

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE  
MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA RECHERCHE  
SCIENTIFIQUE  
UNIVERSITE M'HAMED BOUGARA BOUMERDES



Faculté de Technologie  
Département Génie Mécanique

## Mémoire de Master

En vue de l'obtention du diplôme de **MASTER** en :

**Filière : électromécanique**  
**Spécialité : Maintenance Industrielle**

### THEME

*DIAGNOSTIC PAR ANALYSE VIBRATOIRE  
DES DEFAUTS DE LA POMPE  
NOURRICIERE DANS LA CENTRALE  
ELECTRIQUE RAS-DJINET*

**Réalisé par :**

**BOUKERT ABD ELHAK**  
**BENHADDADI AHMED**

**Promoteur :**

**Pr : CHELLIL Ahmed**

**Encadreur :**

**HOUASSE FOUJIL**

**Co-Encadreur :**

**Khalfi smail**

Promotion  
2021/2022

# Remerciement

*Le plus grand Merci tout d'abord revient à Dieu, qui nous a guidés dans le bon sens durant notre vie et qui nous a donné le courage, la volonté, et la force pour réaliser ce travail.*

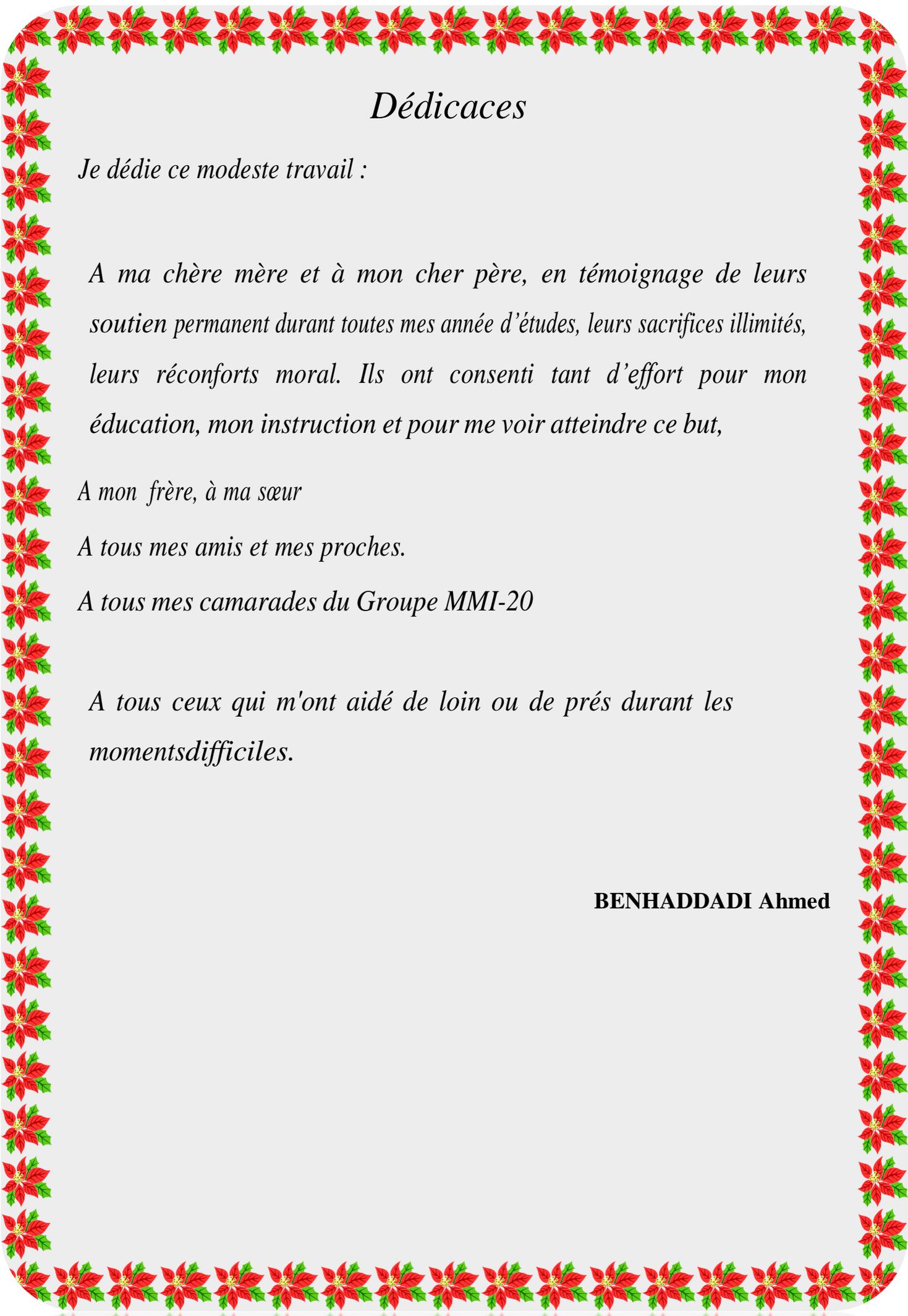
*Nous tenons à remercier chaleureusement notre promoteur Pr : CHELLIL Ahmed ; pour son soutien et ses conseils.*

*Un grand merci pour notre encadreur Mr: HOUASSE FOUJIL et notre Co-Encadreur Mr: LAOUBI HOCINE et Mr : KHALFI SMAIL qui nous 'ont témoigné de leur confiance et d'aide scientifique. Ainsi, nous remercions les ingénieurs et techniciens de la centrale Ras-Djinet*

*Nous remercions également les membres des jurys pour l'effort qu'ils feront dans le but d'examiner ce modeste travail.*

*Nous tenons à remercier vivement toutes les personnes qui ont contribuées de près ou de loin à l'aboutissement de ce travail.*

*Nous remercions aussi tout Le groupe MMI pour leur aide, leur patience, Leur compréhension et leur encouragement.*



## *Dédicaces*

*Je dédie ce modeste travail :*

*A ma chère mère et à mon cher père, en témoignage de leurs soutien permanent durant toutes mes années d'études, leurs sacrifices illimités, leurs réconforts moral. Ils ont consenti tant d'effort pour mon éducation, mon instruction et pour me voir atteindre ce but,*

*A mon frère, à ma sœur*

*A tous mes amis et mes proches.*

*A tous mes camarades du Groupe MMI-20*

*A tous ceux qui m'ont aidé de loin ou de près durant les moments difficiles.*

**BENHADDADI Ahmed**

## Dédicace

Avec l'aide de dieu le tout puissant qui a éclairé les chemins de savoir, j'ai pu réaliser ce travail que je dédie à :

A ma mère pour son amour, ses encouragements et sacrifices.

A mon père pour son soutien, affection et confiance qui m'a accordé.

A toute ma famille, ma sœur et mes deux frères pour tous leurs soutiens.

A mon encadreur Dr :chellile qui a bien voulu diriger ce travail pendant toute la durée de l'expérimentation et la mise en forme du document final. Ses nombreux conseils ne m'ont jamais fait défaut. Je suis heureux de lui exprimer ici ma respectueuse reconnaissance.

Aucune dédicace ne peut exprimer mon amour et ma gratitude aux membres du VNEA je ne saurais dire assez.

A mes profs car sans eux ce travail ne sera pas possible.

*BOUKERT ABD ELHAK*

## Sommaire

Introduction générale .....	14
chapitre I: présentation de la centrale électrique ras-djinet	
1 Introduction.....	16
2 Position de site .....	16
3 Caractéristiques techniques de la centrale :.....	17
3.1 Générateur de vapeur :.....	17
3.2 turbine :.....	18
3.2.1 Description :.....	18
3.2.2 Aubage .....	18
3.2.3 Corps HP :.....	18
3.2.4 Corps MP : .....	19
3.2.5 Corps BP : .....	20
3.3 L'alternateur (SIEMENS AUTRICHE): .....	21
3.4 Poste d'eau :.....	22
3.4.1 Condenseur :.....	22
Recevoir également le condensat des réchauffeurs BP.....	22
3.4.2 Bâche alimentaire : .....	22
3.4.3 Les pompes :.....	23
3.4.4 Réchauffeurs base pression (BP) et haut pression (HP) :.....	23
3.5 Auxiliaire électrique :.....	24
3.6 Transformateur principale d'évacuation d'énergie .....	24

3.7	Station de filtrage et de pompage : .....	25
3.8	Station de dessalement et déminéralisation de l'eau de mer : .....	25
3.8.1	Dessalement d'eau de mère.....	25
4	Principe du fonctionnement de la centrale du ras-djinet.....	26
5	Conclusion : .....	29

## chapitre II: maintenance et analyse vibratoire

1	Introduction.....	31
2	Maintenance .....	31
2.1	but de maintenance .....	32
	Les objective de la maintenance peuvent être classé en deux type :.....	32
2.1.1	Objective financier .....	32
2.1.2	Objective opérationnel.....	32
2.2	Les types de maintenance :.....	32
2.2.1	Maintenance préventive :.....	32
2.2.2	Maintenance corrective :.....	33
3	Technique d'analyse :.....	33
3.1	L'analyse d'huile : .....	34
3.2	Analyse vibratoire :.....	34
3.2.1	Objective d'analyse vibratoire .....	35
4	Définition d'une vibration : .....	36
5	Caractéristique d'une vibration :.....	36
5.1	fréquence : .....	36
5.2	L'unité : .....	36
5.3	Amplitude : .....	36
6	Différents formes de vibration.....	37
6.1	Vibration harmonique .....	37
6.2	vibration périodique .....	38
6.3	Vibration apériodique .....	38

7	Application des vibrations :.....	39
7.1	Analyse structurelle : .....	39
7.2	Test de vibration : .....	39
7.3	Surveillance de l'état des machines et diagnostic des défauts:.....	39
8	Les différentes représentations du signale : .....	39
8.1	Représentation temporelle.....	39
8.2	Représentation spectre : .....	40
8.3	Représentation d'un signal quelconque : .....	41
9	Origine des vibrations .....	41
9.1	Vibration des machines voisines : .....	41
9.2	Vibration d'origines électrique :.....	41
9.3	Résonance de la structure ou du rotor :.....	41
10	Principes activité de l'analyse vibratoire .....	42
10.1	Surveillance :.....	42
10.2	Diagnostic.....	42
11	Les capteurs de détection de vibration .....	42
12	Les points de mesurage : .....	43
13	Conclusion : .....	44
chapitre III: étude technologique et défaut de la pompe nourricière		
1	Introduction :.....	46
2	Description technique :.....	46
3	La pompe nourricière « BOUSTER » :.....	47
3.1	Définition :.....	47
3.2	Fonctionnement de la pompe : .....	47
3.3	System de refroidissement .....	48
3.4	Lubrification de palier.....	48
4	Défaut de balourd .....	51
4.1	Types des balourds :.....	52
4.1.1	Balourd d'origine mécanique :.....	52
4.1.2	Balourd d'origine thermique :.....	54

4.1.3	Balourd évolutif :.....	54
5	Défaut d'alignement :.....	55
5.1	Les types de désalignement :.....	55
5.1.1	Désalignement radial :.....	55
5.1.2	Désalignement angulaire :.....	55
5.2	Ambiguïtés de diagnostic:.....	56
6	Défaut des roulements :.....	56
6.1	Fréquence caractéristique :.....	57
6.2	Cause des défauts de roulement: .....	59
7	Défaut de paliers : .....	59
7.1	Instabilité de palier :.....	59
7.2	Les types d'instabilité : .....	60
7.3	Origine des instabilités :.....	60
chapitre IV: étude expérimentale des défaut survenant de la pompe nourricière		
8	Conclusion : .....	61
1	But du travail :.....	63
2	Matériel utilisé : .....	63
2.1	Capteur de vibration :.....	63
2.1.1	Caractéristique technique :.....	64
2.2	Analyseur MVP-200 : .....	64
2.2.1	Caractéristique technique :.....	65
2.3	Logiciel de diagnostic et d'analyse XPR-300 :.....	65
3	Etude de cas : .....	65
3.1	Les points des mesures :.....	65
3.2	Les défauts au niveau de la pompe nourricière (BOUSTER) :.....	65
3.2.1	Mesures de niveau global avant l'intervention.....	66
3.2.2	Interprétation des résultats : .....	67
3.2.3	Analyse spectrale de la pompe :.....	67
3.2.4	Interprétation résultat :.....	69
3.2.5	Intervention dans la pompe nourricière :.....	70

3.2.6	Mesure au niveau globale après l'intervention :	72
3.2.7	Interprétation résultats :	74
4	Conclusion	74
	Conclusion générale	75
	Références bibliographiques	75

### liste des figure

FIGURE I- 1	POSITION DE LA CENTRALE DE RAS-DJINET	16
FIGURE I- 2	:POSITION DE LA CENTRALE DE RAS-DJINET	17
FIGURE I- 4	CORPS MOYENNE PRESSION (MP)	19
FIGURE I- 3	CORPS HAUTE PRESSION	19
FIGURE I- 5	CORPS BASSE PRESSION (BP)	20
FIGURE I- 6	VENTILATEUR	20
FIGURE I- 7	ALTERNATEUR	21
FIGURE I- 8	VUE DE BACHE ALIMENTAIRE DANS LA CENTRAL	22
FIGURE I- 9	RECHAUFFEUR BP	24
FIGURE I- 10	TRANSFORMATEUR PRINCIPAL	25
FIGURE I- 11	SCHEMA FONCTIONNEMENT	28
FIGURE II- 1	TECHNIQUE D'ANALYSE	34
FIGURE II- 2	VIBRATION HARMONIQUE	37
FIGURE II- 3	VIBRATION PERIODIQUE	38
FIGURE II- 4	VIBRATION APERIODIQUE	38
FIGURE II- 5	REPRESENTATION TEMPORELLE	40
FIGURE II- 6	REPRESENTATION SPECTRALE	41
FIGURE II- 7	REPRESENTATION D'UN SIGNAL QUELCONQUE	41
FIGURE II- 8	PROXIMETRE MONTE SUR UN PALIER	42
FIGURE II- 9	VELOCIMETRE	43
FIGURE II- 10	LES POINTS DE MESURAGES	43
FIGURE III- 1	PHOTO DE LA POMPE D'ALIMENTATION SUR SITE	46
FIGURE III- 2	LA POMPE NOURRICIERE	47
FIGURE III- 3	SCHEMA TECHNIQUE D'UNE POMPE NOURRICIERE	49
FIGURE III- 4	DEFAUT DE BALOURD	51
FIGURE III- 5	BALOURD STATIQUE	52
FIGURE III- 6	BALOURD COUPLE	53
FIGURE III- 7	BALOURD DYNAMIQUE	53
FIGURE III- 8	DEFAUT D'ALIGNEMENT D'ARBRE	55
FIGURE III- 9	DESALIGNEMENT PARALLELE	55

FIGURE III- 10:DESALIGNEMENT ANGULAIRE .....	56
FIGURE III- 11:CONSTITUTION D'UN ROULEMENT .....	57
FIGURE III- 12:CARACTERISTIQUES GEOMETRIQUES D'UN ROULEMENT .....	58
FIGURE IV- 1:ACCELEROMETREASH201-A.....	63
FIGURE IV- 2:ANALYSEUR MVP-200.....	64
FIGURE IV- 3:SIGNALE TEMPOREL PALIER 1.....	66
FIGURE IV- 4:SIGNALE TEMPOREL PALIER 2.....	66
FIGURE IV- 5:SPECTRE DE VIBRATION DE LA POMPE NOURRICIERE AU NIVEAU DE PAL1RV AVANT L'INTERVENTION .....	68
FIGURE IV- 6:SPECTRE DE VIBRATION DE LA POMPE NOURRICIERE AU NIVEAU DE PAL2RH AVANT L'INTERVENTION .....	68
FIGURE IV- 7:SPECTRE DE VIBRATION DE LA POMPE NOURRICIERE AU NIVEAU DE PAL2RV AVANT L'INTERVENTION .....	69
FIGURE IV- 8:SPECTRE VIBRATION DE LA POMPE NOURRICIERE PAL2RH APRES L'INTERVENTION .....	72
FIGURE IV- 9:SPECTRE VIBRATION DE LA POMPE NOURRICIERE PAL1AX APRES L'INTERVENTION .....	73
FIGURE IV- 10:SPECTRE VIBRATION DE LA POMPE NOURRICIERE PAL2RV APRES L'INTERVENTION .....	73

### **Liste des tableaux**

TABEAU I 1 CARACTERISTIQUE TECHNIQUE .....	18
TABEAU I 2DE CARACTERISTIQUE TECHNIQUE DE L'ALTERNATEUR.....	21
TABEAU III- 1:CARACTERISTIQUE TECHNIQUE DE LA POMPE NOURRICIERE .....	48
TABEAU III- 2:NOMENCLATURE DE LA POMPE NOURRICIERE .....	50
TABEAU IV- 1:POINT DE MESURE.....	65
TABEAU IV- 2:NIVEAU GLOBAL DANS LES POINTS DE MESURES.....	66
TABEAU IV- 3:LES FREQUENCES CARACTERISTIQUE DE LA POMPE BOOSTER .....	67
TABEAU IV- 4: GAMME DE TRAVAIL.....	70
TABEAU IV- 5:NIVEAU GLOBAL DANS LES POINTS DE MESURES APRES L'INTERVENTION ....	72

## Liste d'abréviation

BP :	Basse Pression
MP :	Moyenne Pression
HP :	Haute Pression
CPM :	nombre de cycles par minute
RPM :	nombre de rotation par minute
Ac :	amplitude crête
Acc :	amplitude crête a crête
RMS :	Root mean square
AFNOR :	association française de la normalisation
ISO :	international stand airing organisation
RL :	la pompe de alimentaire
RH :	direction horizontale
AX :	direction axiale

## Résumé

Cette étude est dédiée à la maintenance conditionnelle par analyse vibratoire, domaine d'activité qui constitue une part de plus en plus importante des dispositions permettant à l'outil de production industrielle d'être rentable. Il propose une méthodologie expérimentale d'aide à la détection et à la surveillance des vibrations de défaut dans les machines tournantes. L'augmentation des vibrations permet de détecter un défaut, l'analyse des caractéristiques des vibrations de la machine permet d'en identifier la cause. Dans nos travaux, nous appliquons une méthodologie d'analyse fréquentielle en maintenance prédictive en utilisant les méthodes de surveillance et de diagnostic de pannes de certaines machines par analyse au niveau global et analyse spectrale. Selon l'étude expérimentale appliquée au niveau de l'entreprise (SONELGAZ) RAS-DJINET. Les résultats ont montré que les machines étudiées présentent les anomalies suivantes :

Défaut de roulement dans la pompe BOUSTER

Changement les roulements

## ABSTRACT

This study is dedicated to the conditional maintenance by vibratory analysis, activity area which establishes a more and more important part of capacities allowing to make profitable the industrial instrument of production. She proposes an experimental methodology of help to the detection and to the vibratory follow-up of the defects of the rotating machines. The increase of the vibrations allows to detect a defect, the analysis of the characteristics of the vibrations of the machine allows to identify the cause.

