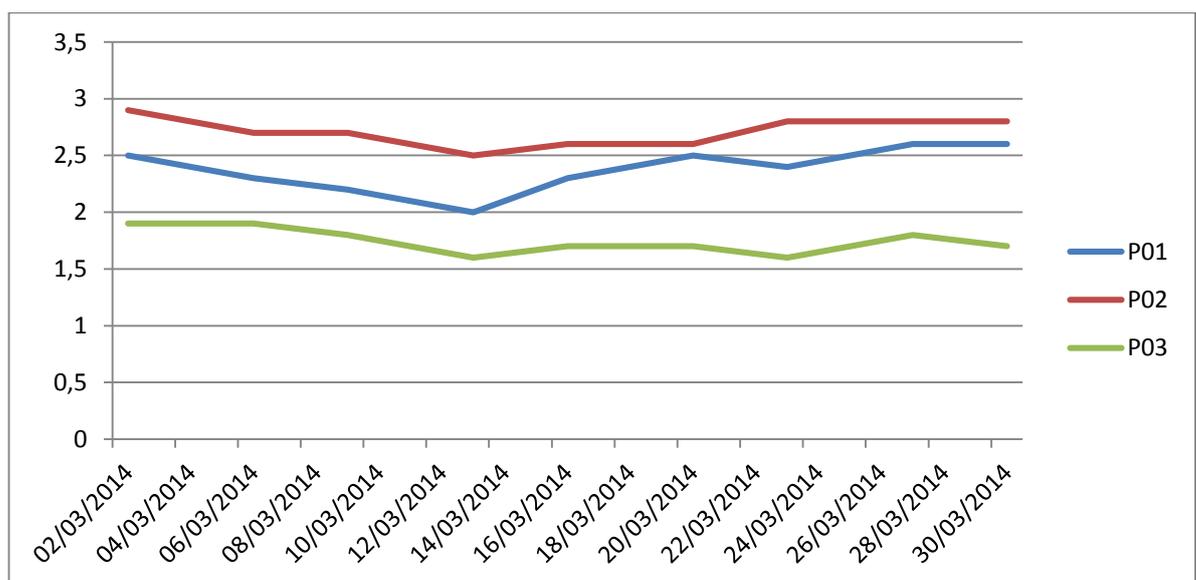
La ligne de production Z

Unité Z													
		01AP01			01AP02			01AP03			Max		
Date	Point	P/PE	P/M.B	P/M.H	P/PE	P/M.B	P/M.H	P/PE	P/M.B	P/M.H	P01	P02	P03
02/03/2014	Ax	2	1,6	2,1	2,5	2,2	2,7	1,5	1,2	1,6	2,5	2,9	1,9

	Ry	2,2	1,8	2,3	2,8	2,3	2,9	1,7	1,4	1,9			
	Rz	2,1	1,9	2,5	2,7	2,1	2,8	1,6	1,5	1,7			
06/03/2014	Ax	1,8	1,3	2,2	2,2	1,9	2,5	1,3	1,1	1,7	2,3	2,7	1,9
	Ry	2,2	1,5	2,3	2,5	2,2	2,7	1,6	1,4	1,9			
09/03/2014	Rz	2,3	1,7	2,1	2,4	2,1	2,6	1,5	1,5	1,6	2,2	2,7	1,8
	Ax	1,8	1,6	2,2	2,3	2	2,5	1,4	1,2	1,7			
13/03/2014	Ry	2,1	1,8	1,9	2,6	2,1	2,7	1,6	1,3	1,6	2	2,5	1,6
	Rz	1,9	1,7	2,1	2,5	1,9	2,6	1,5	1,4	1,8			
16/03/2014	Ax	1,7	1,4	1,9	2,1	1,8	2,3	1,2	1	1,5	2,3	2,6	1,7
	Ry	1,9	1,6	1,8	2,3	2	2,5	1,5	1,2	1,4			
20/03/2014	Rz	1,8	1,5	2	2,5	2,2	2,4	1,3	1,1	1,6	2,5	2,6	1,7
	Ax	1,6	1,2	2,1	2,1	1,7	2,4	1,2	1,1	1,5			
23/03/2014	Ry	1,9	1,4	2,3	2,4	1,9	2,6	1,3	1,4	1,7	2,4	2,8	1,6
	Rz	1,8	1,3	2,2	2,5	2,1	2,5	1,5	1,6	1,6			
27/03/2014	Ax	1,8	1,4	2,3	2,1	1,7	2,4	1,3	1	1,5	2,6	2,8	1,8
	Ry	2,1	1,6	2,5	2,3	1,9	2,6	1,2	1,1	1,7			
30/03/2014	Rz	2	1,8	2,4	2,5	1,8	2,2	1,4	1,3	1,6	2,6	2,8	1,7
	Ax	2	1,5	2,2	2,6	2	2,7	1,3	1	1,4			
02/03/2014	Ry	2,1	1,7	2,4	2,7	2,2	2,8	1,5	1,2	1,6	2,6	2,8	1,8
	Rz	1,9	1,6	2,3	2,5	2,1	2,6	1,4	1,1	1,5			
04/03/2014	Ax	2,1	1,4	2,4	2,4	2	2,6	1,3	1	1,5	2,6	2,8	1,8
	Ry	2,4	1,7	2,6	2,7	2,3	2,7	1,5	1,3	1,7			
06/03/2014	Rz	2,2	1,6	2,5	2,5	2,1	2,8	1,4	1,4	1,8	2,6	2,8	1,7
	Ax	2	1,4	2,3	2,4	1,8	2,7	1,2	1	1,5			
08/03/2014	Ry	2,3	1,7	2,5	2,6	2	2,5	1,3	1,1	1,7	2,6	2,8	1,7
	Rz	2,5	1,6	2,6	2,5	1,9	2,8	1,4	1,3	1,6			

Figure 36 : les mesures de vibration de la ligne de production Z

Après la sauvegarde des mesures, on obtient le graphe des valeurs maximales des trois pompes en fonction du temps de mesure.



Les courbes des mesures obtenues permettent de savoir s'il existe des pannes au niveau des éléments tournants, on se basant sur les intervalles suivants :

- [0 ; 4,9] : zone normale.
- [4,9 ; 7,1] : zone d'alarme.
- [7,1 ;] : zone d'alerte.

La zone normale :

Si les mesures se trouvent dans cette zone, le fonctionnement des pompes se fait dans un état bien.

La zone d'alerte :

Si une des points de mesure se trouve dans cette zone, ceci montre l'apparition des pannes au niveau des pompes. A ce niveau il faut intervenir pour réparer la pompe avant qu'il connaisse une défaillance totale.

La zone d'alerte :

Si les mesures apparaissent dans cette zone, ceci montre que la pompe connaitre des pannes brutales. A ce niveau il faut arrêter la pompe (s'il s'agit de T08 il faut arrêter la ligne de production et pour T10, il faut l'arrêter et diminuer la cadence de production de 50%).

II.2. Analyse des résultats obtenus :

La première étape consiste à connaître les fréquences propres de fonctionnement de chaque composante des pompes (généralement pour les roulements), pour les comparé avec la fréquence obtenue par les mesures.

La deuxième étape consiste à connaître la fréquence de rotation du moteur, qui est calculée par la formule suivante : $N = \frac{\omega}{60} = \frac{1500}{60} = 25 \text{ Hz}$

Avec ω : la vitesse de rotation de l'arbre moteur.