In our work, we apply a methodology of the analysis fréquentielle in predictive maintenance by using the methods of follow-up and diagnosis of the defects of some machine by the analysis at the global level and the spectrum analysis. According to the experimental study applied at the level of the company (SONELGAZ) RAS-DJINET.

Bearing defect in the BOUSTER pump

Changing the pump bearings

## ملخص

هذه الدراسة مخصصة للصيانة باستخدام التحليل الاهتزازي، حيث ان ميدان هذا العمل احتل أهمية أكثر فأكثر في جعل معدات الإنتاج الصناعي أكثر ربحية، تقترح هذه الطريقة منهجية تجريبية للكشف ومتابعة الاهتزازات وعيوب الأجهزة التناوبية (الدوارة)

في عملنا هذا قمنا بتطبيق منهجية التحليل التناوبي (اهتزازي) في الصيانة التنبئية باستخدام وسائل المتابعة لتشخيص عيوب بعض المكونات باستخدام تحليل الاهتزازات العام وتحليل الطيف وفقا لدراسة تطبيق تجريبي على مستوى شركة سونلغاز (راس جنات).

عيوب المدحرجات في مضخة BOUSTER

تغيير مدحرجات المضخة

**Introduction**

**Générale**

# Introduction général

---

## Introduction générale

Les vibrations sont presque omniprésentes dans les centrales électriques, les turbogénérateurs, les pompes à chaleur principales et les pompes à eau d'alimentation des chaudières. Les machines tournantes vibrent en raison de balourds, de désalignements et de défauts de roulement : les tuyaux et les échangeurs de chaleur vibrent en raison des pulsations d'écoulement ; les structures vibrent en raison des vibrations transmises par les différents équipements qu'elles abritent, et même les lignes électriques vibrent dans les rafales de vent. D'une manière générale, les vibrations affectent la durée de vie des équipements et, dans des cas extrêmes, peuvent endommager les équipements ou même entraîner des pannes catastrophiques. De plus, les vibrations peuvent indiquer un problème avec l'appareil. L'observation des phénomènes vibratoires peut donc révéler ces problèmes et Evitez les pertes coûteuses.

L'analyse des vibrations permet une évaluation complète de la machine. Le contrôle des machines tournantes par l'analyse des vibrations est souvent particulièrement utile pour surveiller les parties fragiles ou critiques du système, telles que les roulements à billes, les engrenages ou les rotors. La procédure consiste à détecter l'apparition de défauts sans démonter la machine en prélevant des signaux vibratoires à l'aide de capteurs de vibrations. Nous définissons ensuite des procédures de contrôle en comparant les métriques avec des seuils d'alerte préalablement définis. La nature et la cause du problème ne sont généralement pas étudiées plus avant. Cependant, l'analyse des défaillances est également possible dans la plupart des cas. L'analyse vibratoire permet une "évaluation mécanique" complète du système, décrivant qualitativement et quantitativement son état à un moment donné, identifiant d'éventuelles "maladies".

L'analyse vibratoire est l'une des méthodes et techniques qui permet aux ingénieurs de mieux contrôler le fonctionnement des machines, grâce à sa capacité remarquable à transformer tout comportement en mouvement ou en rotation, introduisant le concept de maintenance conditionnelle, remplaçant la maintenance thérapeutique ou maintenance systématique. Elle est devenue une discipline scientifique de pointe avec ses propres équipements.

Le mémoire est structuré en quatre chapitres, suivis d'une conclusion générale

### **Chapitre 1 :**

Dans le premiers chapitre On a représenté la centrale thermique RAS-DJINET

### **Chapitre 2 :**

Le deuxième chapitre fait une étude théorique sur la maintenance industrielle et ses types, et a une compréhension globale de la technologie et des moyens d'analyse vibratoire, abordant ainsi le concept de base du diagnostic vibratoire.

### **Chapitre 3 :**

Le troisième chapitre fait une étude théorique sur la technologie de la pompe nourricière « BOUSTER » et les principes défaut des machines tournants

### **Chapitre 4 :**

Etude expérimentale sur la pompe nourricière

**chapitre I**

**Présentation**

**de la centrale**

**électrique**

**de ras-djinet**

### 1 Introduction

La centrale électrique de Ras Djinet est une centrale thermique d'une capacité de production de 704 mégawatts répartie en 4 unités de production thermique à vapeur, chacune d'une puissance de 176 mégawatts (MW). L'énergie fournie au réseau d'État est le terminal de la zone de l'usine de 672 MW, qui est transmise au poste d'intersection ALGER / EST via la ligne de transmission n ° 04 220KV. La consommation totale des auxiliaires et des auxiliaires généraux pour les quatre tranches est d'environ 32 MW. La centrale thermique de RAS DJINET est une filiale de la Société nationale de l'électricité et du gaz, en abrégé SONELGAZ. L'usine a été construite par le consortium Oder SEIMENS-KWU-SGP et a commencé sa production en 1986. L'usine est l'une des plus importantes du pays et est hautement stratégique (régulation du réseau).

### 2 Position de site

La centrale implantée sur une surface de 35 hectare spécialement sélectionnée sur le littoral de cap djinet (25 km à l'est de Boumerdes) pour sa conformité avec les critères nécessités par ce genre d'installation, dont la proximité avec les RN 24 et 12, ainsi que la voie frée la position de la centrale



figure I- 1 Position de la centrale de ras-djinet

### 3 Caractéristiques techniques de la centrale :

la centrale thermique de RAS-DJINET est composé de plusieurs organe important du type thermique pour chaque groupe de la centrale :

#### 3.1 Générateur de vapeur :

La chaudière est un appareil destiné à extraire l'énergie calorifique du combustible et la céder à l'eau, Alors elle a pour rôle de transformer l'eau d'alimentation en vapeur, à haute pression et à une température plus élevée en vue d'alimenter la turbine. La chaudière est de type pressurise (sous-pression) à circulation naturelle.



figure I- 2 :Position de la centrale de ras-djinet

Le générateur de vapeur (chaudière) a pour rôle d'extraire l'énergie calorifique du combustible et de la céder à la vapeur d'eau. C'est donc la transformation de l'énergie chimique en énergie calorifique, qui sera transformé en énergie mécanique dans la turbine.

- Consommation gaz naturel .....40m<sup>3</sup>h
- Consommation gas-oil.....42m<sup>3</sup>h
- Capacité de vaporisation.....530t /h
- Pression de service.....160bars
- Température de la vapeur.....540°C
- Température eau d'alimentation.....246°C

### 3.2 turbine :

la turbine est une machine à une ligne d'arbre composé de corps HP (haute pression), MP(moyenne pression), BP (basse pression).

La turbine transforme l'énergie thermique contenue dans la vapeur provenant de la chaudière en un mouvement de rotation de l'arbre .Le travail mécanique obtenu sert à entraîner l'alternateur.

**tableau I 1 caractéristique technique**

Longueur	16,125m
Largeur	13m
Poids	500t
Puissance	176MW
Vitesse de rotation	3000tr/min

#### 3.2.1 Description :

- Turbine à trois corps : HP, MP et BP (haute, moyenne et basse pression).
- Nombres de soutirages de vapeur : 06 alimentant trois réchauffeurs BP, la bêche alimentaire et deux réchauffeurs HP.

#### 3.2.2 Aubage

A l'exception de la phase de réglage, toute la turbine est réactive. Les lames mobiles du corps HP sont fraisées avec des pieds en forme de marteau et de tenon. Le dernier étage de la douille BP est équipé d'une lame issue du profil gauche du moule dont les pieds en forme de sapin ou de double marteau s'emboîtent dans les rainures correspondantes de l'arbre. Les aubes directrices HP et MP à haute contrainte sont usinées à partir d'une matière solide avec des racines et des tenons martelés, tout comme les aubes mobiles. D'autres aubes directrices ont un pied à crochet et un tenon à rivet. Les trois derniers étages du corps de vanne BP sont constitués d'anneaux d'aubes directrices en tôle.

#### 3.2.3 Corps HP :

Le corps HP (haute pression) de la turbine est une structure en forme de tonneau, qui est équipée d'un étage de régulation pour la régulation par un ensemble de tuyères. Quatre groupes de vannes d'arrêt et de vannes de régulation combinées sont associés à autant de groupes de buses que possible, qui sont disposés de chaque côté du corps de vanne. La vapeur entrant dans la turbine à vapeur par la conduite passe par la vanne d'arrêt et atteint ensuite la vanne de régulation. La vapeur s'écoule dans la chemise à partir de ces vannes. Un clapet anti-

retour est installé sur le tuyau sur le tuyau de réchauffage entre le corps HP et le réchauffeur pour empêcher le retour de chaleur du réchauffeur vers le corps MP.

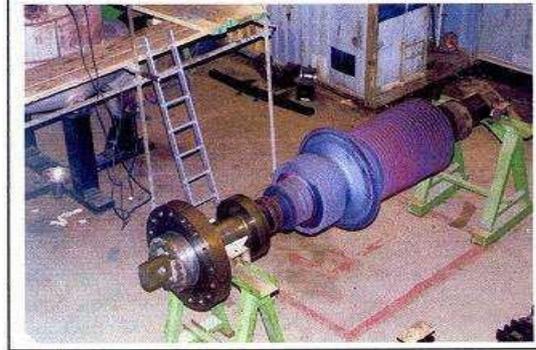


figure I- 3: Corps haute pression

### 3.2.4 Corps MP :

Le corps MP est à double flux. La coque extérieure a un joint horizontal qui porte la coque intérieure montée de manière à ne pas gêner la dilatation thermique. Les aubes directrices sont installées dans la coque intérieure et la vapeur réchauffée pénètre au milieu de la coque intérieure par le bas et le haut. La présence de la chemise intérieure confine les caractéristiques élevées de la vapeur à la région d'entrée de la chemise, de sorte que le joint horizontal de la chemise n'est exposé qu'à la basse pression et à la température réduite de la vapeur à la sortie de la chemise intérieure.



figure I- 4: Corps moyenne pression (MP)

### 3.2.5 Corps BP :

Le corps BP (basse pression) est du type à deux flux. C'est une structure mécano-soudée constituée d'une carcasse et d'une double peau. La vapeur issue du carter MP pénètre dans le carter intérieur double carter en amont des aubes BP par des conduits d'admission disposés de part et d'autre du carter BP. Le compensateur est installé sur le tuyau de vapeur pour éviter la déformation due à la dilatation thermique.



figure I- 5: Corps basse pression (BP)

- 02 Ventilateur de récupération : Sa fonction est de récupérer une partie des fumées générées par la combustion en fonction de la charge pour régler la température de sortie du réchauffeur.
- 02 ventilateurs: utilisés pour alimenter le générateur de vapeur avec de l'air de combustion.



figure I- 6: Ventilateur

### 3.3 L'alternateur (SIEMENS AUTRICHE):

Est un générateur d'électricité qui est directement connecté au rotor de la turbine et transforme l'énergie mécanique en énergie électrique. C'est une alternative aux pôles lisses parmi ces avantages figurent une faible densité et une conductivité thermique élevée, qui aident à réduire la perte de chaleur pendant la ventilation, ainsi que la chaleur générée par un courant électrique, qui crée un courant triphasé.[1]

tableau I 2de Caractéristique technique de l'alternateur

Tension nominale	15,5KV
Puissance apparente	220MVA
Puissance active	176MW



figure I- 7: Alternateur

Les alternateurs sont refroidis par hydrogène sous une pression de 03 bars dans un circuit fermé, l'hydrogène étant refroidi par l'eau d'extraction.

### 3.4 Poste d'eau :

Le poste d'eau est la collection de dispositifs qui transportent l'eau d'alimentation du cycle du condenseur à la chaudière et la conditionnent en termes de température et de teneur en oxygène. Elle est constituée par les éléments suivants :

#### 3.4.1 Condenseur :

Le condenseur utilisé dans l'installation est un échangeur surface-surface. Il est enterré dans le corps de BP. Les vapeurs qui s'échappent de la turbine se condensent à l'extérieur des tubes du tubulaire, qui sont entourés à l'intérieur par de l'eau de circulation, qui est ensuite évacuée dans la mer par une pompe de circulation qui aspire l'eau et la renvoie à l'intérieur du tubulaire, où il est refoulé et retourné à la mer.

- Les principales fonctions de condenseur sont :
  - Assurer la condensation de la vapeur d'eau évacuer du corps BP de la turbine par la circulation de l'eau de mer de refroidissement (débit de  $2 \times 12000 \text{ m}^3/\text{h}$ ), dans les 14850 tubes en titane contenu dans le condensateur.
  - Augmenter la chute d'enthalpie de la vapeur détendue en établissement une dépression atmosphérique afin d'améliorer le rendement.
  - Dégazer le condensat et d'évacuer les incondensables en majorité l'air.

**Recevoir également le condensat des réchauffeurs BP.**

#### 3.4.2 Bâche alimentaire :

C'est un réservoir qui retient l'eau chargée durant l'aspiration des pompes et assure l'évacuation du condensat. Ce dernier agit comme un échangeur de mélange (Réchauffeur), et l'eau est chauffée par le soutirage S4 du corps MP de la turbine. En condensant la vapeur qui a été transportée à la turbine.



**figure I- 8:Vue de Bâche alimentaire dans la central**

### 3.4.3 Les pompes :

#### ➤ Deux pompes d'extraction :

Le but de ces pompes centrifugeuses à quatre étages est d'assurer la transmission de l'eau des tuyaux du condenseur à la bêche alimentaire, en passant par trois réchauffeurs BP avec une débit nominale de 415m<sup>3</sup>/h.

Avec une tension de 6,3 KV et une puissance de 300 KW, chaque groupe dispose de deux pompes, l'une en fonctionnement et l'autre en réserve en cas de panne de courant.

#### ➤ Trois pompes alimentaires :

L'eau de qualité alimentaire est extraite de la bêche par des pompes d'alimentation et envoyée à la chaudière (ballon chaudière) via des échangeurs de chaleur HP.

#### ■ On distingue deux type de pompe :

- La pompe nourricière : c'est une pompe auxiliaire de type centrifuge à un étage, elles servent à augmenter la pression de l'eau d'alimentation de 4.9 bars à 11 bars avec un débit de 261.6 m<sup>3</sup>/h.
- La pompe principale : ce sont des pompes centrifuges radiales à 6 étages. Elles sont placées en aval des pompes nourricières, elles augmentent la pression de l'eau de 11 bars jusqu'à 177 bars.

Il y a trois pompes d'alimentation pour chaque groupe, ainsi que trois pompes principales et trois pompes nourricières. Et chaque groupe de pompes d'eau d'alimentation est contrôlé par un moteur commun avec une tension de 6,3 KV et une puissance de 300KW.

#### ➤ Deux pompes de circulation :

Ils ont chacun un débit de 12000 m<sup>3</sup>/h et leur rôle est de repousser l'eau de mer vers le condenseur. Après avoir traversé le condenseur, l'eau de refroidissement est évacuée vers le canal d'évacuation, qui mène à la mer.

### 3.4.4 Réchauffeurs base pression (BP) et haut pression (HP) :

➤ **Réchauffeurs BP :** Le rôle de ces trois (03) réchauffeurs est de chauffer le condensat lors de son transfert vers la cuve (bêche) d'alimentation. Ils sont alimentés par trois (03) sous-flux (S1), (S2) et (S3) issus du corps de turbine (BP).

Le réchauffeur utilisé est un échangeur de chaleur à échange de surface. Ils sont placés horizontalement dans des tubes (en forme de U) avec une cascade de flux de condensats, le condensat principal circulant côté tube et la vapeur circulant côté enveloppe, avec des températures supérieures à 100°C.

#### ➤ Réchauffeur HP :

Ils sont deux, et leur travail est de réchauffer l'eau entrante avant qu'elle ne soit transférée à la chaudière. Ils sont alimentés par les deux soutirages (S5) et (S6) provenant respectivement des corps Moyenne pression (MP) et Haute pression (HP) de la turbine.



**figure I- 9: réchauffeur BP**

Les échangeurs de chaleur utilisés sont des échangeurs de chaleur surface-surface. Ils sont disposés verticalement avec des tubes en forme de serpentine, avec de la vapeur circulant dans l'enveloppe et de l'eau d'alimentation (condensât) circulant dans le tube à une pression de 160 bars et à une température de 145 °C.

### **3.5 Auxiliaire électrique :**

Les auxiliaire électrique se situent à l'intérieure, deux bâtiment à 05 niveaux situés entre deux chaudière on trouve :

- Niveaux 5,15 m : sale des câbles
- Niveaux 8,35 m : tableaux BT, MT
- Niveaux 11,65 m : salle de câble.
- Niveaux 14,75 m : batteries, redresseurs et salle électrique.
- Niveaux 18,65 m : salle de commande.

### **3.6 Transformateur principale d'évacuation d'énergie**

L'électricité fournie par le groupe électrogène est trop élevée pour être acheminée par des lignes aériennes à haute tension. La fonction des transformateurs est d'élever cette tension à 225 ou 338 KV ; c'est l'organe qui adapte la tension alternative à la tension du réseau afin de transporter l'énergie générée au réseau national via des lignes aériennes. A l'aide d'un coupleur disjoncteur, chaque alternateur est raccordé à un élévateur de 15,5 KV à 220 KV d'une puissance de 220 MVA. Les transformateurs élévateurs ont un poids de 140 tonnes (sans les radiateurs) et leur réfrigération est assurée par une circulation forcée d'huile, laquelle est elle-même refroidie par l'air.



figure I- 10: Transformateur principal

### 3.7 Station de filtrage et de pompage :

Trois tuyaux d'un diamètre de 03 mètres sont installés dans la surface de la terre à une profondeur de 06 mètres et une longueur de 900 mètres de la surface, et l'eau s'écoule automatiquement vers le bassin à travers la différence de potentiel (niveau d'eau). Avant d'être inhalée, l'eau passe par deux étapes de filtration :

- Par des grilles à grappins pour empêcher le passage des grands corps
- Par des tambours filtrants pour empêcher le passage des petits corps.