Sachant aussi que la détection des pannes par l'analyse vibratoire se base sur le changement de la forme du spectre des composantes qui a en générale la forme suivante :



II.2.1. La fréquence de rotation des éléments tournante de la pompe :

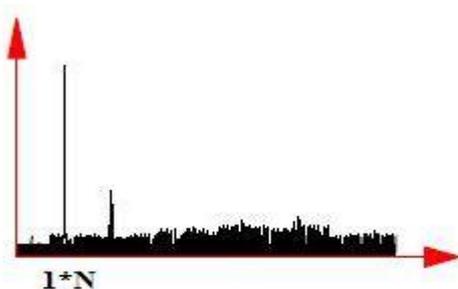
➤ L'arbre à aubes

Les problèmes apparaissent au niveau de l'arbre sont généralement de type déséquilibre, flexion ou désalignement. Pour chaque type de panne correspond un graphe de spectre, mais ils sont un peu près identiques.

L'arbre est relié à l'arbre moteur par un accouplement élastique, donc elle possède la même fréquence de rotation de l'arbre $N=25$ Hz.

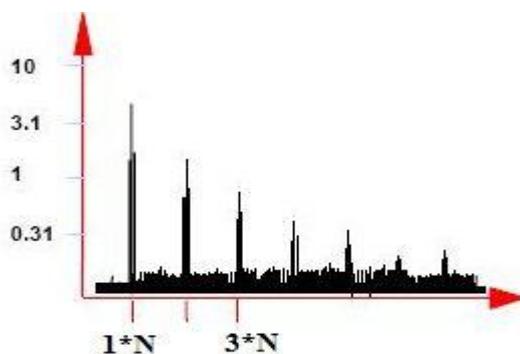
Le problème de déséquilibre (type balourd) :

Le spectre affiché sur l'appareil de mesure et de la forme suivante :



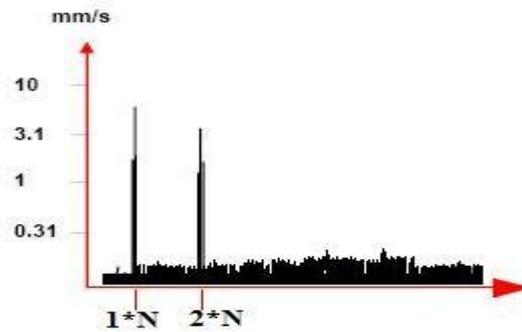
Le problème de désalignement (type balourd) :

Le spectre affiché sur l'appareil de mesure contient souvent aussi un spectre ayant un pic $1*N$, mais parfois il apparaît aussi des pics $2*N$, $3*N$ et $4*N$.



Le problème de flexion (type balourd) :

Le spectre affiché sur l'appareil de mesure contient un spectre ayant un pic de $1*N$ et $2*N$.



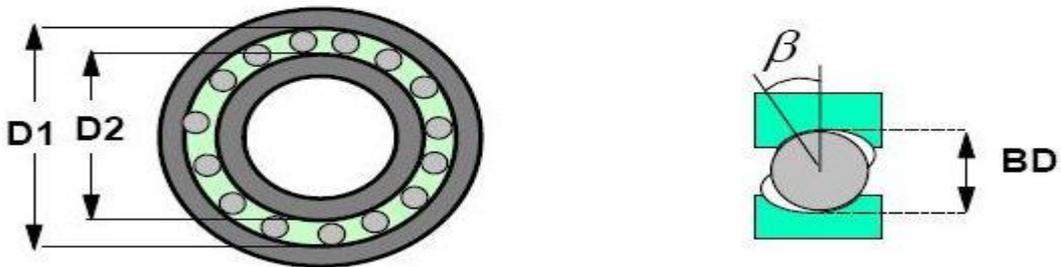
➤ **Les paliers lisses**

Sont émergés dans l'acide, donc impossible de les contrôler par l'analyse vibratoire. Mais il est possible de détecter des pannes au niveau des paliers par l'apparition des problèmes au niveau de l'arbre.

➤ **Les roulements**

Les défauts des roulements sont détectés au niveau des hautes fréquences (accélération). Chaque composante du roulement possède son propre fréquence. Cette caractéristique permet de définir l'élément qui est en panne au niveau du roulement.

Le calcul de la fréquence de défaillance chaque élément du roulement se fait par les formules suivantes⁽⁴⁾ :



Avec :

➤ $PD = \frac{D1 + D2}{2}$

➤ n : nombre des billes

➤ N : fréquence de rotation de l'arbre

Pour la bague extérieure : $N_{ext} = \frac{n}{2} * N * (1 - \frac{BD}{PD} * \cos \beta)$

Pour la bague intérieure : $N_{int} = \frac{n}{2} * N * (1 + \frac{BD}{PD} * \cos \beta)$

Pour la cage : $N_{cage} = \frac{1}{2} * N * (1 - \frac{BD}{PD} * \cos \beta)$

Pour les billes : $N_{bille} = N * \frac{BD}{PD} [1 - (\frac{BD}{PD} \cos \beta)^2]$

AN: $n=16$, $N=25$ Hz, $D2=74$ mm, $D1=116$ mm, $BD=27$ mm, $\beta=30^\circ$

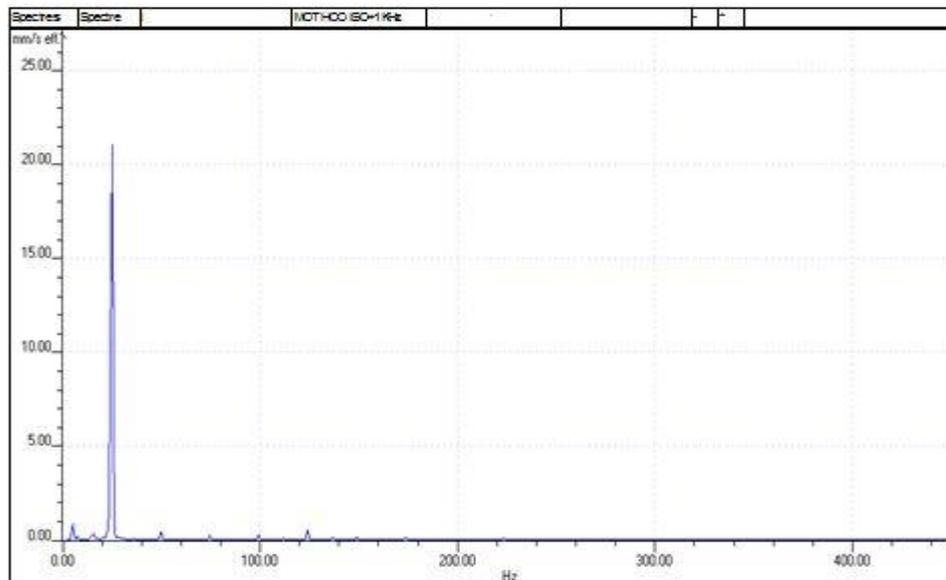
D'où : $N_{ext}=143.23$ Hz $N_{int}=256.75$ Hz $N_{cage}=8.95$ Hz $N_{bille}=3.27$ Hz

Donc, hors du contrôle par l'analyse vibratoire l'apparition d'un pic de ces derniers indique qu'il existe au problème au niveau de roulement. Et même ces pics indiquent la source du problème au niveau du roulement.

II.2.2. Analyse des courbes de mesure obtenues :

Les pompes de circulation d'acide des lignes A, C, X, Z ne connaissent aucun problème durant le mois du mars. Pour la ligne C, l'intersection des courbes avec l'axe des abscisses est due à l'arrêt de la ligne de production.