Le pompage s'effectue dans des puits après la station de filtration, par trois groupes différentes pompes répondent aux besoins des centrales électriques.

### 3.8 Station de dessalement et déminéralisation de l'eau de mer :

#### 3.8.1 Dessalement d'eau de mer

Les usines de dessalement sont chargées de produire de l'eau dessalée à partir d'eau de mer. Quatre unités de dessalement produisent 500 mètres cubes par jour, assurant la production d'eau dessalée, stockée dans deux bâches (2 x 2700 mètres cubes). Type d'installation : Évaporation multi-flash qui permettant d'évaporer l'eau de mer pour en éliminer les sels puis de la condenser pour obtenir de l'eau dessalée. Trois produits chimiques sont injectés pour le traitement de l'eau comme suit :

- **Le belgard EVN : Inhibiteur** d'incrustation utilisé pour éviter l'entartrage.
- **La belite (M33):**Produit anti-mousse utilisé pour éviter la formation de la mousse au niveau des évaporateurs.

- **Le bisulfite de sodium (NA<sub>2</sub>SO<sub>3</sub>):**Produit permettant l'élimination du chlore dans l'eau pour diminuer la conductivité.

La chloration de l'eau de mer protège l'équipement contre l'incrustation causée par les microbes marins. Il est fabriqué à partir d'hypochlorite de sodium, et sa production est assurée par une station d'électro chloration (utilisant une électrolyse d'eau de mer d'une capacité de 150 kg de chlore actif par heure).

- Pompe d'alimentation en eau de mer de refroidissement
- Pompe d'alimentation en eau de mer pour l'unité de dessalement
- Pompe d'alimentation en eau de mer pour la station d'électro chloration

### 4 Principe du fonctionnement de la centrale du ras-djinet

Avant d'entrer dans le fonctionnement de la centrale, il est important de se rappeler les différentes transformations énergétiques qui sont entrées dans la production d'énergie électrique dans un travail qui a suivi le **cycle de Rankine** (deux sources d'énergie, l'une chaude (chaudière) et l'autre froide (condenseur) + un groupe turboalternateur).

- ❖ On a trois transformations principales :
  - Transformation de l'énergie stockée à l'état latent du combustible (énergie chimique) en énergie calorifique (vapeur) dans la chaudière.
  - La transformation de l'énergie calorifique (vapeur) en énergie mécanique (vitesse de rotation) a lieu dans la turbine.
  - La transformation de l'énergie mécanique (vitesse de rotation) en énergie électrique a lieu dans l'alternateur.

Le circuit de vapeur est un circuit fermé avec le condenseur comme point de départ. On a deux pompes d'extraction aspirent le condensât de condenseur à une pression de 0,04 bar et à une température de 33° c, puis envoient l'eau à l'enrouleuse basse pression BPI, BP2 et BP3, ou la température est augmentée comme suit :

- 520càlasortiederéchauffeurBPI.
- 840càla sortie de réchauffeur BP2.
- 1130càlasortiederéchauffeurBP3.

Grâce à l'extraction S6, l'eau qui pénètre dans la bêche alimentaire a une température de 152 °C et une pression de 4,5 bar. En dessous de la bêche se trouvent trois pompes alimentaires, dont chacune fournit un demi-débit (50 pour cent de la charge). Ces pompes fonctionnent par paires, aspirant l'eau à 11 bars et la refoulant à 177 bars via les réchauffeurs haute pression HP5 et HP6, et la température augmente comme suit :

- 2000°C a la sortie du réchauffeur HP 5
- 2460°C à la sortie du réchauffeur HP 6

L'eau chaude comprimée atteint le ballon chaudière , en passant à travers les parois tubulaires de la chambre de combustion, où elle est ramenée à la température d'ébullition et même à la température de vaporisation, la partie supérieure du ballon chaudière contient de la vapeur saturée, qui est dirigée aux trois surchauffeurs, la température va monter à 540°C, la pression va rester quasiment à 140 bar, la vapeur entre dans le corps haute pression haute pression de la turbine, où elle se détend à 40 bar, et sa température descend à 357° C avant de retourner à la chaudière où se trouve le réchauffeur, où il est chauffé à 540°C et introduit dans le demi-angle d'attaque de la turbine (MP). Ce dernier est un double flux, dans le but de détendre au maximum la pression de vapeur. Le passage de la vapeur à travers ces trois canaux facilite la formation du travail moteur, qui définit énergie mécanique générée par la turbine.

Dans le corps HP, la vapeur se détend au maximum et s'écoule dans le condenseur avec une pression de 0,04 bar, grâce à quatre éjecteurs qui aspirent de l'air pour créer une dépression dans le condenseur.

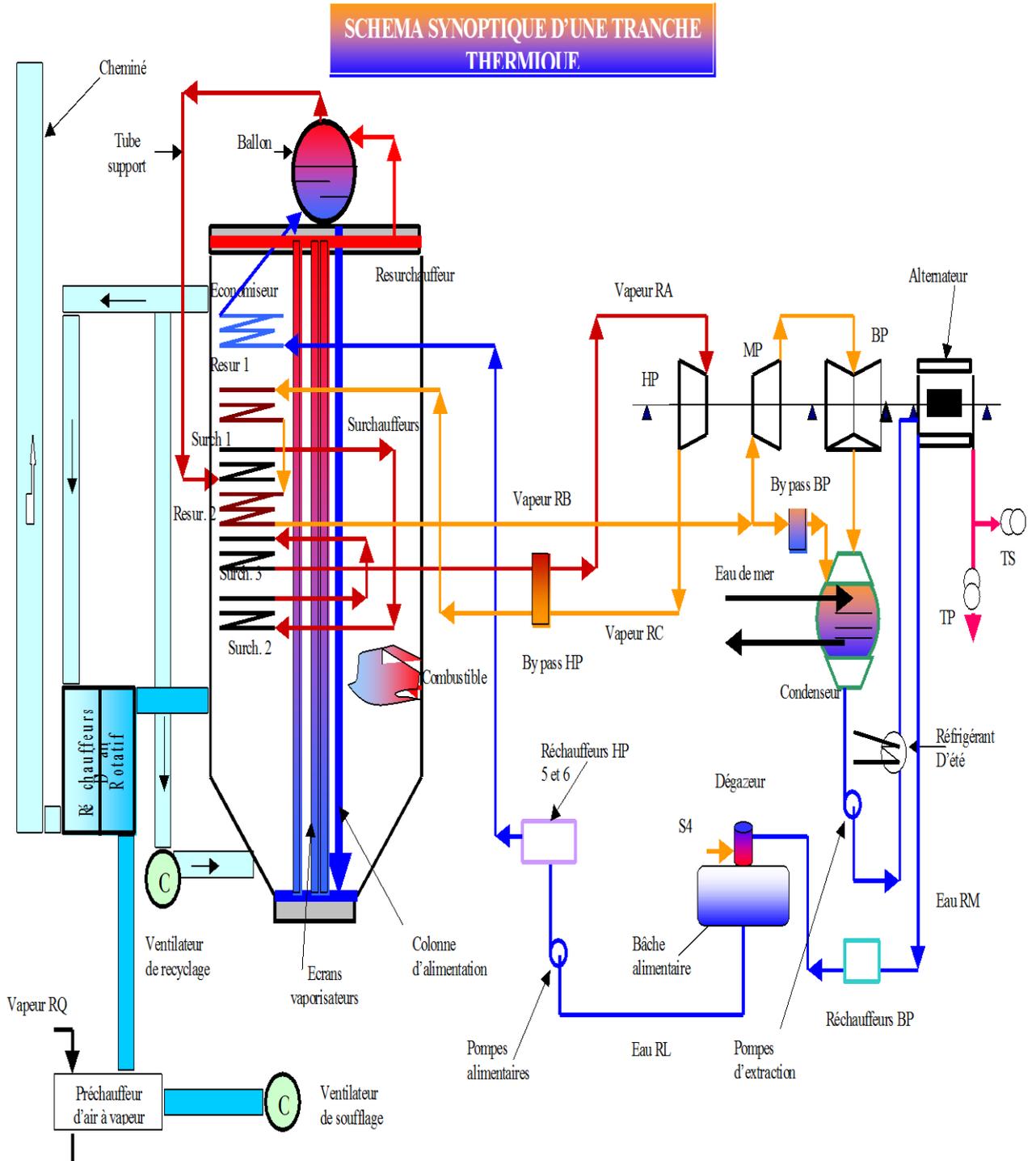


figure I- 11: Schéma fonctionnement

**5 Conclusion :**

Ce chapitre donne un aperçu concis de la structure de la centrale thermique RAS-DJENET, y compris les différents compartiments qui composent la centrale et les machines nécessaires à son bon fonctionnement.

**Chapitre II:**

**Maintenance**

**Et analyse**

**vibratoire**

### 1 Introduction

Les mondes industriels et des transports ont des machines et des systèmes qui deviennent de plus en plus compliqués. Les exigences de sécurité de haut niveau, les mesures de réduction des coûts et la disponibilité accrue de l'équipement contribuent tous à la maintenance du système jouant un rôle important. Elle doit pouvoir intervenir uniquement en présence de composants défectueux, réduire le temps de réparation et fournir un diagnostic fiable et facile à comprendre malgré la complexité de l'équipement. Nous nous intéressons principalement aux transmissions mécaniques de puissance utilisées dans divers domaines tels que l'industrie, l'aviation, l'automobile et le transport ferroviaire. Étant donné que l'entretien de ces systèmes de transport prend beaucoup de temps par rapport au temps qu'ils sont utilisés, la recherche scientifique se concentre actuellement sur le développement des outils nécessaires pour les optimiser la maintenance de tel style.

Ce chapitre présente l'approche de maintenance, décrit les nombreuses formes de maintenance et traite des causes des défaillances. Un rappel sur l'analyse des vibrations de l'équipement rotatif est également fourni.

### 2 Maintenance

La norme AFNOR NF X 60 010 [AFNOR, 2002] définit la maintenance par l'expression suivante : «La maintenance constitue l'ensemble de toutes les actions techniques, administratives et de management durant le cycle de vie d'un bien, destinées à le maintenir ou à le rétablir dans un état qui lui permet d'accomplir la fonction requise ». La maintenance vise la conservation de l'état préalablement défini (le bon état) mais permet aussi la reconstitution et l'amélioration. L'entretien peut être vu comme une condition nécessaire mais insuffisante de la maintenance. Les objectifs de la maintenance se résument comme suit :

- Réduire le nombre d'arrêts sur casse
- Fiabiliser l'outil de production
- Augmenter son taux de disponibilité
- Dépanner rapidement les équipements.
- Améliorer la sécurité du travail, etc.

### 2.1 but de maintenance

Les objectifs de la maintenance peuvent être classés en deux types :

#### 2.1.1 Objectif financier

- Réduire au minimum les dépenses de maintenance
- Assurer le service de maintenance dans les limites d'un budget

#### 2.1.2 Objectif opérationnel

- Maintenir l'équipement dans les meilleures conditions possibles
- Assurer la disponibilité maximale de l'équipement à un prix minimum
- Augmenter la durée de vie des équipements
- Entretien des installations avec le minimum d'économie et les remplacer à des périodes prédéterminées
- Assurer un fonctionnement sûr et efficace à tout moment.

### 2.2 Les types de maintenance :

Nous distinguons plusieurs types de maintenances :

#### 2.2.1 Maintenance préventive :

«C'est une maintenance exécutée à des intervalles prédéterminés ou selon des critères prescrits et destinés à réduire la probabilité de défaillance ou la dégradation du fonctionnement d'un bien» [AFNOR,2002].

Cette maintenance a pour but de prévoir la date à laquelle les opérations de maintenance doivent être réalisées en se référant à un modèle théorique de dégradation des composants mécaniques de la machine. La maintenance prédictive commence par les informations recueillies à partir de la surveillance de l'état de l'équipement et de la réalisation d'analyses périodiques pour déterminer l'évolution de la dégradation de l'équipement et le moment de l'intervention.

La maintenance préventive peut être systématique, conditionnelle ou prévisionnelle

##### a) Maintenance préventive systématique :

Définition d'après la Norme NF X 60010 « Maintenance préventive effectuée selon un échéancier établi selon le temps ou le nombre d'unités d'usage ».

Généralement, la maintenance préventive s'adresse aux éléments dont le coût des pannes est élevé, mais ne revenant pas trop cher en changement (les meilleurs exemples sont le changement systématique de l'huile, changement de la courroie de synchronisation,...)

##### b) Maintenance préventive conditionnelle :

«C'est une maintenance préventive basée sur une surveillance du fonctionnement du bien et/ou des paramètres significatifs de ce fonctionnement intégrant les actions qui en découlent» [AFNOR, 2002].

##### c) Maintenance prévisionnelle :

Maintenance conditionnelle exécutée en suivant les prévisions extrapolées de l'analyse et de l'évaluation de paramètres significatifs de la dégradation du bien (EN 13306).

### 2.2.2 Maintenance corrective :

La maintenance corrective est définie par la norme AFNOR comme [AFNOR, 2002]:

«C'est la maintenance exécutée après détection d'une panne et destinée à remettre un bien dans un état dans lequel il peut accomplir une fonction requise». L'intervention, étant curative, se fait après l'apparition de la défaillance.

Les opérations de maintenance corrective sont essentiellement : le dépannage, la réparation, et la réparation.

## 3 Technique d'analyse :

Surveillez l'équipement de la machine en lisant périodiquement les indicateurs de dégradation ou d'état des performances. Il existe différentes techniques d'analyse telles que l'analyse vibratoire, l'émission acoustique, l'imagerie thermique, l'analyse des huiles et lubrifiants, les variations de résistance des circuits électriques, etc.

Le choix des indicateurs dépend du type de machine à investiguer et du type de panne à détecter. Pour les machines tournantes, un indicateur vibrant peut détecter la plupart des défauts, créant un graphique de l'évolution de l'indicateur dans le temps. Sur cette courbe, différents seuils sont définis correspondant à des niveaux d'alarmes, des alarmes, des niveaux de défaut, qui sont établis empiriquement ou en appliquant des normes de roulement, et des tableaux de sévérité vibratoire permettent de définir différents seuils

■ Analyse vibratoire

■ Analyse d'huile

■ Analyse thermique

■ Autre

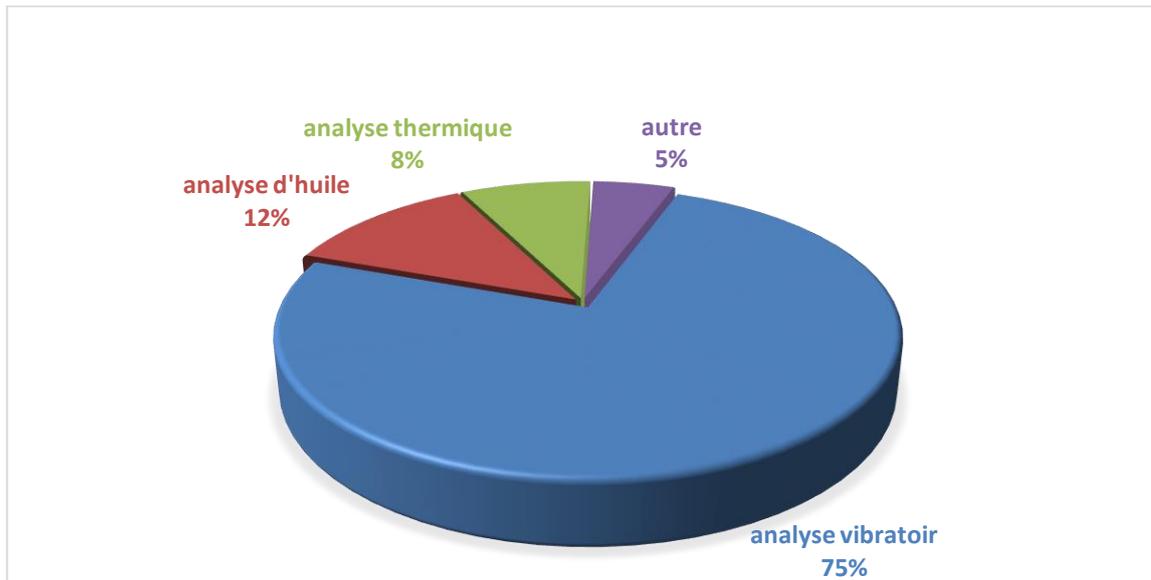


Figure II- 1: Technique d'analyse

### 3.1 L'analyse d'huile :

Le lubrifiant (huile) est comparable au sang de la machine, il reflète le comportement et l'état du système dans lequel il circule.

Le suivi de ces caractéristiques physico-chimique permet d'apprécier l'état de dégradation de l'huile et de connaître son aptitude à remplir totalement ses fonctions initiales de lubrification. L'évolution de cette dégradation peut être un indicateur de condition d'exploitation de l'équipement. Elle va permettre d'optimiser les fréquences de vidanges dans le cas de quantité importante, le suivi de la contamination permet :

- Destituer l'organe défectueux, d'apprécier l'évolution et le type d'usure dans le cas d'une pollution par des particules internes.
- D'apprécier la nature et l'origine des agents extérieurs.

On prend comme référence les caractéristiques de l'huile neuve et on compare les résultats obtenue à chaque analyse, si l'on constate une évolution brutale des caractéristiques ou si l'on atteint des valeurs très éloignées des valeurs initiales, il faut soit intervenir au niveau du matériel ou remplacer l'huile

### 3.2 Analyse vibratoire :

Le principe de l'analyse des vibrations est basé sur l'idée que les structures dynamiquement excitable produisent des signaux vibratoires avec la même fréquence que les efforts qui les ont causés, et que le nombre total de réponses vibratoires de la structure aux différents excitateurs est le nombre total de réponses vibratoires de la structure. Ainsi, en plaçant des capteurs dans des endroits spécifiques, on peut enregistrer les vibrations transmises par les structures de la machine et, par analyse, déterminer la source des efforts

auxquels elle est soumise. En outre, si on a la "signature" vibratoire d'une machine quand elle était nouvelle ou considérée comme en bon état de fonctionnement, on peut comparer l'évolution de son état ou détecter l'émergence de tentatives dynamiques nouvelles consécutives à une dégradation en cours de développement.[2]

La mesure d'une vibration transmise par la structure d'une machine sous l'effet d'efforts dynamiques sera fonction de multiples paramètres

- Caractéristiques de fixation de la machine sur le sol qui oppose des réactions aux vibrations et modifie l'intensité
- Position et fixation d'une capture sur la machine
- Caractéristiques du capteur.
- Pré-amplification et transmission du signal.
- Vitesse de rotation et puissance absorbée.
- Etat des liaisons de la chaîne cinématique (alignement, balourd, engrenages, roulements etc.).

### 3.2.1 Objectif d'analyse vibratoire

L'analyse vibratoire poursuit deux objectifs :

- La détection des défauts
- L'analyse détaillée des défauts

On utilise à cet effet des paramètres calculés:

- Soit dans le domaine temporel
- Soit dans le domaine fréquentielle
- Soit dans les deux à la fois

#### a) *Les avantages :*

- Détection des défauts à un stade précoce
- Possibilité de réaliser un diagnostic approfondi
- Autorise une surveillance continue
- Permet de surveiller
- L'équipement à distance

#### b) *Les inconvénients*

- Spectre parfois difficile à interpréter
- Dans le cas de la surveillance continue, installation relativement coûteuse

### 4 Définition d'une vibration :

La norme ISO 2041 « Vibrations et chocs - Vocabulaire (Août 1990) » définit la notion de vibration : Variation avec le temps de l'intensité d'une grandeur caractéristique du Mouvement ou de la position d'un système mécanique, lorsque l'intensité est alternativement Plus grande et plus petite qu'une certaine valeur moyenne ou de référence. En fait, un corps Est dit en vibration lorsqu'il est animé d'un mouvement oscillatoire autour d'une position D'équilibre ou de référence. Les textes de normalisation AFNOR relatifs aux vibrations sont : NF E 90-001, NF E 90 002.[5]

### 5 Caractéristique d'une vibration :

Une vibration est principalement caractérisée par sa fréquence et son amplitude.

#### 5.1 fréquence :

La fréquence est le nombre de fois qu'un phénomène se répète dans un temps donné. Lorsque l'unité de temps sélectionnée est la seconde et la fréquence est exprimée en Hertz [Hz].

1 hertz = 1cycle/seconde.

#### 5.2 L'unité :

Si l'unité normalisée (unité SI) de la fréquence est le Hertz (Hz), beaucoup d'utilisateurs, notamment parmi les mécaniciens, préfèrent exprimer les valeurs en CPM (nombre de cycles par minute) ou encore en RPM (nombre de rotations ou révolutions par minute).

$$1\text{Hz} = 1 \text{ CPM} / 60 = 1 \text{ RPM} / 60$$

A noter qu'en cas de phénomènes de type aléatoire (cavitation de la pompe ou manque de lubrification des roulements), l'utilisation de RPM n'a aucun sens et peut même être source de confusion (en cas de défauts de courroie dont l'un n'est plus connu la rotation de la poulie menant ou menée) problème de fréquence ou problème de fréquence de passage de la courroie). Il est parfois intéressant d'exprimer les phénomènes liés à la rotation en multiples ou dans l'ordre de cette fréquence. L'avantage de cette formule est qu'elle relie le phénomène de vibration à une fréquence de référence (généralement la fréquence de rotation de l'arbre provoquant la vibration), et est capable de suivre l'amplitude de ses harmoniques (harmoniques = composantes dont la fréquence est un multiple de une fréquence donnée), ce qui est très intéressant lors de la surveillance du comportement vibratoire d'un appareil à vitesse de rotation variable.

#### 5.3 Amplitude :

On appelle amplitude d'une onde vibratoire la valeur de ses écarts par rapport au

point

D'équilibre et on peut définir :

- L'amplitude maximale par rapport au point d'équilibre appelée amplitude crête (**A<sub>c</sub>**) ou niveau crête.
- L'amplitude double, aussi appelée l'amplitude crête à crête (**A<sub>cc</sub>**) (*peak to peak*, en anglais) ou niveau crête-crête.
- L'amplitude efficace (**A<sub>eff</sub>**), aussi appelée **RMS** (*RootMean Square*) ou niveau efficace

## 6 Différents formes de vibration

### 6.1 Vibration harmonique

Une vibration harmonique est une vibration dont le diagramme amplitude-temps est représenté par une sinusoïde.

Le meilleur exemple d'une vibration harmonique est celle qui est générée par le balourd d'un rotor en mouvement.

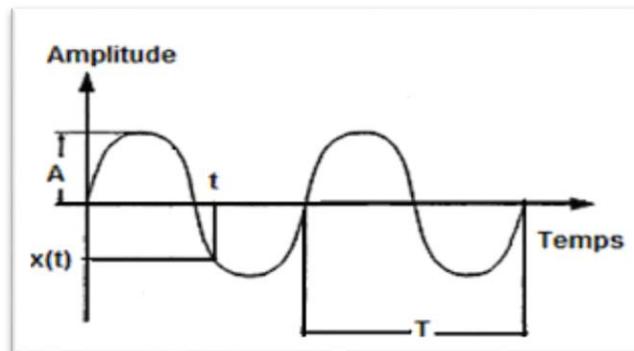


Figure II- 2:vibration harmonique

$$X(t) = X \sin(\omega t + \varphi)$$

$\omega$  = vitesse angulaire ou pulsation du mouvement ( $2\pi f$ )

$f$  = fréquence du mouvement

$\varphi$  = phase du mouvement par rapport à un repère dans le temps

## 6.2 vibration périodique

Une vibration périodique est telle qu'elle se reproduit exactement après un certain temps appelé période. Une telle vibration est créée par une excitation elle-même périodique. C'est le cas le plus fréquent rencontré sur les machines

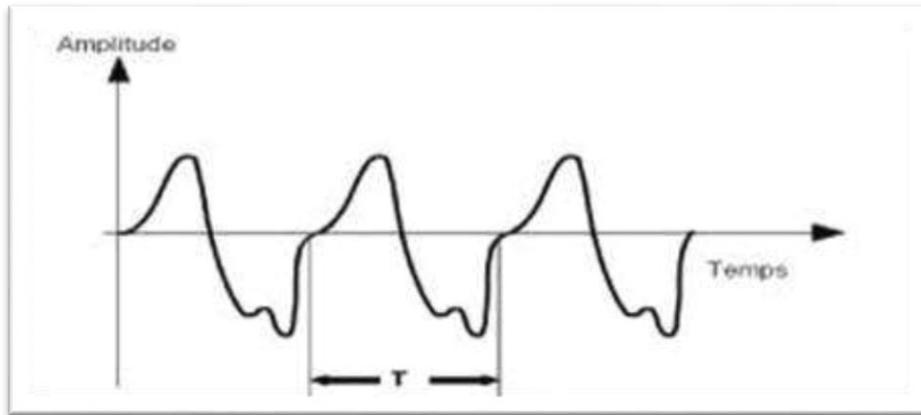


Figure II- 3:Vibration périodique

$$X(t)=\sum_{i=1}^n[x_i \sin(\omega t + \omega_i)]$$

## 6.3 Vibration apériodique

Une vibration périodique est une vibration dans laquelle le comportement temporel est aléatoire, c'est-à-dire qu'il n'y a pas de reproductibilité dans le temps. C'est le genre d'accident qu'un broyeur enregistre.



Figure II- 4:Vibration apériodique

$$X(t)=\sum_{i=1}^{\infty}[x_i \sin(\omega t + \omega_i)]$$

En fonction série fourrier on peut décomposer signaux périodique et les signaux apériodique à sous signaux harmonique pour résoudre l'équation de mouvement.

### 7 Application des vibrations :

La mesure des vibrations a une variété d'utilisations. D'une manière générale, toute vibration incontrôlée est un phénomène indésirable qui peut augmenter le bruit ou provoquer une défaillance mécanique prématurée. Quatre principaux domaines de mesure des vibrations peuvent être définis.

#### 7.1 Analyse structurelle :

C'est une méthode expérimentale efficace basée sur des mesures de vibrations pour déterminer le comportement dynamique d'une structure, allant des petites aubes de turbine aux grands ponts. Le signal d'excitation et la réponse vibratoire de la structure sont mesurés simultanément à l'aide d'un analyseur bi-canal ou multivoies et d'un capteur de force et d'un accéléromètre.

#### 7.2 Test de vibration :

Afin de vérifier la résistance réelle du produit à l'environnement et sa conception, des tests de vibration sont effectués en soumettant une structure (telle qu'une carrosserie de voiture) à des niveaux de vibration élevés à l'aide d'un agitateur. Le niveau de vibration reste constant dans une plage de fréquence définie. Des informations sur la réponse en fréquence de la structure sont obtenues.

#### 7.3 Surveillance de l'état des machines et diagnostic des défauts:

Dans sa forme la plus simple, une mesure du niveau de vibration global de la machine est utilisée pour indiquer tout problème imminent. En effet, les efforts internes d'une machine sont plus ou moins caractérisés par son état (ex : balourd). Cependant, pour une détection fiable et précoce d'un grand nombre de défauts, davantage d'informations sont souvent nécessaires : signatures de fréquences fondamentales et de haut niveau. La technique (décrite plus loin) consiste à mesurer les caractéristiques spectrales des vibrations de la machine en bon état et à surveiller tout changement dans les composantes spectrales. Ce changement reflète les modifications apportées aux éléments rotatifs et aux structures et permet le diagnostic des pannes.[3]

### 8 Les différentes représentations du signal :

si on décrit mathématiquement un signal sinusoïdal, nous obtenus :

$$X(t)=X\sin(\omega_0t + \varphi_0)$$

#### 8.1 Représentation temporelle

C'est une représentation en amplitude fonction temps. L'amplitude du signal vibratoire est représentée en fonction du temps. La figure montre un

Exemple de cette représentation pour un signal sinusoïdal.

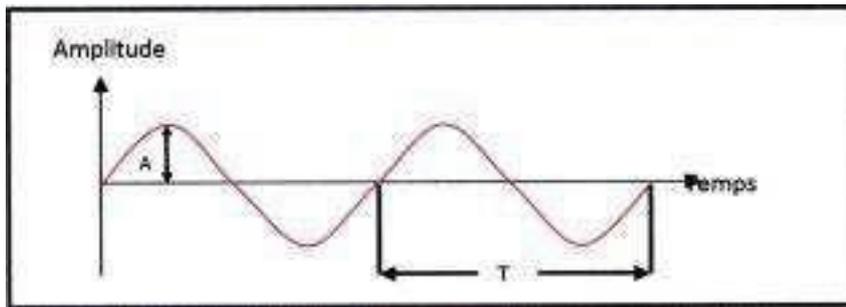


Figure II- 5:Représentation temporelle

## 8.2 Représentation spectre :

La notion fondamentale de l'analyse des fréquences est le spectre. Il s'agit d'une représentation d'un signal dont l'amplitude est déterminée non pas par le temps mais par la fréquence.

Si nous décrivons mathématiquement un signal sinusoïdal, nous obtenons :

$$a(t) = A \sin(\omega_0 t + \varphi_0)$$

ou :

Variable  $a(t)$  : c'est la valeur instantanée de la grandeur considérée

Module  $A$  : l'amplitude maximale du signal

**Période  $T$  : c'est l'intervalle de temps au bout du quelle variable  $x(t)$  reprend la même valeur dans la même direction**

Fréquence  $f$  : c'est le nombre de période par l'unité de temps

$$F = \frac{1}{T} \text{ Hz}$$

$\omega$  : La pulsation ( $\omega = 2\pi f$ ) (rd/s)

$\varphi$  : la phase instantanée  $t=0$

Pour décrire complètement ce signal, il suffit connaître :

Phase  $\varphi$  : elle est représentative du temps qui s'écoule entre une référence que l'on se donne et l'instant que l'on considère. Elle est exprimée en unité d'angle.

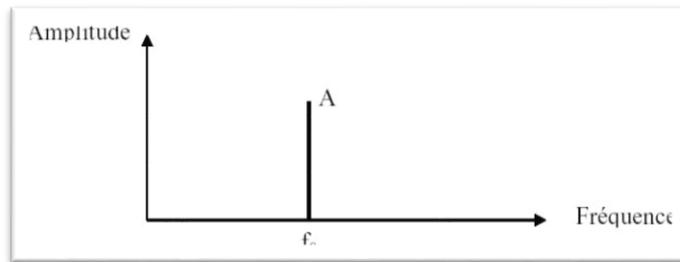


Figure II- 6:Représentation spectrale

### 8.3 Représentation d'un signal quelconque :

Un signal quelconque  $A(t)$  peut toujours être considéré comme la somme de Signaux sinusoïdaux :

$$A(t) = A_0 \cos(\omega_0 + \varphi_0) + A_1 \cos(\omega_1 + \varphi_1) + \dots + A_n \cos(\omega_n + \varphi_n)$$

La représentation temporelle de ce signal est souvent complexe et devient vite

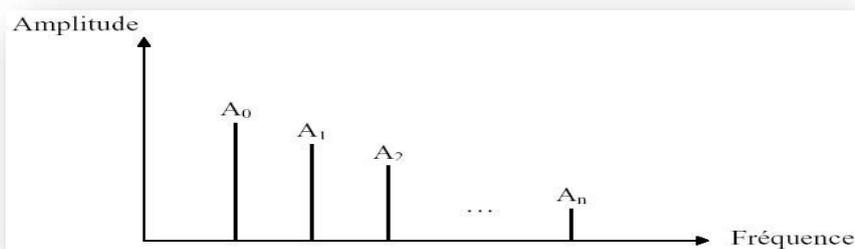


Figure II- 7:Représentation d'un signal quelconque

Inextricable. Seule la représentation spectrale convient dans ce cas

Représentation d'un signal quelconque

## 9 Origine des vibrations

### 9.1 Vibration des machines voisines :

Les sols et les bases de montage peuvent transmettre des vibrations d'une machine à l'autre. Si la machine voisine en question s'arrête, le pic spectral disparaît.

### 9.2 Vibration d'origines électrique :

Lorsqu'elles sont excitées par un champ électromagnétique, la vibration des parties métalliques du stator et du rotor peut produire des pics à des fréquences égales à la fréquence de l'alimentation et de ses harmoniques, et l'augmentation de ces pics peut être un signe de dégradation du moteur.

### 9.3 Résonance de la structure ou du rotor :

Chaque sous-ensemble de machines a une fréquence de résonance propre qui est fonction de

plusieurs paramètres, tels que la rigidité, la masse, la géométrie. Si la fréquence de toute excitation est proche de la fréquence de résonance, un pic apparaîtra dans le spectre.

### 10 Principes activité de l'analyse vibratoire

#### 10.1 Surveillance :

L'objectif est de suivre l'évolution de la machine en comparant les lectures successives de ses vibrations. Les tendances haussières de certains indicateurs par rapport aux valeurs de référence qui composent la signature alertent souvent les techniciens sur un éventuel dysfonctionnement.

#### 10.2 Diagnostic

Il utilise des instruments mathématiques plus sophistiqués. Il permet d'identifier un composant de machine défectueux en fonction des vibrations anormales détectées pendant la surveillance.

Le diagnostic n'est posé que lorsque le système de surveillance a détecté une anomalie ou un changement dangereux du signal vibratoire.

### 11 Les capteurs de détection de vibration

- Capteur de déplacement:

Aujourd'hui, le proximètre le plus utilisé pour la surveillance de machines est le capteur inductif à courants de Foucault. Ce capteur, représenté en figure 2.9, est relié à un émetteur- démodulateur-conditionneur.

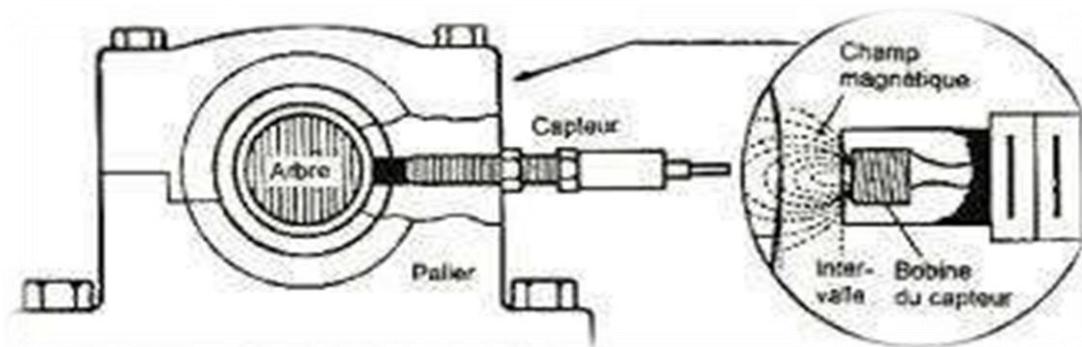


Figure II- 8: Proximètre monté sur un palier

- Capteur de vitesse:

Les capteurs de vitesse ou vélocimètres sont constitués d'une sonde à contact dite sondesismique qui mesure le mouvement absolu de l'organe sur lequel elle est fixée. Ce type de capteur présente l'avantage de ne nécessiter ni source d'alimentation ni préamplificateur.