Pour la ligne Y, la pompe P01 (T10), se trouve dans la zone d'alerte, et ceci est due au niveau du palier du moteur côté opposé accouplement passent en danger à 22,5 mm/s. d'après le schéma spectral, il s'agit d'un problème de type balourd⁽⁵⁾.



Il s'agit d'un problème de type balourd, il est responsable de cette valeur élevée, mais il s'agit d'un défaut de fixation du couvercle du moteur.

II.3. Lubrification du roulement

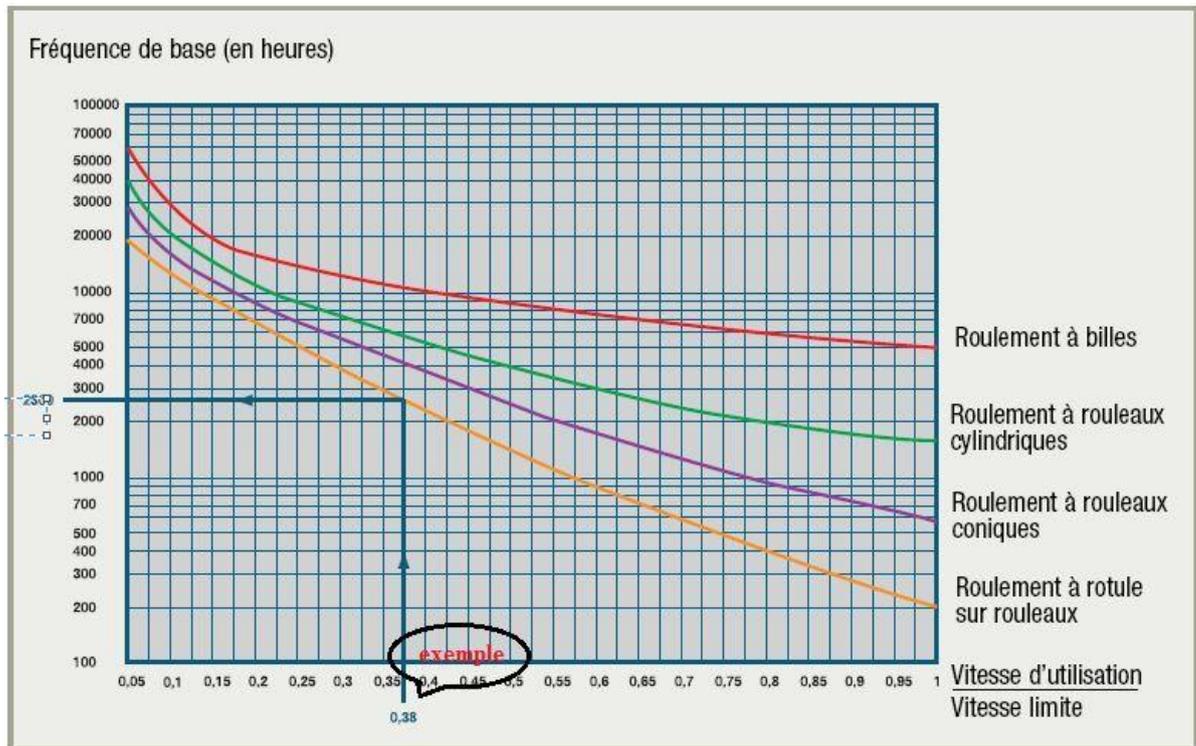
La lubrification est un élément essentiel pour le bon fonctionnement du roulement. La lubrification a pour objectif d'interposer un film de lubrifiant entre les corps roulants et le chemin de roulement, afin d'éviter l'usure et le grippage des éléments en contact. Vu les contraintes de fonctionnement la lubrification se fait par la graisse comme il est indiqué au paravent⁽⁶⁾.

D'après les critères de bon fonctionnement on a :

- La vitesse d'utilisation : $\omega_u=1480$ tr/min.
- La vitesse limite : $\omega_l=1500$ tr/min.

II.3.1. Fréquence de regraissage :

A l'aide de ces deux critères, on peut calculer la fréquence de regraissage sous l'aide de ce tableau.



Dans notre cas on : $\frac{\omega_u}{\omega_l} = \frac{1480}{1500} = 0.98$ et il s'agit d'un roulement à billes.

D'où la fréquence de regraissage (ou dite de base) et $F_b = 5000$ h.

Après la calcul de F_b , cette valeur doit être corrigée selon l'entourage et des conditions de fonctionnement du roulement.

On a : $F_c = F_b * T_e * T_a * T_t$

- T_e : coefficient d'environnement
- T_a : coefficient d'application.
- T_t : coefficient de température.

Cette opération peut être effectuée à l'aide du tableau suivant

Coefficient	Conditions	Niveau	Valeur du coefficient			
Te	Environnement - poussière - humidité - condensation	- moyen	0,8			
		- fort	0,5			
		- très fort	0,3			
Ta	Application - avec chocs - avec vibrations - avec arbre vertical	- moyen	0,8			
		- fort	0,5			
		- très fort	0,3			
Tt	Températures	75°C	0,8	avec graisse standard	0,8	avec graisse haute température
		75° à 85°C	0,5		0,5	
		85° à 120°C	0,3		0,5	
		120° à 170°C			0,3	

Puisque :

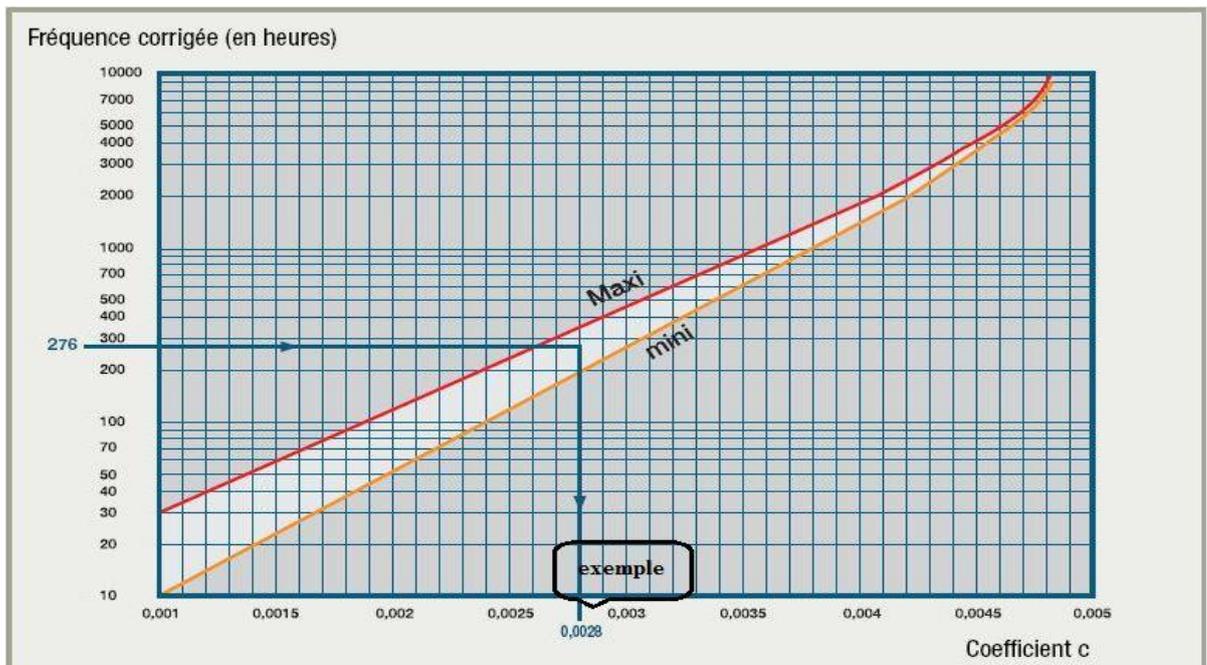
- Te=0.8 (poussière).
- Ta=0.5 (vibration).
- Tt=0.3 (85° à 120° avec graisse haute température)

D'où $F_c = 5000 * 0.8 * 0.5 * 0.3$ A.N $F_c = 600$ h

II.3.2. Le poids de la graisse à ajouter :

Après l'obtention de F_c , on utilise le tableau suivant pour déterminer le coefficient C, en fonction de F_c , pour obtenir le poids de la graisse à renouveler à l'aide de la formule suivante :

$P = D * B * C$ avec : D= 130 mm et B= 60 mm



D'après la courbe, et puisque $F_c = 600$ h, on a $C = 0.0034$

D'où $P = 26.52$ g

Chapitre V.