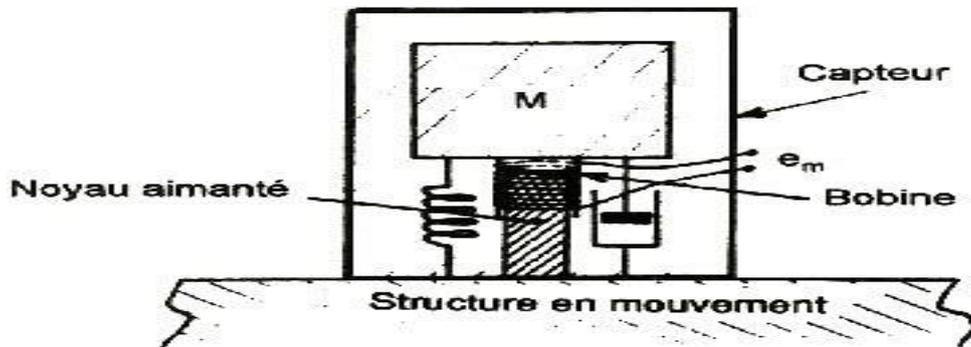


Figure II- 9:Vélocimètre

### 12 Les points de mesurage :

La majorité des vibrations de la machine sont causées par des parties tournantes ou oscillantes. Elles peuvent avoir une origine mécanique, électromagnétique ou hydraulique.

Ils sont transmis à la structure par les fixations, et aux fondations par les paliers, et aux fondations par les fixations. Les paliers sont facilement reconnus comme les meilleurs lieux de mesure dans le contexte de la maintenance des machines.

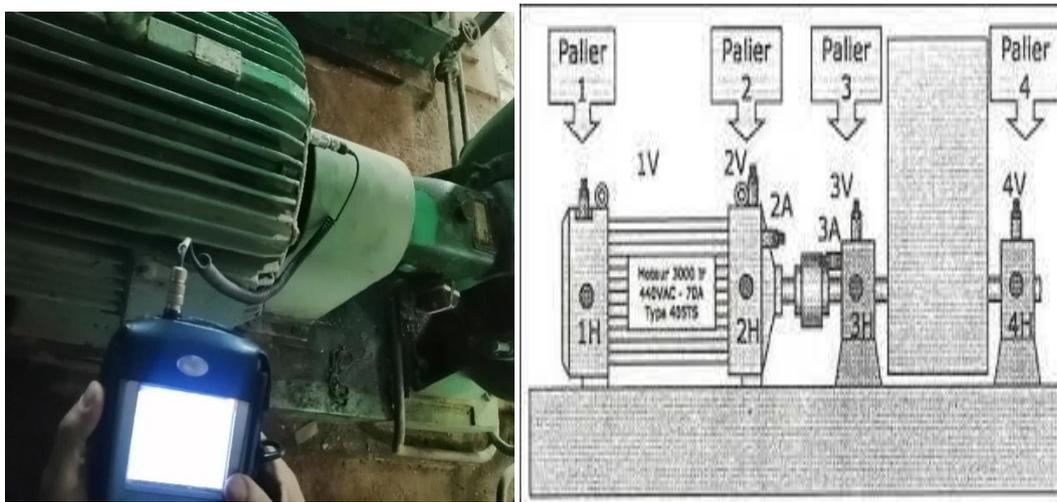


Figure II- 10:Les points de mesurages

Les mesures peuvent se faire :

- Dans un plan radial (vertical : V, horizontal : H)

- Dans un plan axial (axial : A)

La transmission de ces vibrations dépendra de plusieurs paramètres aux quels il faudra adapter la mode de mesurage.

- Palier a roulements : la transmissions des vibration aux palier est bons

Il suffira également d'utiliser un vélocimètre ou un accéléromètre pour mesurer les vibrations absolues des palettes.

- Palier à film : la transmission des vibrations aux paliers est mauvaise

Cette technique est plus délicate puisque l'installation des capteurs ainsi que la préparation de leur parcours de mesure doivent être planifiées par le constructeur de la machine.

### 13 Conclusion :

Les vibrations sont provoquées par des forces dynamiques à l'intérieur des machines qui comprennent des éléments roulants et des structures qui sont reliées à la machine.

Toutes ces théories sont extrêmement importantes dans le domaine de l'analyse vibratoire et du diagnostic des défauts :

- Etablir une analyse de maintenance conditionnelle.
- Soir les modes de vibration.
- Surveillance et diagnostiqué le défaut à l'aide des moyennes de détection de défaut.
- Voir les seuils d'alarme d'après les normes de vibration, et les différents défauts de vibration des machines tournantes.

# Chapitre III:

## Etude technologique et défaut

### De la pompe nourricière

## 1 Introduction :

Les pompe alimentaires figurent parmi les auxiliaires essentiels d'une centrale thermique tant par l'importance de la fonction qu'elles remplissent la production du couple moteur par la turbine est obtenue par la valeur provenant de la chaudière. En principe la chaudière est une génératrice qui permet de transformer l'eau de l'état liquide (l'eau de pompage) à

l'étatvapeursaturé, par conséquent la présence d'un système de pompage pour alimenter la chaudière n eau est primordiale voir même obligatoire.

## 2 Description technique :

Chaque compartiment de production est équipé de trois pompes alimentaires identiques, au cours de fonctionnement normal deux pompes sont en service et assurent 50% du débit d'eau nécessaire pour chacune ,la troisième pompe est présélectionner (en stand-by).[12]

La nomenclature normalisée (N° de série) de ces pompes est : 10RL12/22/32 OÙ 10 signifie la tranche roule compartiment, RL est la nomenclature de circuit eau d'alimentation, 12/22/32 est l'ordonnancement de ces pompes sur le site.

La pompe d'alimentation est un système composé de :

- Deux pompes ,la première nourricière et le second est la principale.
- Un moteur asynchrone.
- Un multiplicateur de vitesse.
- Un coupleur hydraulique.

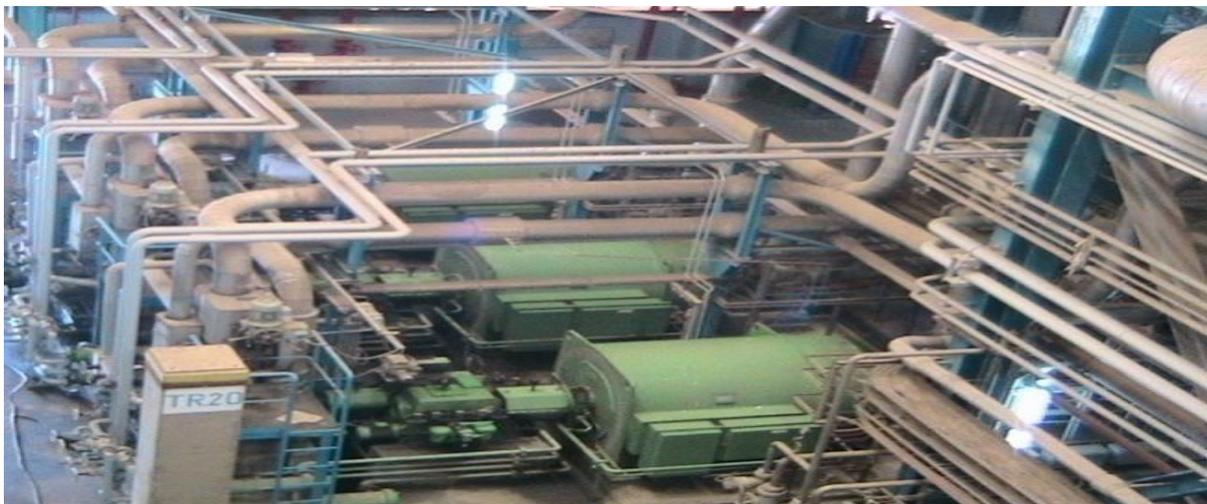


Figure III- 1:Photo de la pompe d'alimentation sur site

### 3 La pompe nourricière « BOUSTER » :

#### 3.1 Définition :

C'est une pompe centrifuge, son rôle est d'aspirer l'eau de la bêche alimentaire à 5 bar est d'alimenter la pompe principale à 10 bar. Elle est entraînée par un moteur électrique avec une vitesse constante.

#### 3.2 Fonctionnement de la pompe :

Les pompes centrifuges fonctionnaient suivant le principe d'une mise en rotation du fluide pompé dans une roue tournante à grande vitesse(600-3500tr/min).

À la sortie de la roue, le fluide est canalisé dans un diffuseur puis ralenti dans une volute, et la pression dynamique acquise au niveau de la roue (énergie de vitesse ou cinétique) est transformée en pression statique.[6]



Figure III- 2:La pompe nourricière

**tableau III- 1:caractéristique technique de la pompe nourricière**

Vitesse de rotation	N=1492tr/mn
Fluide reflue	(eaud'alimentationH <sub>2</sub> O
Température de fluide	T <sup>0</sup> =152 <sup>0</sup> c
Débit reflue	Q=261.6t/h
Pression d'aspiration	Pa=5bars
Pression de refoulement	Pr=11bars
Nombre d'étage	Un étage
Type du pallier N°1	Palier a roulement à billes[NU313]
Type de pallier N°2	Palier a roulement à rouleaux[7313B]
Poids de la pompe	808Kg
Haute refoulement	58m

### 3.3 System de refroidissement

Lorsque la pompe véhicule un liquide, qui sous pression atmosphérique et à température ambiante s'évapore, il est indispensable de refroidir la boîte à garniture pour éviter la marche à sec des tresses due à l'évaporation du liquide.

Le robinet de réglage du débit d'eau à prévoir sur la tuyauterie de sortie, devra être régler pour que l'échauffement de l'eau de refroidissement ne dépasse pas 15°C.

### 3.4 Lubrification de palier

Remplir le corps du palier par le trou de remplissage jusqu'à ce que l'huile arrive au trait repère du voyant. Lorsque un contrôle automatique du niveau d'huile a été livré avec la pompe, visserie dernier dans le trou correspondant et le remplir comme suite:

Abattre dans le réservoir et le remplir d'huile et basculer rapidement dans la position normale pour que l'huile s'écoule dans le corps de palier, répéter cette opération jusqu'à ce que l'huile ne s'écoule plus du réservoir, a ce moment le niveau d'huile désiré est atteint dans le corps de paliers.

- Le type de lubrification utilisé sur la pompe nourricière est la lubrification par bain d'huile.
- Les roulements et l'arbre est plongé directement dans l'huile.
- Le Corps de la pompe est plain jusqu'à la moitié.
- Le refroidissement d'huile se fait l'i picage de l'eau de refroidissement



## Chapitre 03 : Etude technologique et défaut de la pompe nourricière

tableau III- 2: Nomenclature de la pompe nourricière

Repère	Designation
10.2	Corps à volute
16.1	Fond de corps
18.3	Béquille
21.1	Arbre de pompe
23.0	Roue
32.1	Roulement à billes
32.2	Roulement à rouleaux
33.0	Corps- palier
36.0/ 01	Couvercle de palier
40.0/ 01/ 02/ 03/ 04/ 05/ 06	Joint plat
41.1/11/ 12/ 13/ 14/ 15/ 16/ 41	Joint circulaire
41.28	Joint torique
42.3/ 31	Racleur d'huile
45.2	Fouloir de presse-étoupe
45.7	Bague de serrage
46.1/ 11	Garniture de presse-étoupe
50.2/ 21	Bague d'usure
50.7/ 71	Défecteur
52.4	Chemise d'arbre
54.01	Douille de refroidissement
56.0	Goupille
63.8	Graisser à niveau constant.
67.2	Purge
68.0	Tôle défectrice
90.11	Vis à six pans
90.2/21/22	Goujon
90.3/ 31/ 32/ 33/ 35/ 36	Bouchon fileté
90.8	Vis à décollage
91.4/43/44	Vis à six pans creux
92.0/ 01/02/06	Ecrou
92.1	Ecrou à rainure
92.2	Ecrou de roue
93.0/01/02	Rondelle de blocage
93.21	Cire clips
94.0/ 01	Clavette

Les défauts vibratoires des machines tournants sont si compliqués qu'il est extrêmement difficile de les diagnostiquer sans d'abord connaître les symptômes vibratoires associés à chaque défaut (images vibratoires causées par ces défauts). En conséquence, afin de maîtriser les pannes, vous devez d'abord être en mesure de les identifier et de mesurer leur impact. Il s'agit donc de les analyser et de chercher un effet spécifique, ou la cause profonde d'un diagnostic.

### 4 Défaut de balourd

Un rotor est parfaitement équilibré si son axe principal d'inertie coïncide avec son axe de rotation. Dans d'autres cas, l'équilibre du rotor est affecté par un balourd, ce qui rend un équilibre parfait impossible. Il y a donc toujours des vibrations à la fréquence de rotation dont l'amplitude est proportionnelle à l'importance du balourd et proportionnelle à la vitesse de rotation.

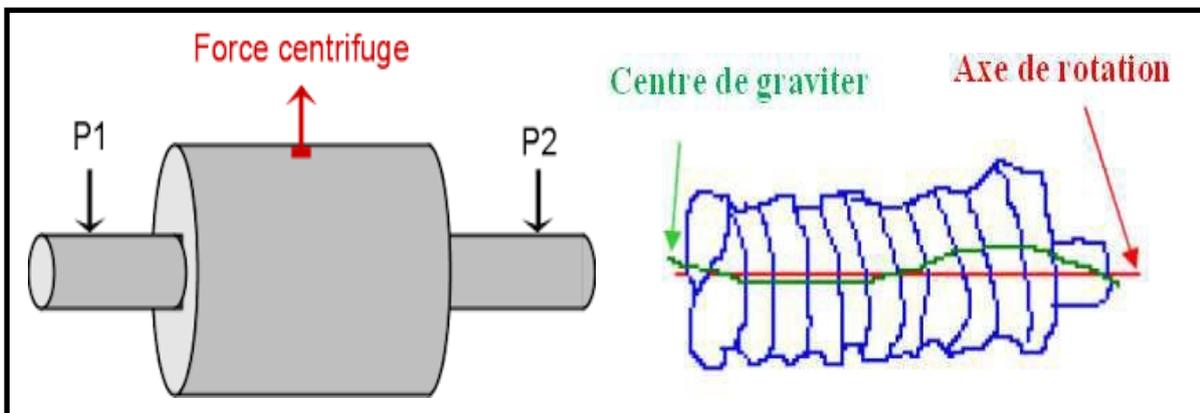


Figure III- 4:défaut de balourd

#### Défaut de balourd

Une variation brusque d'amplitude correspond systématiquement à une variation de balourd, qui peut avoir pour origine une partie fissurée ou déformée du rotor, ou si une telle variation d'amplitude est lente, une usure ou un encrassement des pièces tournantes. Ce phénomène se caractérise par des vibrations radiales prononcées aux fréquences de rotation. Le meilleur outil de détection de défaut est d'utiliser l'analyse vibratoire (analyse spectrale), d'utiliser un capteur de proximité (capteur à courant de Foucault) ou un accéléromètre avec intégrateur de signal, les deux mesures étant radialement déphasées de 90°. L'apparition d'une panne sera caractérisée par une vibration du rotor due à la force centrifuge.

$$F = m_b \omega^2 r_b \quad [\text{N}]$$

$m_b$  : masse théorique de balourd [kg]

$r_b$  : rayon théorique de balourd [m]

$\omega$  : Pulsation ou vitesse angulaire [rad/s]

## Chapitre 03 : Etude technologique et défaut de la pompe nourricière

---

F : Force centrifuge [N]

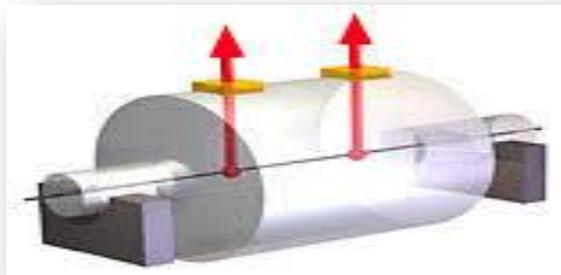
Suivant la répartition du balourd sur le long du rotor, on distingue trois types de balourd.

### 4.1 Types des balourds :

#### 4.1.1 Balourd d'origine mécanique :

##### 4.1.1.1 Balourd statique :

Deux balourds (représentés ici par des flèches) peuvent avoir les mêmes dimensions, la même position angulaire et la même distance au centre de gravité. La même chose peut aussi agir sur le centre de gravité avec un balourd deux fois plus important, en l'occurrence au milieu du rotor.



**Figure III- 5:Balourd statique**

Si vous mettez un tel rotor sur deux pales, il oscillera jusqu'à ce que la "pointe" soit en bas. C'est pourquoi ce balourd qui fonctionne sans rotation est appelé "balourd statique". Cela provoque le déplacement du point central de masse par rapport au milieu géométrique et fait vibrer le rotor en fonctionnement parallèlement à son axe de rotation. Le balourd statique est de préférence compensé dans le plan du centre de gravité. Pour ce faire, supprimez ou ajoutez du matériel du "focus" à l'opposé. La correction de balourd statique à plan unique implique principalement des rotors à disque. Pour ce type d'équilibrage, les machines d'équilibrage verticales sont les meilleures.

##### 4.1.1.2 Balourd couple :

Deux balourds (représentés ici par des flèches) peuvent certes avoir la même valeur, mais être décalés exactement de  $180^\circ$  l'un par rapport à l'autre dans leur position angulaire.

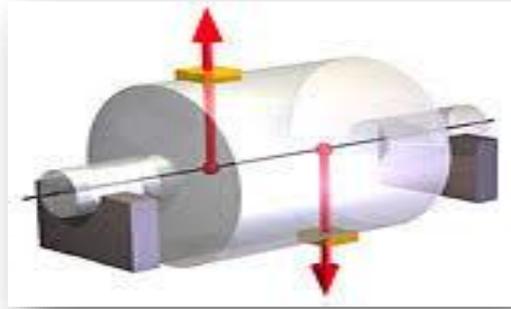


Figure III- 6:Balourd couple

Cette répartition déséquilibrée n'est plus détectable par oscillation, et le rotor fixe n'a plus de position préférentielle. Un rotor en rotation crée un mouvement de " culbutage " autour de son axe de rotation (perpendiculaire à l'axe de rotation) car les deux balourds exercent un couple. Cette répartition déséquilibrée est appelée couple déséquilibré. Pour corriger le couple de balourd, il faut un couple opposé, c'est-à-dire que deux balourds corrigés de même valeur correspondent au balourd d'origine décalé de  $180^\circ$  et sont placés sur les deux plans de correction. Le couple déséquilibré doit être pris en compte, en particulier si le rotor est un cylindre allongé. Les équilibreuses horizontales sont particulièrement adaptées à ces situations.

### 4.1.1.3 Balourd dynamique :

En réalité, le rotor a plus d'un balourd, bien qu'en théorie, un grand nombre d'entre eux sont répartis aléatoirement le long de l'axe de rotation.

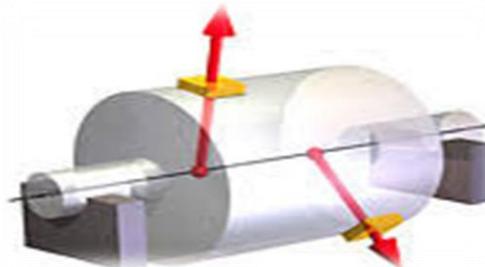


Figure III- 7:Balourd dynamique

Deux balourds résultants (représentés ici par flèches) sont placés dans deux plans différents et ont des valeurs et des angles différents en général. L'état de ce balourd ne peut être vu que dans la rotation, d'où il est appelé un balourd dynamique.

Il est composé d'un balourd statique et de quelques balourds, l'un ou l'autre ayant préséance. Afin de corriger complètement un équilibre dynamique, deux stratégies de compensation sont nécessaires. Tous les rotors, à tout le moins, ont un balourd dynamique. Dans

ce cas, les machines d'équilibrage horizontal et vertical sont appropriées.

### 4.1.2 Balourd d'origine thermique :

#### 4.1.2.1 Déformation des rotors de la turbine :

Lorsque le rotor n'est pas uniforme ou que la distribution de température n'est pas uniforme, le rotor se déforme sous l'action d'une contrainte thermique. S'ils se déforment asymétriquement, le centre de gravité se déplace et la force change. Les critères de diagnostic sont alors basés sur la corrélation entre les changements de température et l'évolution des vibrations. Le taux de développement fournira des informations sur l'origine du défaut.

#### 4.1.2.2 Déformation des rotors d'alternateurs ou de moteurs électriques :

Comme indiqué précédemment, la non-homogénéité du rotor peut entraîner des déformations. Il est nécessaire de refroidir les rotors en raison de la grande quantité d'énergie dissipée par l'effet Joule ou par hystérésis. Lors d'un changement de puissance, chaque dissymétrie de débit (canaux de ventilation bloqués ou différentes pertes de charge) se traduira par un changement de vibrations. Les vibrations sont donc fonction du chauffage, qui est déterminé par l'intensité du courant dans le rotor, ainsi que la température du fluide de refroidissement ou sa pression. Dans le cas d'un court-circuit entre les spires, provoquant une dissymétrie de chauffage, un effet similaire peut être atteint. Pour déterminer la cause de la déformation, d'autres mesures électriques (isolement, résistance interne ou courants) doivent être ajoutées à l'information précédente.

### 4.1.3 Balourd évolutif :

Si au passage par un orifice (palier, joint d'étanchéité par exemple) l'arbre s'échauffe de manière dissymétrique, soit parce qu'il frotte, soit parce que le brassage d'huile provoque un échauffement plus intense d'un côté de l'arbre que de l'autre si de plus.

La déformation de l'arbre qui résulte de cet échauffement déplace à son tour le point chaud (vibration maximum décalée par rapport au point chaud qui lui donne naissance), alors, toutes les conditions sont réunies pour amorcer un phénomène de variations cycliques du déséquilibre.

La mise en équation du mouvement montre que la trajectoire du vecteur représentant la vibration à la fréquence de rotation  $F_r$  est une spirale amortie ou divergente selon la position des vitesses critiques, ou plus exactement selon la valeur de l'angle que fait la vibration (déplacement) avec la force qui lui donne naissance (balourd créé par l'échauffement).

Le décalage du point d'échauffement s'explique parce qu'il y a déphasage entre la déformation et la force qui la crée. Ce déphasage est celui qui existe par exemple entre un balourd et la vibration qu'il induit :

- il est nul à basse vitesse;
- il est égal à  $\pi/2$  à la vitesse critique
- il est égal à  $\pi$  aux vitesses élevées

### 5 Défaut d'alignement :

Le défaut d'alignement est l'écart de position relative de l'arbre par rapport à l'axe colinéaire de rotation lorsque la machine tourne dans des conditions normales de fonctionnement.

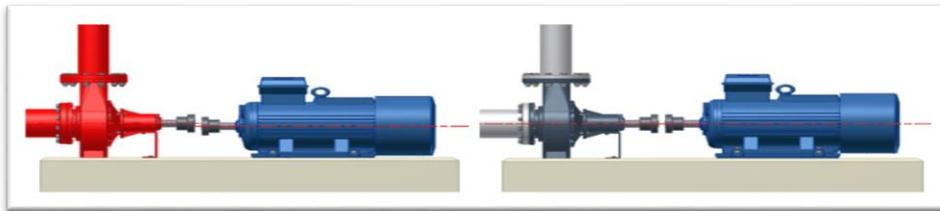


Figure III- 8: Défaut d'alignement d'arbre

#### 5.1 Les types de désalignement :

##### 5.1.1 Désalignement radial :

Un mauvais alignement est révélé par un pic d'amplitude prépondérante généralement 2 fois la fréquence de rotation (parfois 3 ou 4 fois). Il apparaît une vibration dans la direction radiale de composante d'ordre 2 de la fréquence de rotation (rarement d'ordre 3, voire exceptionnellement d'ordre 4), avec des amplitudes supérieures aux composantes d'ordre 1.

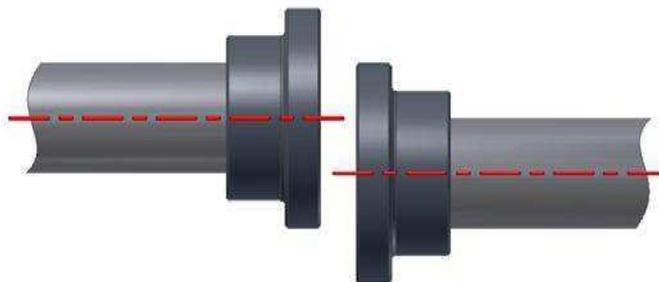
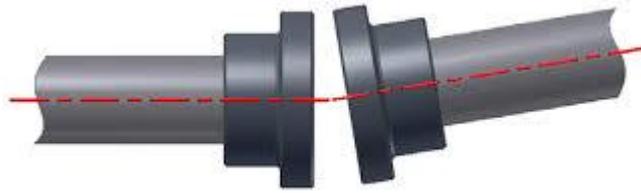


Figure III- 9: Désalignement parallèle

##### 5.1.2 Désalignement angulaire :

Vibration axiale avec composante d'ordre 1, 2, 3 ou 4 de fréquence de rotation. L'amplitude est supérieure à l'amplitude de la composante radiale correspondante.



**Figure III- 10:Désalignement angulaire**

### 5.2 Ambiguïtés de diagnostic:

Le défaut de lignage peut n'apparaître qu'en fonctionnement, sous l'effet de la charge. Les causes peuvent être :

- Déformation du stator
- Efforts dissymétriques sur le rotor
- Calage du rotor (machine à paliers lisses)
- Déformation de la structure porteuse
- Blocage d'accouplement

D'autres phénomènes peuvent donner lieu à des manifestations vibratoires similaires :

- Balourd important
- Chocs périodiques à la fréquence de rotation

## 6 Défaut des roulements :

Les roulements sont les pièces les plus sensibles des machines tournantes. Sa durée de vie est une statistique qui caractérise le nombre de cycles. Le nombre de cycles est le nombre de tours qu'il peut effectuer lorsqu'il est soumis à une contrainte spécifique avant qu'un défaut d'écaillage n'apparaisse sur la surface de contact. De manière générale, l'usure des roulements est difficile à décrire théoriquement en raison de la complexité des mécanismes mis en jeu et de leurs interdépendances. En réalité, les mécanismes d'usure ne se produisent jamais seuls, mais un ensemble de mécanismes peut entraîner la dégradation d'un roulement et raccourcir sa durée de vie.

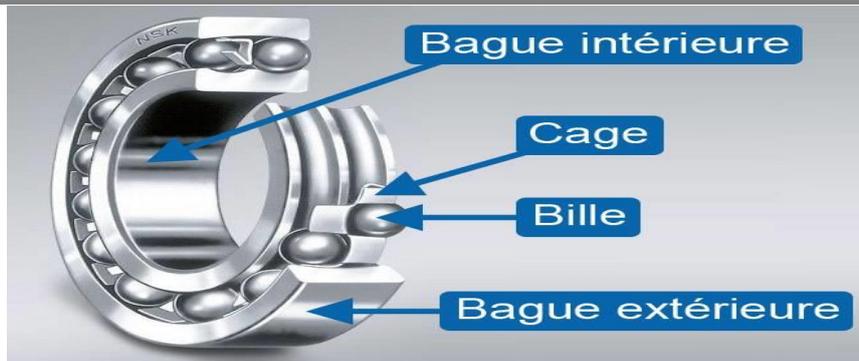


Figure III- 11: constitution d'un roulement

### 6.1 Fréquence caractéristique :

Les roulements sont l'un des composants les plus sollicités des machines et sont une source courante de défaillance. Les défauts pouvant être rencontrés sont les suivants : pelage, grippage, corrosion (provoquant un écaillage), etc. Dans la plupart des cas, la dégradation provoque l'éclatement d'une des pistes ou des éléments roulants du roulement, créant un choc à chaque passage. Les roulements défectueux produisent des vibrations dont la fréquence est égale à la vitesse de rotation de chaque partie du roulement. Ils correspondent notamment à la rotation des billes, galets ou cages et au passage des billes sur les anneaux.

Pour chaque type de roulement, selon ses dimensions de fabrication, les fréquences propres données par les équations suivantes peuvent être considérées.

- $n$  : le nombre d'éléments roulants (billes, rouleaux ou aiguilles),
- $D$  : le diamètre primitif,
- $d$  : le diamètre des éléments roulants,
- $\alpha$  : angle de contact,
- $F_r$  : la fréquence de rotation de la bague interne (la bague externe étant supposée fixe)

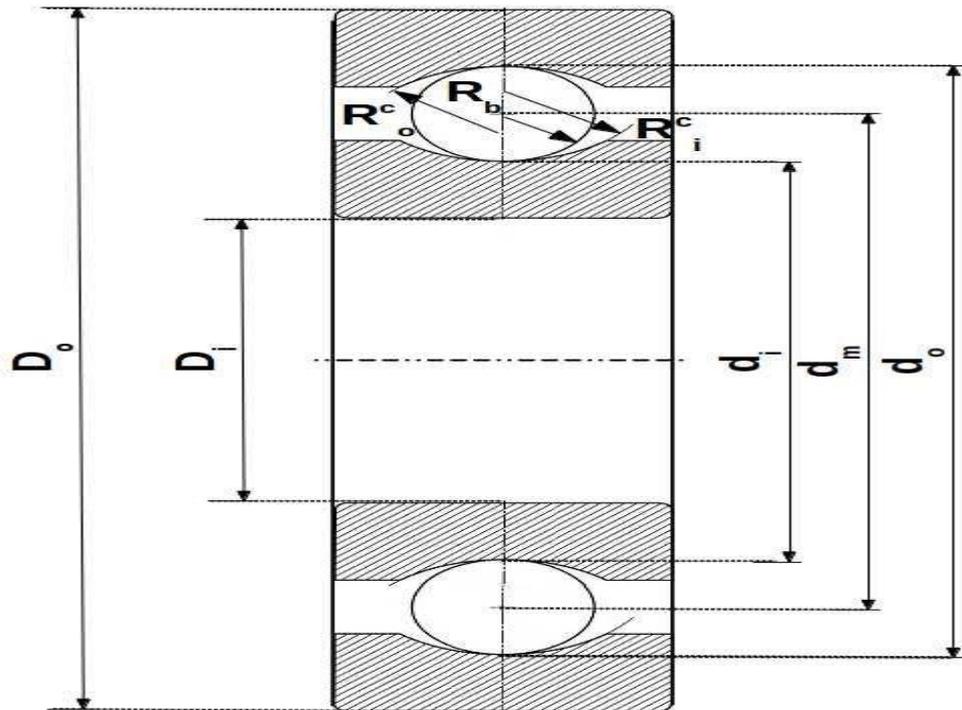


Figure III- 12:Caractéristiques géométriques d'un roulement

Ainsi nous avons :

- La fréquence de passage d'un élément roulant sur un défaut de bague extérieure,  $F_{b\ ext}$  est donnée par l'équation suivant :

$$F_{b\ ext} = 0.5 F_r n \left[ 1 - \left( \frac{d}{D} \cos \alpha \right) \right]$$

- La fréquence de passage d'un élément roulant sur un défaut de bague intérieure, supposée montée sur l'arbre tournant,  $b_{n\ int}$  est donnée par l'équation suivante:

$$b_{n\ int} = 0.5 F_r n \left[ 1 + \left( \frac{d}{D} \cos \alpha \right) \right]$$

- La fréquence de passage d'un défaut de cage "F cage" est donnée par l'équation suivante :

$$F_{cage} = 0.5 F_r \left[ 1 - \left( \frac{d}{D} \cos \alpha \right) \right]$$

- La fréquence de passage d'un défaut de bille (ou de rouleau) sur la bague externe ou sur la bague interne  $F_{bille}$  est donnée par l'équation suivante:

$$F_{bille} = 0.5 F_r \frac{D}{d} \left[ 1 - \left( \frac{d}{D} \cos \alpha \right)^2 \right]$$

- Un défaut situé sur une bille entre en contact avec la bague intérieure ainsi qu'avec la

## Chapitre 03 : Etude technologique et défaut de la pompe nourricière

---

bague extérieure à chaque révolution de la bille. La fréquence du défaut sera donc:

$$2F_{bille} = F_r \frac{D}{d} [1 - (\frac{d}{D} \cos \alpha)^2]$$

### 6.2 Cause des défauts de roulement:

- Les roulements peuvent être endommagés par des causes externes comme:  
Contamination du roulement par des particules extérieures: poussière, grains de sable,...
- Corrosion engendrée par la pénétration d'eau ,d'acides,
- Lubrification inadéquate qui peut causer un échauffement et l'usure du roulement
- Courant qui traverse le roulement et qui cause des arcsélectriques.
- Installations inexacte du roulement : en forçant incorrectement le roulement sur l'arbre du rotor ou dans les flasques.

Suivant l'emplacement géométrique des défauts dans le roulement, nous pouvons distinguer les types de défauts suivant :

- Défaut de bague extérieure
- Défaut de bague intérieure
- Défaut de bille
- Défaut de cage

## 7 Défaut de paliers :

Dans ce palier, l'arbre est en équilibre sur un film d'huile maintenu par la rotation. La position d'équilibre est définie par l'angle de pas, qui est l'angle formé par la ligne au centre et la direction de la charge au milieu de l'arbre du roulement. L'angle de coin dépend de la technologie de roulement et a une grande influence sur la stabilité de la machine.

### 7.1 Instabilité de palier :

Des instabilités de l'arbre dans le palier peuvent apparaître sous l'effet de variations de certains paramètres tels que :

- Le poids de rotor
- La force liée à la pression et des caractéristiques de l'huile

## Chapitre 03 : Etude technologique et défaut de la pompe nourricière

---

- La charge de la machine
- La vitesse de rotation

L'instabilité se manifeste par une vibration auto-entretenue qui entraîne une précession du rotor, avec une période différente de la période de rotation, dont la fréquence est :

$$0.23F_0 < F_{\text{instabilité}} < 0.63F_0$$

Selon la technologie de palier

### 7.2 Les types d'instabilité :

Il y a deux types d'instabilité

- **Le tournoiement d'huile (Oil Whirl)** : instabilité dans la fréquence variée avec la fréquence de rotation du rotor
- **Le fouettement d'huile (Oil Whip)** : Instabilité dont la fréquence coïncide avec la vitesse critique correspondant à la première pulsation propre du rotor

### 7.3 Origine des instabilités :

Les instabilités de paliers peuvent apparaître au cours des phases transitoires des machines tournant à vitesse élevée. Elles peuvent être observées sur des acquisitions spectrales en cascade.

### **8 Conclusion :**

D'après l'étude descriptive qu'on a faite sur la pompe nourricière « BOUSTER » on a constaté que cette dernière est un organe vital pour une tranche de production de l'électricité dans la centrale thermique de RAS-DJINET.

**chapitre IV:**  
**étude**  
**expérimentale**  
**des défauts survenant**  
**de la pompe**  
**nourricière**

## 1 But du travail :

L'objectif du travail présenté ici est d'appliquer la surveillance (off line) par analyse vibratoire sur la pompe RL pour diagnostic son état, et de voir l'évolution vibratoire de la pompe avant et après révision.

## 2 Matériel utilisé :

Le service **DIAGNOSTIC MACHINES** de la centrale thermique de Cap Djinet utilise un système appelé **One prod** pour la maintenance conditionnelle (détections des défauts des machines tournantes à traverses les vibrations). Ce système est composé d'un collecteur de données appelé **MVP-200**, qui permet de faire l'acquisition du signal vibratoire généré par les vibrations d'une machine. Les données acquises stockées dans une carte seront transmises, vers le logiciel **XPR-300**, qui fait le traitement du signal et l'analyse des tendances.

### 2.1 Capteur de vibration :

C'est un accéléromètre **ASH201-A** de type piézoélectrique raccordé au collecteur analyseur **MVP-200**. On utilise ce capteur pour mesurer l'accélération vibratoire.