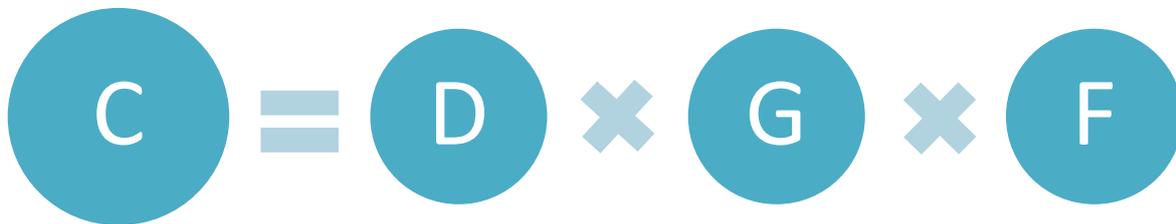
Plan de maintenance associé à la pompe de Chass-Lewis

I. Présentation de l'outil AMDEC :

I.1. Analyse AMDEC ;

Elle consiste à déterminer, pour un système, les modes de défaillance potentiels ou qui se sont déjà produits, à déterminer les causes, les effets ainsi que la criticité selon des critères préalablement établis. Elle consiste ensuite à déterminer les actions aussi bien préventives que correctives à adopter pour ces modes de défaillances.

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



F : Fréquence d'apparition de la défaillance

D : Fréquence de non détection de la défaillance

G : Gravité des effets de la défaillance

- ✓ Chaque critère comporte différents niveaux de gravité affectés d'une note ;
- ✓ L'évaluation de la criticité permettra de hiérarchiser les modes de défaillance et de déterminer les points les plus critiques sur lesquels on doit focaliser l'attention et déterminer les actions préventives et correctives à mener pour les fiabiliser.

I.2. Application de l'AMDEC aux pompes d'acide :

Afin de connaître les principaux organes qui constituent une pompe d'acide taille 8 et 10 et les types des pannes affectant ces organes, ainsi que les actions correctives à mener afin de minimiser la fréquence des pannes, nous allons appliquer la méthode AMDEC aux 21 pompes.

Pour appliquer la méthode d'AMDEC on a recensé l'historique des panne de la période 01/01/2011 jusqu'à 31/12/2013 ce qui correspond à 3 ans.

Indice de Fréquence	critère F
1	plus d'une fois par 2an
2	plus d'une fois par 1 an
3	plus d'une fois par 6mois
4	plus d'une fois par 3mois

Indice de Gravité	Critère G
1	Temps total d'arrêt inférieur à 12 heures
2	Temps total d'arrêt inférieur à 24 heures
3	Temps total d'arrêt inférieur à 3 jours
4	Temps total d'arrêt supérieur à 3 jours

Indice de la non-détection	Critère D
1	Détection efficace qui permet une action préventive afin de prévenir la défaillance
2	Il y a un risque que la détection ne soit pas efficace
3	le moyen de détection n'est pas fiable
4	Il n'y a aucun moyen de détection

Élément	Fonction	Mode de défaillance	Cause de la défaillance	Effet de la défaillance	Détection	Criticité				Action Corrective
						F	G	D	C	
Date de l'analyse: 30/04/2014						AMDEC – ANALYSE DES MODES DE DÉFAILLANCE DE LEURS EFFETS ET DE LEUR CRITICITÉ				Système : Pompe chass-Lewis
Arbre	Transmission du mouvement	Flexion torsion parfois corrosion	Longueur Effort de blocage de des aubes présence de l'acide (des trous dans la chemise)	Vibration	Analyse vibratoire	2	4	1	8	Remplacement total de la pompe par une autre soit nouvelle ou déjà révisé et l'envoi de l'autre pour la révision
Roulement	Assure le guidage en rotation	L'usure	Manque de graisse Corps étrange entré Mauvais alignement	vibration	Analyse vibratoire	4	4	1	16	Remplacement sur site du roulement
enveloppe supérieure	Protection d'arbre	Corrosion	Présence d'acide	Fuite d'acide vers l'extérieur Pénétration de l'air	Révision	1	1	4	4	Remplacement total de la pompe
tête d'aspiration	Guidage d'aspiration du liquide	Corrosion	Présence d'acide	Fuite d'acide vers l'extérieur Pénétration de l'air	Contrôle de débit (chute d'ampérage)	1	1	2	2	Remplacement sur cite
Porté intérieur	Guidage d'arbre	Usure	Présence d'acide	vibration	Analyse vibratoire	3	2	1	6	Remplacement total de la pompe par une l'envoi de l'autre pour la révision
Porté	Guidage	Usure	Présence d'acide	vibration	Analyse vibratoire	3	2	1	6	Remplacement total de la

élément	criticité
Roulement	16
Paliers lisses	16
arbre	8
Porté intérieur	6
Porté extérieur	6
Impulser	6
enveloppe supérieure	4
Volute	2
conduite de refoulements	2
coude de refoulements	2
Tête d'aspiration	2

A cette étape, on considère que les éléments critiques sont les paliers et le roulement.

II. Plan de maintenance :

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.

Ces constats nous ont permis de conclure quant à la politique à adopter pour ces pompes :

- La première contrainte est de disposer d'un jeu de réserve de 02 pompes (ne pas respecter) révisées pour limiter les temps d'intervention (démontage et remontage uniquement) lors de remplacement d'une pompe.
- Prévoir autant de pièces de rechange pour ne pas perturber les révisions et retarder la réparation des pompes de réserve.

II.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.

II.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 :

Check-list en marche :

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 ?