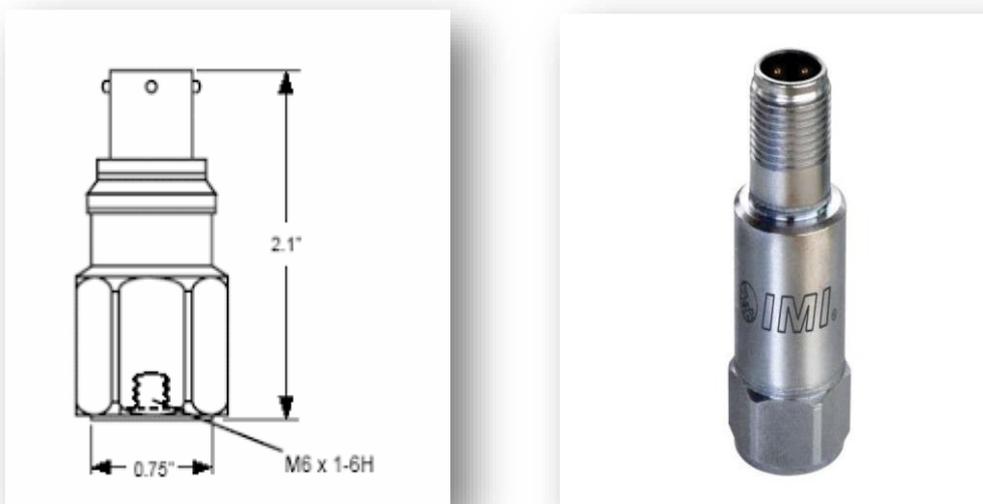


figure IV- 1: Accéléromètre ASH201-A

### 2.1.1 Caractéristique technique :

- ✓ Marque: Nemrod
- ✓ TYPE: ASH201-A
- ✓ Principe :Piézo-électrique avec amplificateur de chargeintégré
- ✓ Mode de fixation :Vissage ,Aiman tout Point de touche
- ✓ Facteur de transmission: 100mV/g
- ✓ Plage de fréquence: 1–9 000 Hz ( $\pm 10\%$ )-0.5–14 000 Hz ( $\pm 3$  dB)
- ✓ Fréquence propre:30 kHz
- ✓ Plage de température:-50 ...+120 °C

### 2.2 Analyseur MVP-200 :

Le **MVP-200** est un appareil d'acquisition pratique: des mesures globales de vibrations ,de paramètre de procédé, de signaux temporels et des spectres.

Le **MVP-200c** est un collecteur de donnée portable. Il permet la collecte des données vibratoire qui seront transférés dans un micro-ordinateur par l'intermédiaire d'une carte.



figure IV- 2:Analyseur MVP-200

### 2.2.1 Caractéristique technique :

- ✓ Marque: Nemrod
- ✓ Type: MVP-200
- ✓ Modes de fonctionnement:
  - Mode analyseur de spectre
  - Fonction enregistreur(Temps)
  - Mode collecteur de données

### 2.3 Logiciel de diagnostic et d'analyse XPR-300 :

Le logiciel XPR-300 Logiciel permet d'exploiter les données de mesure de la carte, pour apprécier l'état des machines, faire le diagnostic des défauts et réaliser la maintenance conditionnelle.

- ✓ **Rapidité de configuration** Modèles, base roulements, copier/coller, modification parlote.
- ✓ **Multi technique** : Vibration, Procès, Huile, Thermographie
- ✓ **Modules de base**: En ligne (One pro DMVX), Hors ligne (One pro DMVP)

## 3 Etude de cas :

Dans notre travaille nous avons étudié pour chaque la pompe nourricière les défauts courant.

### 3.1 Les points des mesures :

La localisation des défauts pour les différents cas des vibratoires de circuit RL sont mesurées à partir des point mesures (pallier) dans trois direction verticale, axial et horizontal qui sont données par le tableau :

tableau IV- 1:Point de mesure

N° Pallier	Type de pallier	Equipement
P1	Roulement à billes [NU313]	Pompe nourricière
P2	Roulement à rouleaux [7313B]	Pompe nourricière

### 3.2 Les défauts au niveau de la pompe nourricière (BOUSTER) :

Le défaut le plus courant au niveau de la pompe nourricière est le défaut de roulement.

tableau IV- 2:Niveau global dans les points de mesures

VEP	PAL1AX	PAL1RH	PAL1RV	PAL2RH	PAL2RV
Ng:Accélération	2.93	3.32	4.39	4.66	6.09
Ng:Vitesse Vibratoire	2.34	3.74	9.07	10.9	9.97

### 3.2.1 Mesures de niveau global avant l'intervention

Niveau global dans les points de mesures

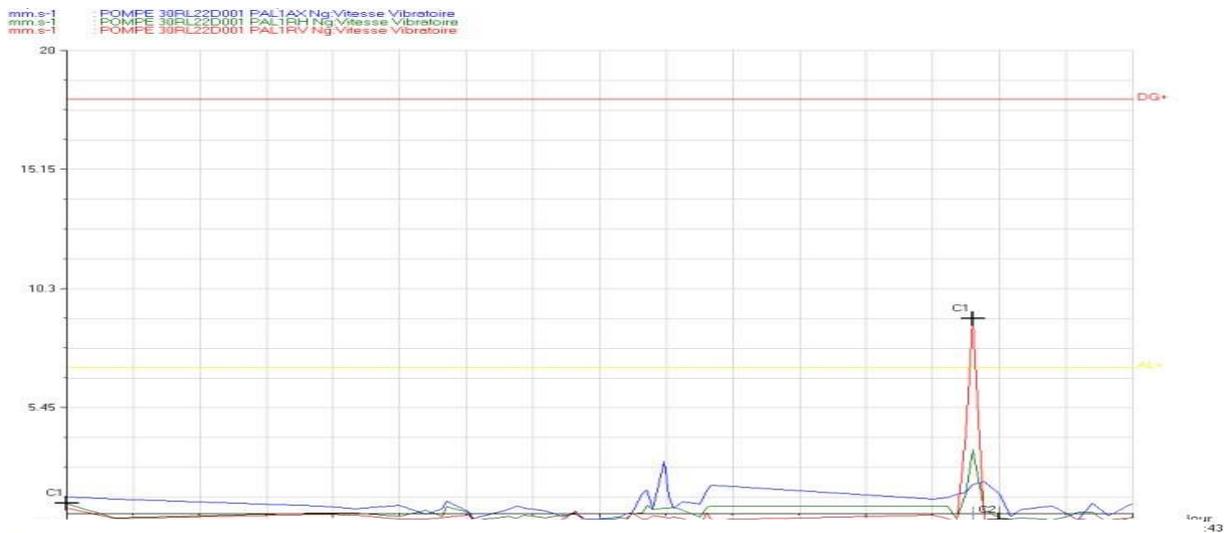


figure IV- 3:Signale temporel palier 1

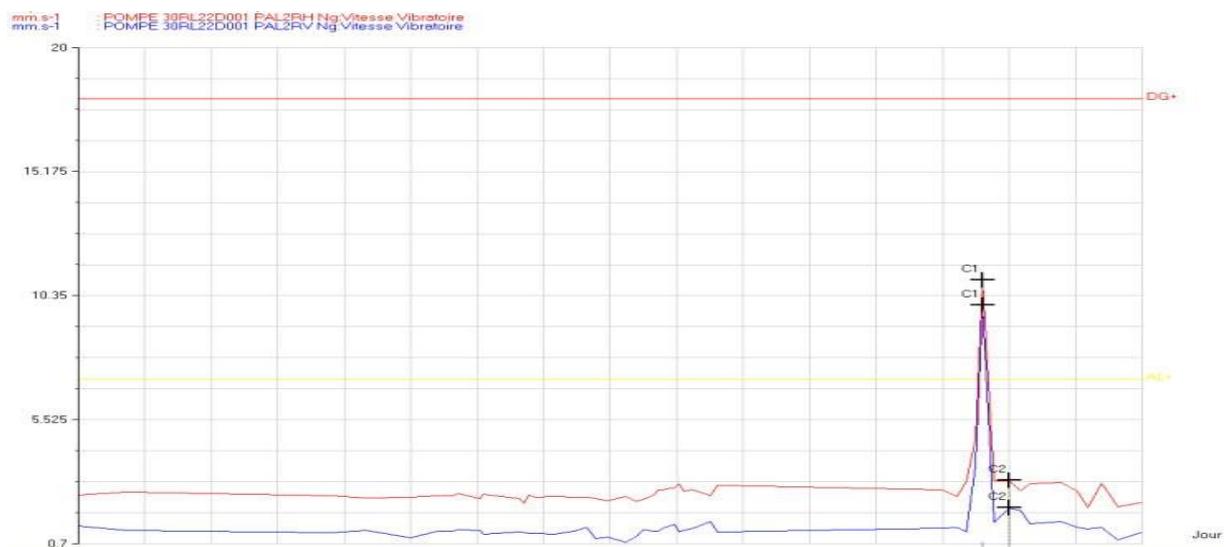


figure IV- 4:Signale temporel palier 2

### 3.2.2 Interprétation des résultats :

D'après la norme AFNOR E90-300, la pompe nourricière classée dans le groupe 04.

-Pallier 1 :

Les niveaux de vibration de (PAL1AX) et (PAL1RH) sont admissibles par rapport à la norme, mais le niveau de vibration de (PAL1RV) dépasse l'alarme.

-Pallier 2 :

Les niveaux de vibration de (PAL2AX) et (PAL2RV) dépassent l'alarme.

Pour déterminer l'origine de ce défaut qui a causé le dépassement, on passe à l'analyse fréquentielle.

### 3.2.3 Analyse spectrale de la pompe :

#### ✓ Calcul de la fréquence de rotation :

Pour compléter les démarches de l'application de l'analyse spectrale, il faut déterminer les fréquences sous lesquelles les anomalies et les défauts peuvent apparaître.

**tableau IV- 3: Les fréquences caractéristiques de la pompe booster**

Défaut		Fréquence caractéristique	Valeur (Hz)
Balourd		$f_b = f_r$	25
Désalignement		$f_d = 2 * f_r$	50
Roulement Pallier 1	Cage	$f_c = \frac{N}{2 * 60} \left( 1 - \frac{d_b}{D_m} \cos \beta \right)$	08
	bille	$f_b = \frac{D_m N}{d * 60} \left( 1 - \frac{d_b^2}{D_m^2} \cos^2 \beta \right)$	130
	Bague Externe	$f_e = \frac{N * n}{2 * 60} \left( 1 - \frac{d_b}{D_m} \cos \beta \right)$	122
	Bague Interne	$f_i = \frac{n * N}{2 * 60} \left( 1 + \frac{d_b}{D_m} \cos \beta \right)$	177.70

Roulement Pallier 2	Cage	$f_c = \frac{N}{2 * 60} \left( 1 - \frac{d_b}{D_m} \cos \beta \right)$	10.5
	bille	$f_b = \frac{D_m N}{d 60} \left( 1 - \frac{d_b^2}{D_m^2} \cos^2 \beta \right)$	104.25
	Bague Externe	$f_e = \frac{N.n}{2.60} \left( 1 - \frac{d_b}{D_m} \cos \beta \right)$	123.65
	Bague Interne	$f_i = \frac{n.N}{2 * 60} \left( 1 + \frac{d_b}{D_m} \cos \beta \right)$	177

✓ Spectre avant l'intervention :

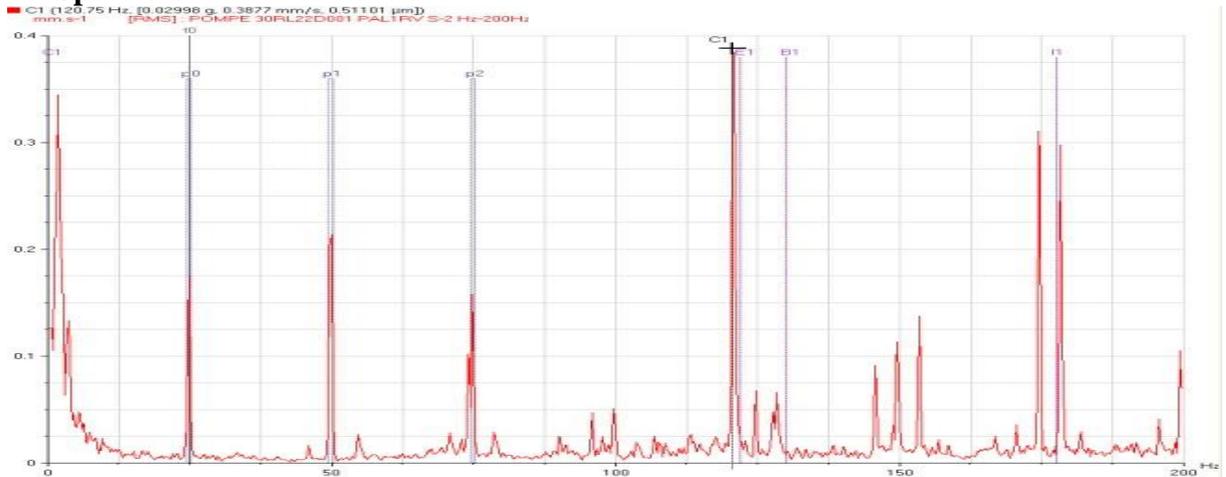


figure IV- 5: Spectre de vibration de la pompe nourricière au niveau de PAL1RV avant l'intervention

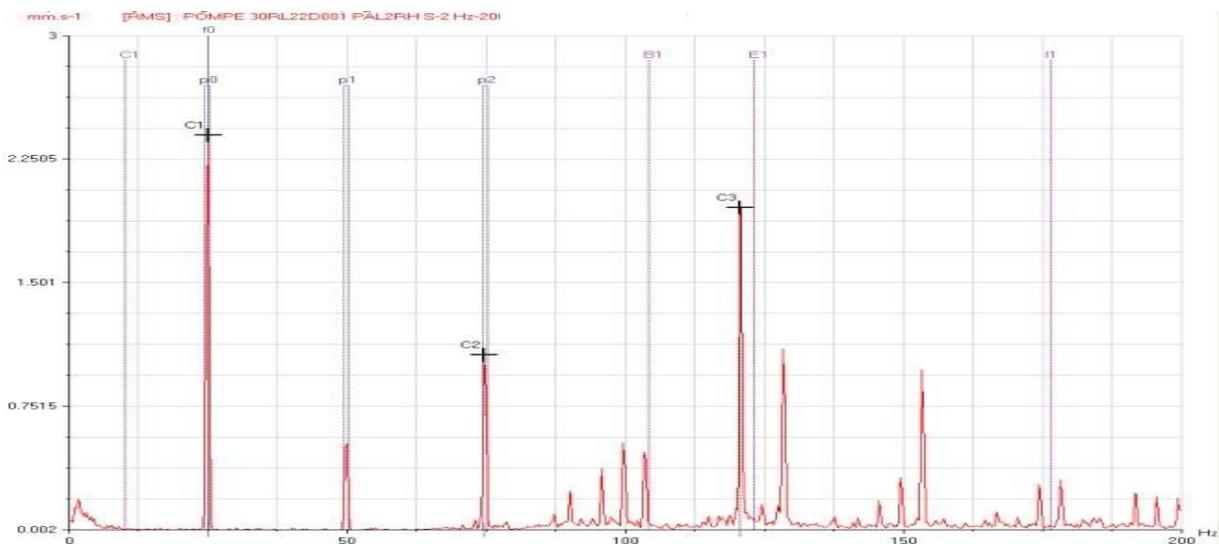


figure IV- 6: Spectre de vibration de la pompe nourricière au niveau de PAL2RH avant l'intervention

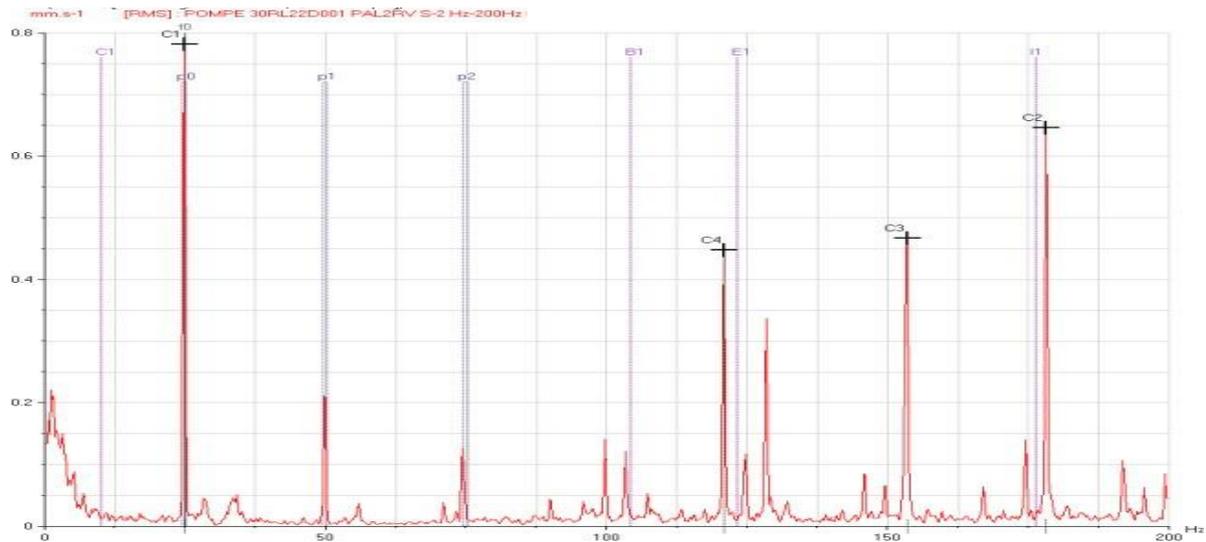


figure IV- 7: Spectre de vibration de la pompe nourricière au niveau de PAL2RV avant l'intervention

### 3.2.4 Interprétation résultat :

#### - Pallier01

On remarque la présence d'un pic important qui coïncide avec la fréquence 120,75 Hz, ce qui montre que cette élévation est produite par un défaut de bague externe.

Un deuxième pic qui coïncide avec la fréquence 177,75 Hz, ce qui montre que cette élévation est produite par un défaut de bague interne.

#### Pallier 02

**RH:** On remarque la présence d'un pic important (C1) qui coïncide avec la fréquence 25 Hz, ce qui montre que cette élévation est produite par un défaut de balourd.

Un deuxième pic (C3) qui coïncide avec la fréquence 120,75 Hz, ce qui montre que cette élévation est produite par un défaut de bague externe.

**PAL2 RV :** On remarque la présence d'un pic important (C1) qui coïncide avec la fréquence 25Hz, ce qui montre que cette élévation est produite par un défaut de balourd.

Un deuxième pic (C4) qui coïncide avec la fréquence 121 Hz, ce qui montre que cette élévation est produite par un défaut de bague externe.

Un troisième pic (C2) qui coïncide avec la fréquence 178,25 Hz, ce qui montre que cette élévation est produite par un défaut de bague interne.

### 3.2.5 Intervention dans la pompe nourricière :

#### 3.2.5.1 Gamme de travail :

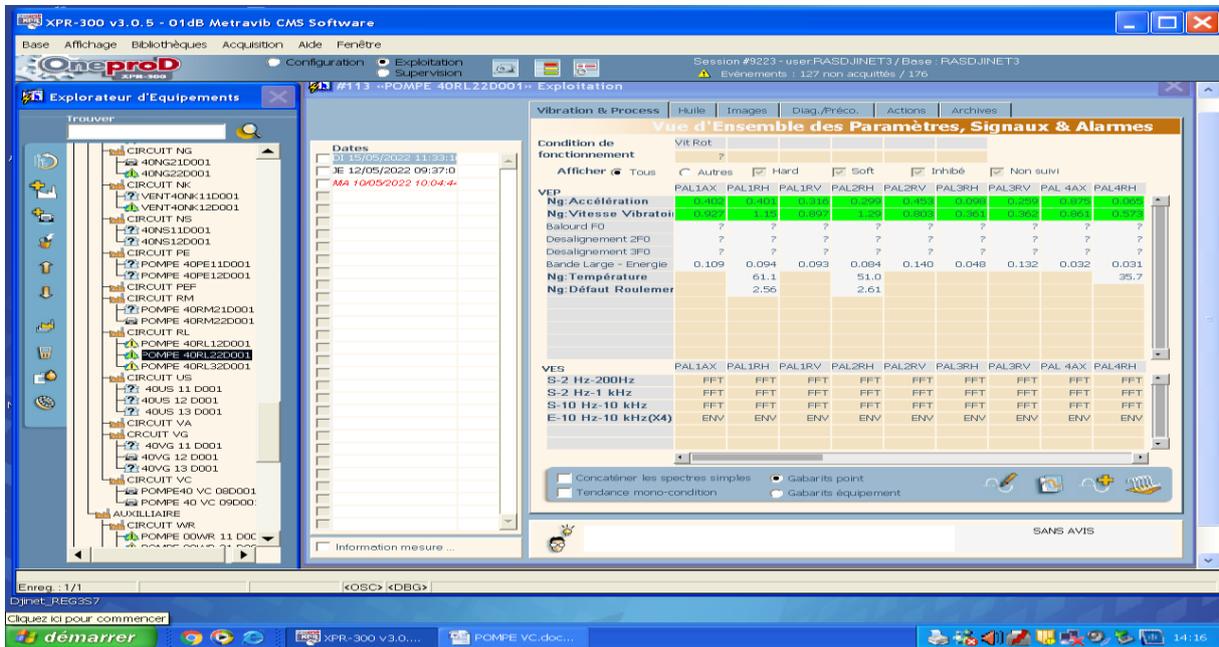
tableau IV- 4: gamme de travail

..RL..D001		Gamme de travail			Révision générale
05/05/2022		POMPE NOURICIERE			Groupe N°=04
Durée : 4j					
Phases	Nature de travail à effectuer	outillage	Pièces à changer	observation	
01	-Consignation du groupe moto-pompe		-8 joints circulaires -Un joint torique -(2) bagues d'usure -12 anneaux à tresse	-Les roulements doivent chauffer dans un bain d'huile à 80°C, avant le démontage et avant le remontage sur l'arbre  -Le jeu axial de la partie tournante doit être de : 0,1 à 0,5 mm  -Le fouloir de presse-étoupe ne doit être pas trop serré, l'arbre doit tourner librement à la main  -Ne serrer la garniture neuve que très légèrement, même si la	
02	-Démontez l'accouplement et retirez la pièce d'espacement	-Clé 14 six ponts			
03	-Vidanger le liquide véhiculé qui se trouve dans la volute				
04	-Vidanger l'huile du corps-palier	-clé carre			
05	-Démontez les écrous des indicateurs de température et de pression	-Clé 27 à fourche			
06	-Démontez les conduites de l'eau de réfrigération	-Clé 27 à fourche			
07	-Démontez les deux vis de fixation de béquille	-Clé 24 mixte			
08	-démontez les (18) écrous des goujons de du corps de la volute	-Clé 30 à frappe			
09	-utiliser les deux vis de décalage pour séparer le fond corps et le corps du palier avec la partie tournante complété	-Clé 24 à fourche			
10	-Remonter tout l'ensemble sur un support spécial et le transporter à l'atelier	- transpalette -Palan -Elingue			
11	-Démontez l'écrou de blocage du roué et retirez le avec son clavette	-			
12	-Démontez les (6) écrou de fixation du corps-palier et le fond corps	-Clé 24 à frappe			
13	-Retirez la garniture mécanique et la chemise				
14	-Retirez la tôle déflectrice				
15	-Démontez les (4) vis du	-Clé 8 six			

	couvercle du palier arrière	ponts		fuite est assez importante, on ne devra la réduire jusqu'au goutte à goutte par un serrage modéré du fouloir lorsque la garniture est bien rodée.
16	-démonter le premier déflecteur et le racleur d'huile			
17	-démonter les (4) vis du couvercle du palier avant	-Clé 8 six ponts		
18	-démonter l'écrou de fixation du roulement à bille et retirer le deuxième déflecteur	-Clé à arceau		
19	-retirer l'arbre avec les deux roulements			
20	-Chauffer les roulements avant les enlever			
21	Nettoyage de toutes les pièces	-Pinceau -Essence -Brasse métallique		
22	-Le remontage est le sens contraire du démontage		-Racleur d'huile	-Couple de serrage pour une vis est : P=145 n/m
23	-Corriger l'alignement entre la pompe et le moteur d'entraînement	-Deux comparateurs -Une clé dynamométrique -Un support spécial	-Roulement à billes -Roulement à rouleau	-Ecart axial=0,05 mm  -Ecart radial=0,05 mm
24	-Effectuer le remplissage du corps palier par l'huile			Type d'huile : Tiska 55 Quantité : 1,5 L
25	-Déconsignation du groupe moto-pompe			

3.2.6 Mesure au niveau globale après l'intervention :

tableau IV- 5:Niveau global dans les points de mesures après l'intervention



Les niveaux de vibration dans les points de mesures est bon par rapport à la norme.

➤ Spectre après l'intervention :

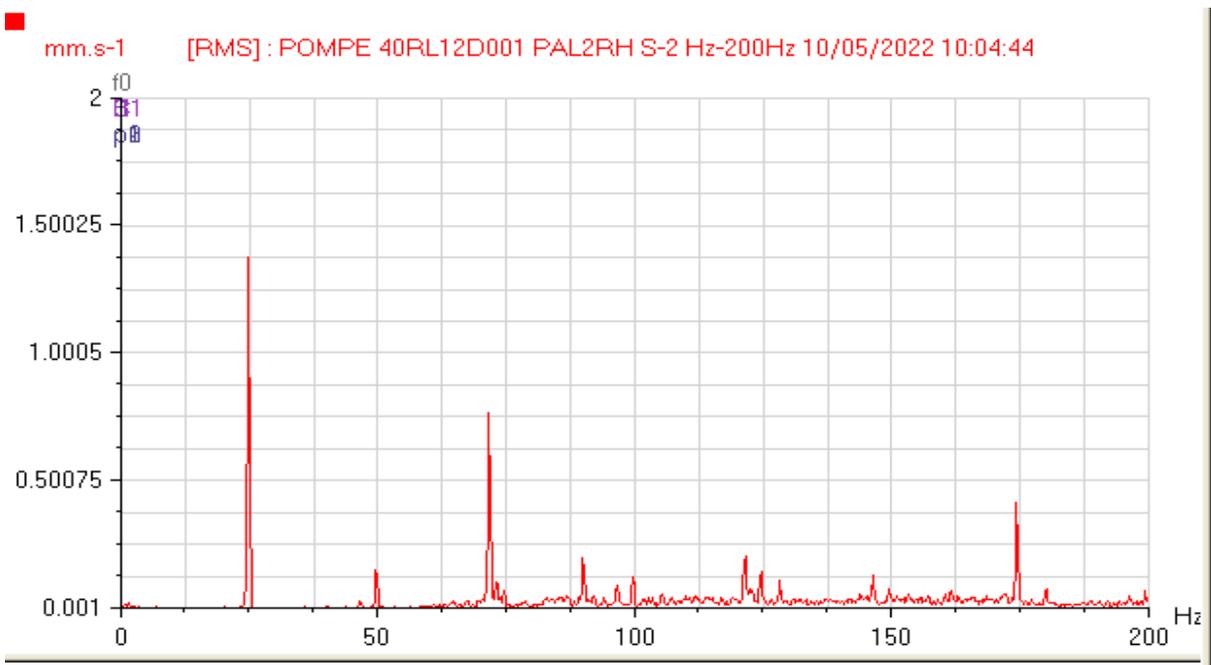


figure IV- 8:Spectre vibration de la pompe nourricière PAL2RH après l'intervention

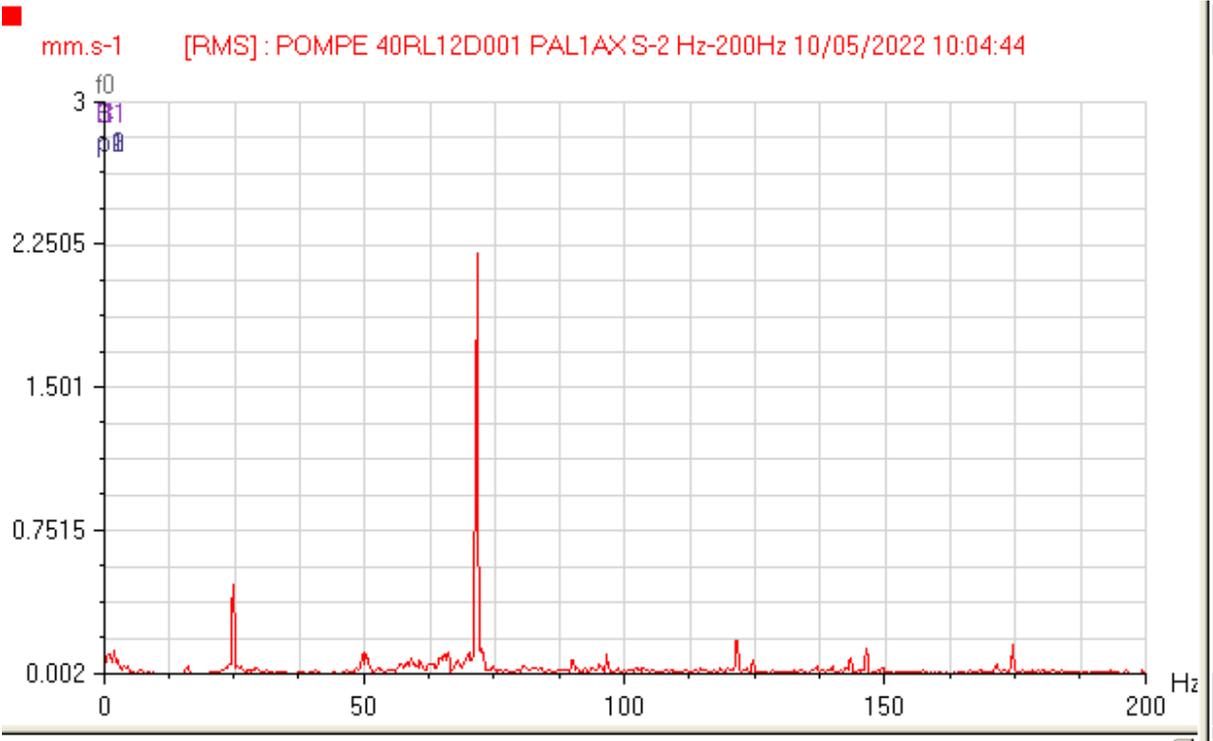


figure IV- 9: Spectre vibration de la pompe nourricière PAL1AX après l'intervention

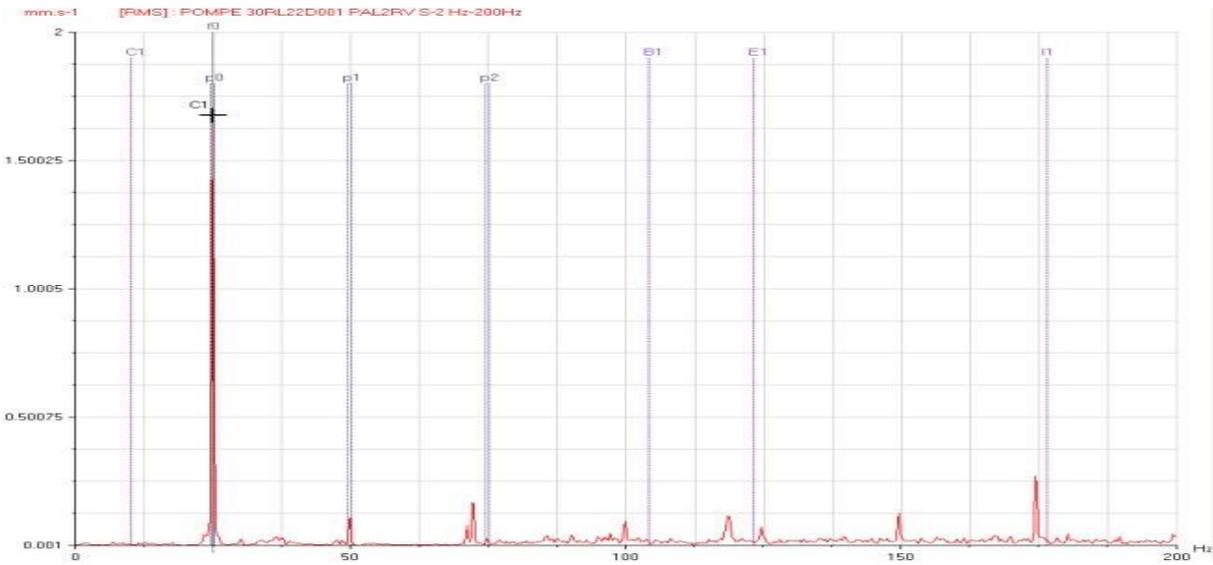


figure IV- 10: Spectre vibration de la pompe nourricière PAL2RV après l'intervention

### **3.2.7 Interprétation résultats :**

#### **Palier 1 :**

On remarque que l'amplitude au niveau de la fréquence 120.75 Hz a été réduite de 0.3877 (mm/s eff) jusque à 0.025(mm/s eff), donc le défaut de la bague externe est éliminé.

L'amplitude au niveau de la fréquence 177.75 Hz a été réduite de 0.3(mm/seff) jusqu'à 0.01(mm/seff), donc le défaut de la bague interne est éliminé.

#### **Palier 2 :**

On remarque que l'amplitude au niveau de la fréquence 121 Hz et 178.25 Hz sont réduite, donc les défauts de la bague externe et interne est éliminé.

## **4 Conclusion**

Au cours de cette étude, nous avons montré l'influence des défauts des éléments tournants sur le comportement vibratoire de la pompe nourricière

A partir des spectres nous avons établi un diagnostic des défauts survenant sur la pompe, on a constaté que le niveau vibratoire après l'intervention de vient admissible.

# Conclusion générale

---

## Conclusion générale

Le stage que nous avons entrepris au niveau de la centrale thermique de RAS-DJINET est très bénéfique sur plusieurs plans ; tant en un apport supplémentaire en connaissances pratiques et aussi sur le monde du travail en milieu industriel.

Dans ce travail, nous avons mis l'accent sur l'importance de la maintenance conditionnelle dans la détection des défauts de la pompe nourricière, qui consiste à surveiller l'état vibratoire de l'équipement. Cette surveillance permet d'éviter des arrêts non programmés qui peuvent nous conduire à une perte de production. C'est à travers une bonne acquisition, issu du comportement vibratoire des machine tournantes, qu'on peut avoir des descripteurs (Mesure globale, spectre,...) qui servent comme un outil très puissant pour le diagnostic des machines.

Cette étude nous a permis de mieux comprendre le signal vibratoire qui contient des informations sur les efforts engendrés par le fonctionnement de la machine, mais aussi de l'état mécanique des structures. Il permet par conséquent d'avoir une image des contraintes interne et de diagnostique un certain nombre de défauts de fonctionnement.

Enfin, la mise en place de la maintenance conditionnelle est basée essentiellement sur l'utilisation du matérielle la formation du personnel sur les méthodes de diagnostic et l'interprétation des résultats de mesures. Ce type de maintenance permet d'augmenter considérablement la disponibilité des équipements de production, leur durée de vie et sur tout la sécurité du personnel.

## Références bibliographiques

---

- [1] GHERSALLAH. Alternateur. Module II : équipement principal.(norme spécifique)  
Cap Djinet, Mars 1995.
- [2] **A. BOULENGER, C.PACHAUD :**  
« Diagnostic vibratoire en maintenance préventive » (Dunod, Paris, octobre 1999).
- [3] **Boullenger, A. & Pachaud, C.** «Surveillance des machines par analyse des vibrations».AFNOR, (1995).
- [4] **François MONCHY :**  
« Maintenance : Méthodes et organisation». 2eme édition, Edition DUNOD, 2003.
- [5] **AFNOR.** Norme AFNOR X 60 - 010. Paris AFNOR (1990).
- [6] Documentation du constructeur (Halberg)
- [7] **Augeix D.** «Analyse vibratoire des machines tournantes». Les techniques de  
L'ingénieur, BM5145 (2001)
- [8] **C.CAPDESSUS,** «Aide au diagnostic des machines tournantes par Traitement du signal»,Thèse INP Grenoble, (1992)
- [9] **Bogard F.** « Développement d'une approche numérique visant à optimiser le suivi vibratoire des constituants d'une machine tournante». Thèse de doctorat de l'Université deReims (2000).
- [10] **J. FRENE.** «Technique de l'ingénieur : paliers hydrodynamiques». Vol B ; art. 671 ;  
Édition technique de l'ingénieur, année 1982
- [11] **Augeix D.** «Analyse vibratoire des machines tournantes». Les techniques de l'ingénieur,BM5145 (2001)
- [12] Documentation du constructeur (Halberg, Siemens, Voith).