II.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.

tâches	durée d'opération (en min)
démontage du 1/2 accouplement de la pompe	5
démontage du couvercle du boitier	5
libération de rondelle frein et desserrage de l'écrou a encoche	10
desserrage des écrous de fixation du boitier	10
démontage de la presse étoupe	10
extraction du boitier	5
démontage de la jupe d'aspiration	15
extraction d'arbre	10
contrôle fléchissement arbre et relève des jeux de fonctionnement	10
changement si nécessaire des pièces d'usure et des joints	240
graissage paliers d'arbre	5
introduction d'arbre	15
montage et serrage du boitier après changement des joints	15
montage du nouveau roulement graisse	10
serrage de l'écrou a encoche et le fixé par rondelle frein	10
montage et serrage du couvercle du boitier	8
montage presse étoupe	8
montage du 1/2 flasque et du 1/2 accouplement de la pompe	10
montage de la jupe d'aspiration	15

***II.4. Les outils et les moyennes nécessaire
pour la révision :***

liste d'outils	consigne de sécurité	liste PDR type	
01 clé mixte 38	bleu de travail	accouplement	volute
01 marteau	casque	roulement 5313ZZ	enveloppe inférieur
01 clé male 3/16"	chaussure		portée de volute
01 tournevis	bottes	cage de roulement	palier de volute
01 arrache 02 bras	gants en cuir	enveloppe supérieur	tuyauterie de refoulement
01 clé mixte 27	gant anti acide	arbre	coude de refoulement
01 jet de bronze	tenu pvc	portée intermédiaire	boulon 7/8"
01 clé a encoche	écran facial	palier intermédiaire	goujons 3/4"
01 clé mixte 14	lunettes	impulser	écrous et rondelles frein
01 clé mixte 17	anti bruit	bague d'impulser inférieur	tête d'aspiration
Palonnier	ceinture sécurité	bague d'impulser supérieur	jeu de joint
chariot élévateur	masque anti-gaz	bague de corps inférieur	rondelle de blocage d'impulser
01 palan à chaîne	demi-masque	bague de corps supérieur	écrou borgnes
		écrou d'impulser	jeu de joint torique
		adapter palier volute	collier
		adapter palier intermédiaire	gaine en téflon

La durée totale de révision de la pompe selon le plan de maintenance cité est égale à 416 min.

II.5. Contrôle des jeux :

Lors de la révision de la pompe, il faut vérifier les jeux maximum tolérés (assemblage le plus lâche) entre les épaulements et les chambrages ou entre les alésages et les diamètres extérieurs, sont indiqués sur le tableau ci-après.

- Les jeux sont mesurés au diamètre.
- Mesurer les pièces à deux ou trois points différents, également espacés sur la circonférence.

- Si le jeu moyen déterminé par les mesures prises est plus grand que la valeur indiquée sur le tableau ci-après, l'une ou les deux pièces correspondantes doivent être remplacées.
- Un jeu négatif (-) indique un serrage

Tableau des jeux admissibles

Pièces	valeur admissible (en mm)
portée intermédiaire et palier intermédiaire	1,15
portée de volute et palier de volute	1,15
bague d'impulser et bagues de corps et de jupe	1,4
palier de volute et arbre	0,01
moyen d'impulser et palier de volute	0,018
cage de roulement et roulement	0,075
portée d'arbre et roulement	0,06
impulser et bague d'impulser	-0,06
jupe et bague de corps	-0,06
volute et bague de corps	-0,06
adaptateur et palier de volute	-0,025
volute et adaptateur d palier de volute	-0,013

Conclusion

Durant la période de ce stage, on a rencontré plusieurs difficultés en ce qui concerne l'étude des pompes de Chass-Lewis (documentation, historique, mesure...). Mais, grâce aux connaissances théoriques déjà acquises, on est arrivé à la fin de proposer un simple plan de maintenance avec des améliorations qui sont très facile à faire. Ceci, est effectué à l'aide du tableau d'AMDEC, qui permet de définir les opérations majorants au cours de la révision des pompes.

Un plan de maintenance ne peut être réalisé qu'après la connaissance des défaillances rencontrés durant le fonctionnement d'un équipement. Grâce à l'historique des pannes des lignes de productions, et l'historique de l'installation des pompes dans leur position, on a pu connaître la source des pannes et les causes de l'indisponibilité des pompes.

Mais avant tout, la description de l'environnement et la détermination des points de fonctionnement, nous ont beaucoup aidés pour connaître les raisons du choix de l'utilisation des analyses non destructives pour connaître l'état des pompes.

Finalement, Le stage a été très intéressant et primordiale dans la mesure qu'il nous a permis de découvrir le monde professionnel et exploiter les connaissances acquises à la FST. Aussi il nous a permis de mesurer nos compétences face aux problèmes réels dans le domaine industriel.

Annexe

Web graphie

⁽¹⁾: <http://www.bladi.net/maroc-reserve-phosphate-monde.html>

⁽⁷⁾: <http://www.leconomiste.com/article/qualite-la-methode-quotamdecquot>

Bibliographie

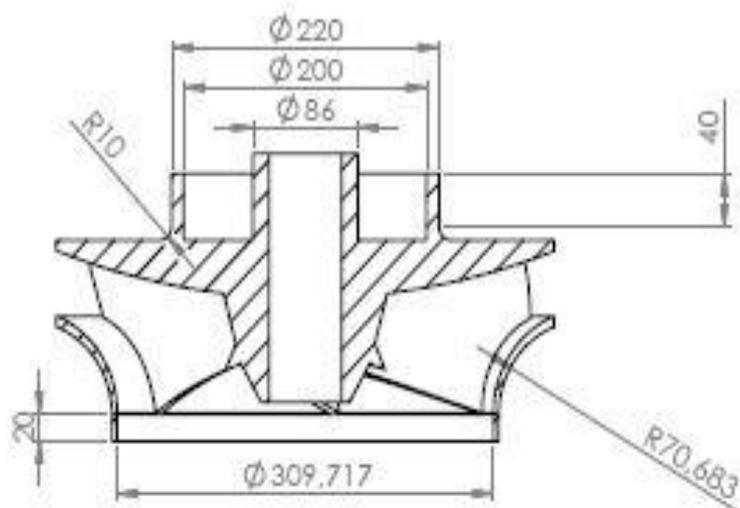
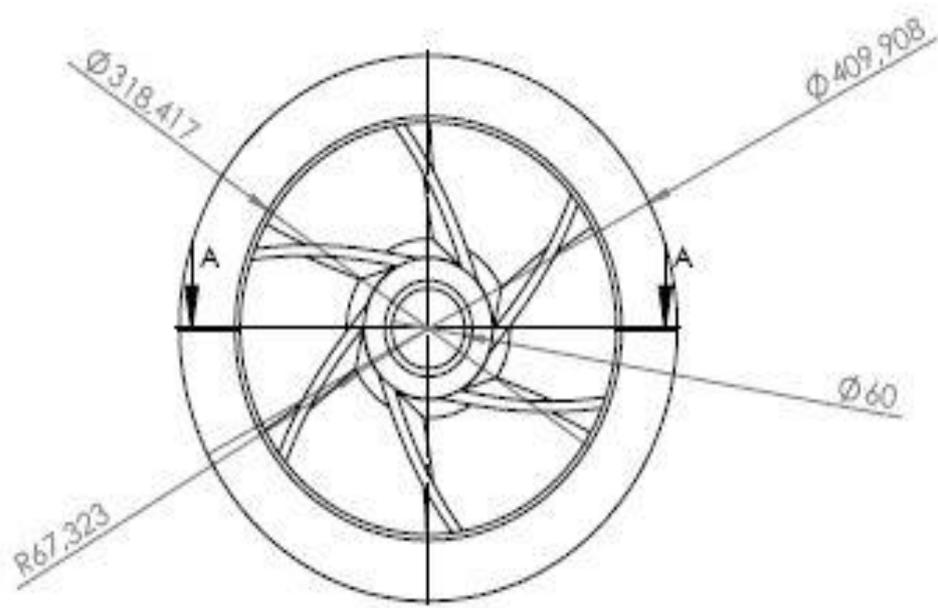
⁽²⁾: documentation interne du groupe OCP

⁽³⁾: documentation interne du groupe OCP

⁽⁴⁾: diagnostic des défauts par analyse vibratoire Bruel & kjaer vibro

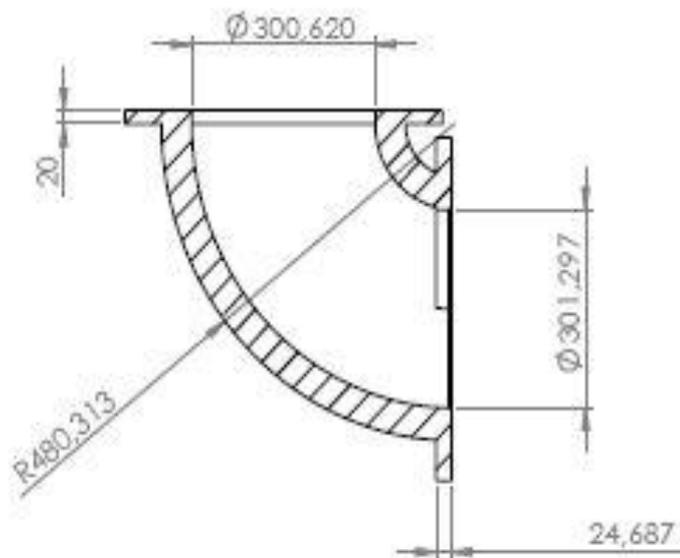
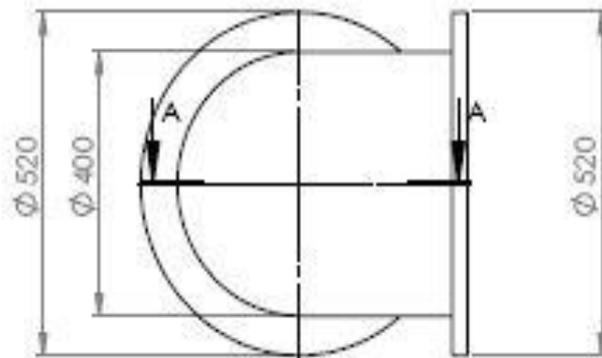
⁽⁵⁾: documentation interne du groupe OCP

⁽⁶⁾: lubrification (SNR)



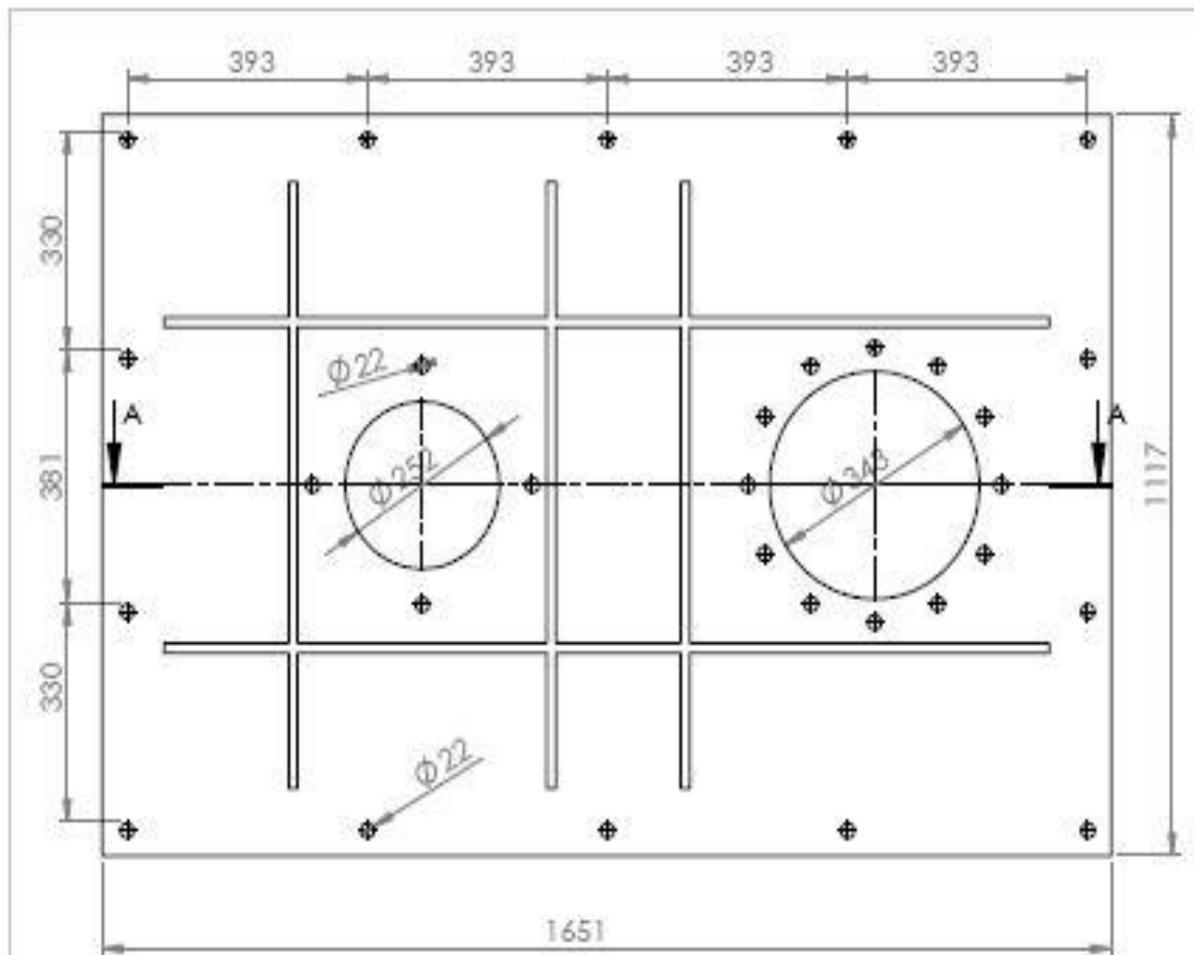
COUPE A-A
EHELLE 1 : 5

Impulseur		Lewnet
		Echelle 1 : 5
AMARA Azzeddine SARIH Nidal	FST Fes	OCP el jorf l'asfar



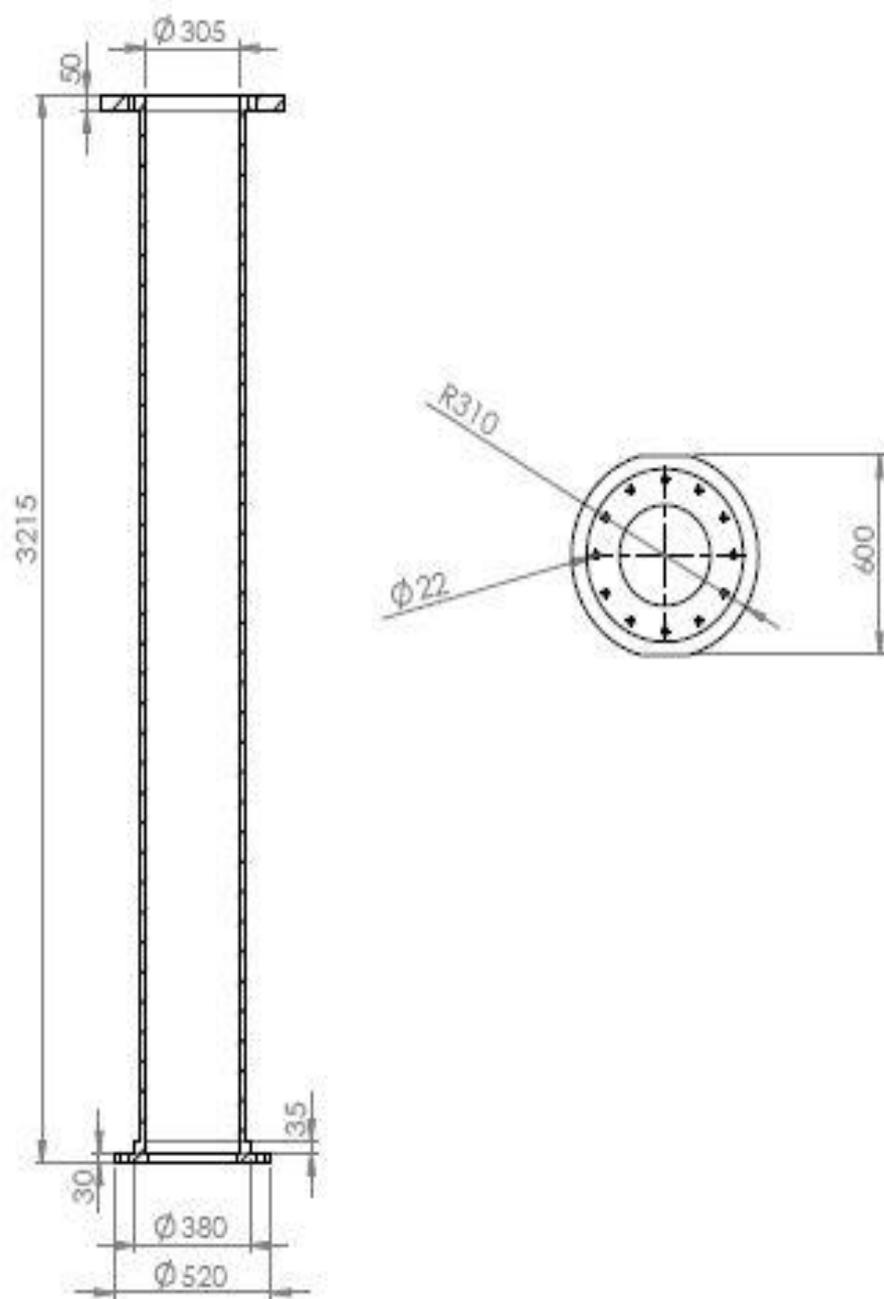
COUPE A-A
Echelle 1 : 10

Coude de reffoulement	Fonte
	Echelle 1:10
AMARA Azzeddine SARIH Nidal	FST Fes
	OCP el jorf l'asfar



COUPE A-A
Echelle 1 : 10

Plaque d'assise		Acier
		Echelle 1 : 10
AMARA Azzeddine SARIH Nidal	FST Fes	OCP el jorf l'asfar



Conduit de reffoulement

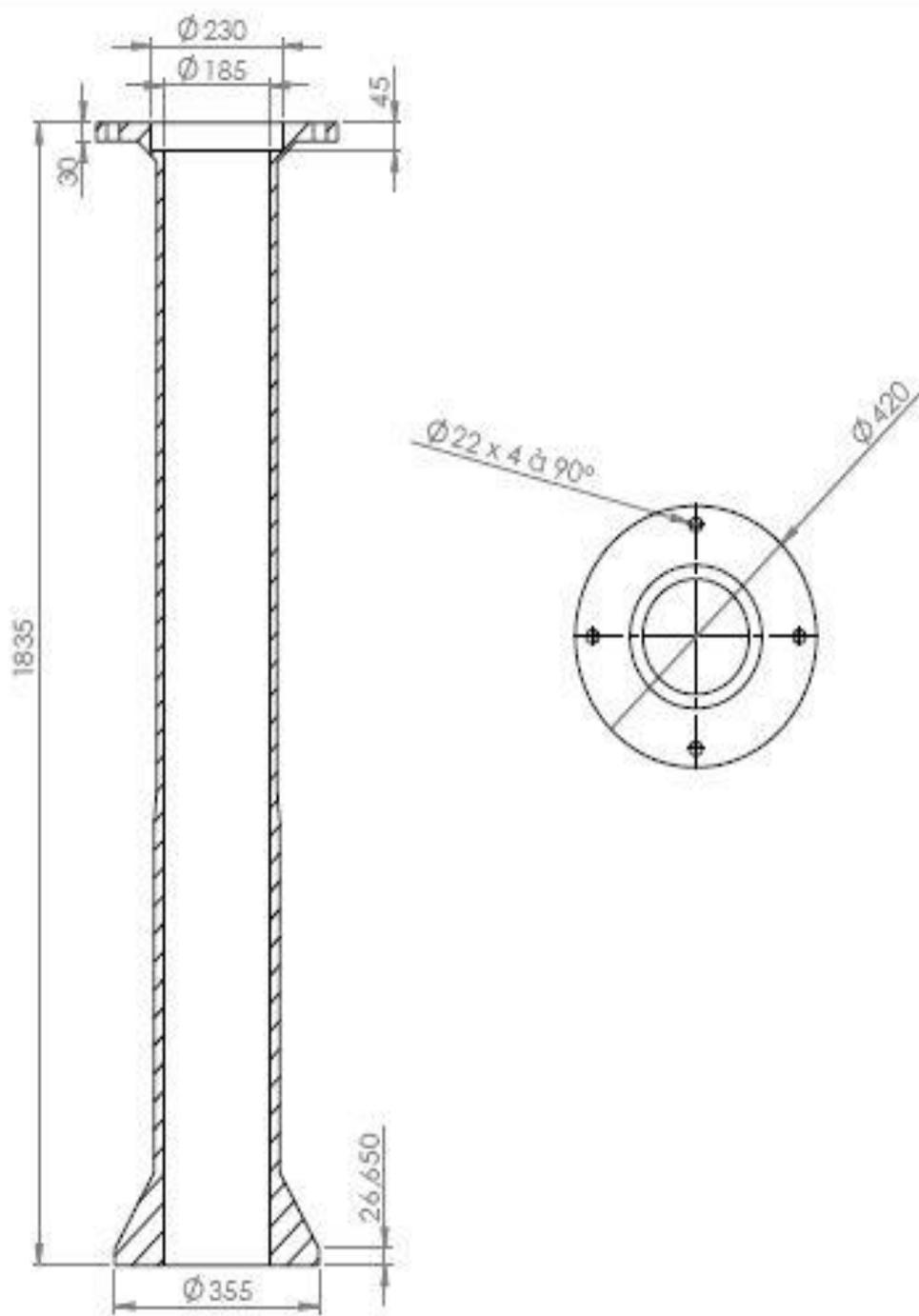
Fonte

Echelle 1:10

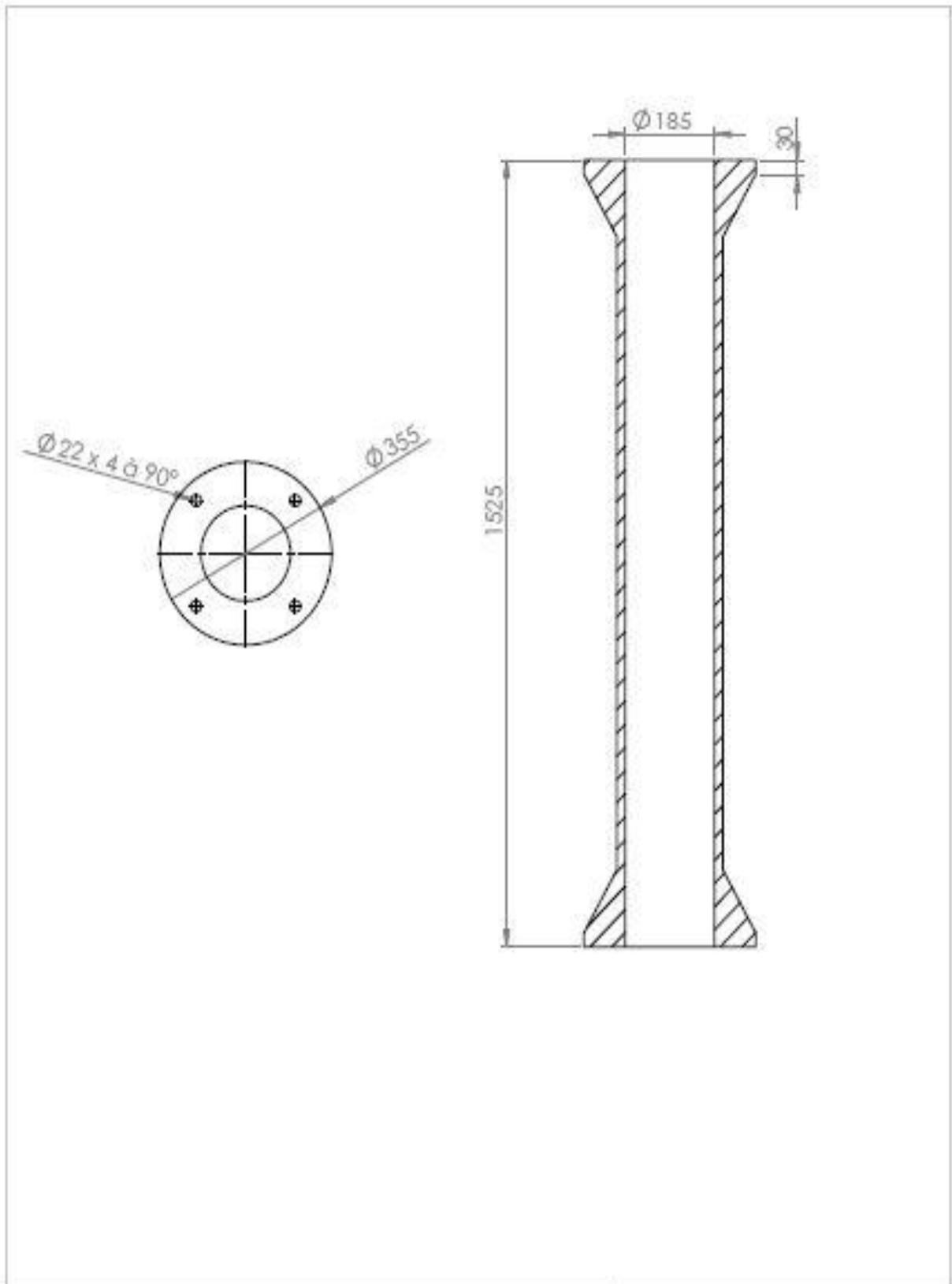
AMARA Azzeddine
SARIH Nidal

FST Fes

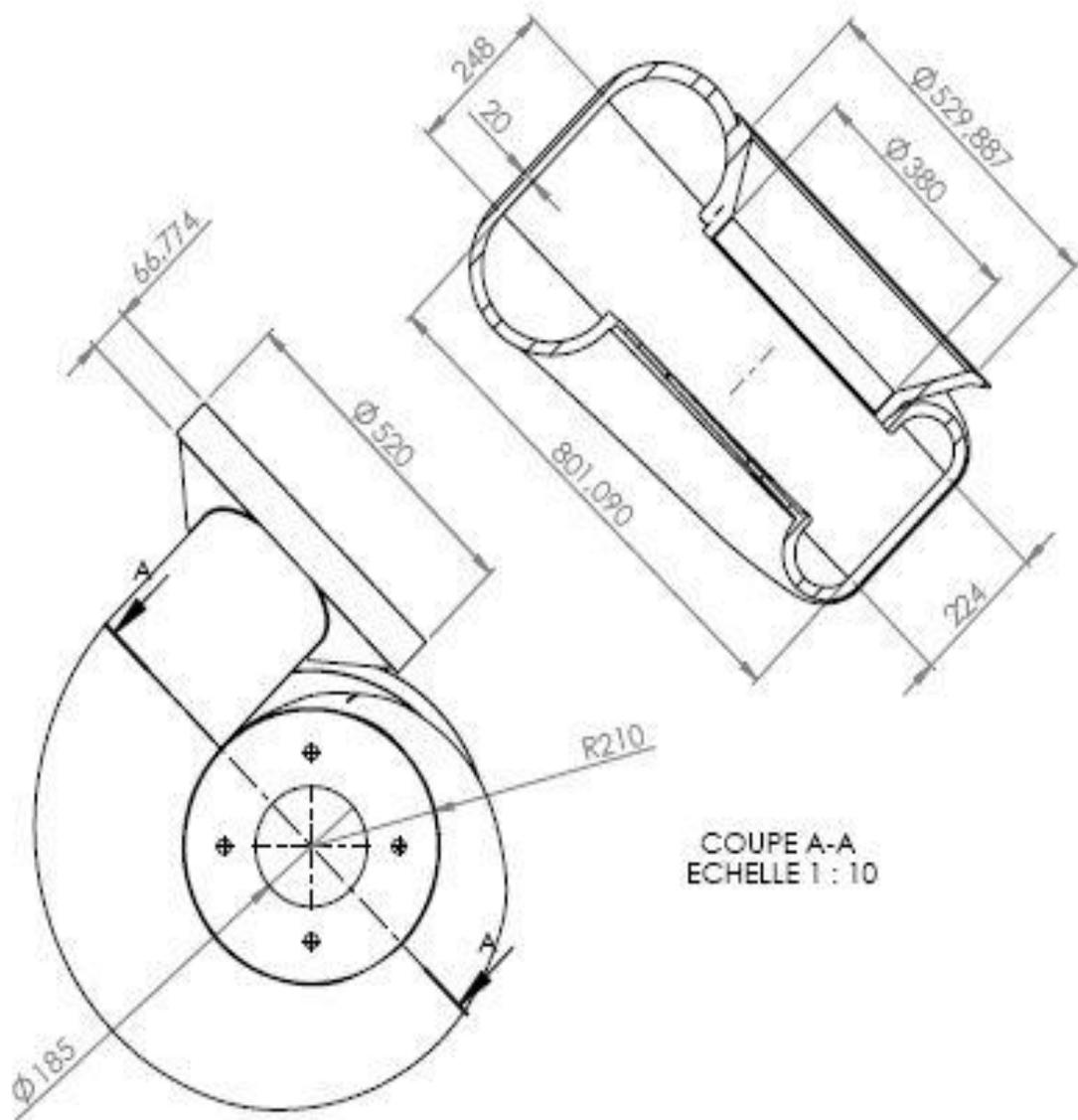
OCP el jorf l'asfar



Enveloppe supérieure		Fonte alliee
		Echelle 1:10
AMARA Azzeddine SARIH Nidal	FST Fes	OCP el jorf l'asfar



Enveloppe inferieur		Fonte alliee
		Echelle 1:10
AMARA Azzeddine SARIH Nidal	FST Fes	OCP el jorf l'asfar



COUPE A-A
ECHELLE 1 : 10

<h1>Volute</h1>		Fonte alliee
		Echelle 1 : 10
AMARA Azzeddine SARIH Nidal	FST Fes	OCP el jorf l'asfar