



Université Mohamed Khider Biskra
Faculté des Sciences et de la Technologie
Département de Génie Electrique
Filière : Electromécanique
Option : Electromécanique

Réf:.....

Mémoire de Fin d'Etudes
En vue de l'obtention du diplôme:

MASTER

Thème

**Diagnostic des machines électriques
par vibrations mécaniques**

Présenté par :
BOUGATAIA Aboubaker Seddik
BADRI Haider
Soutenu le :

Devant le jury composé de :

Mr. BOUREK Amor
Mr. ZOUZOU Salah Eddine
Mr. CHERIET Ahmed

Prof
Prof
Prof

Président
Encadreur
Examineur

Année universitaire : 2019 / 2020

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية

République Algérienne Démocratique et Populaire

وزارة التعليم العالي و البحث العلمي

Ministère de l'enseignement Supérieur et de la recherche scientifique



Université Mohamed Khider Biskra

Faculté des Sciences et de la Technologie

Département de Génie Electrique

Filière :Electromécanique

Option : Electromécanique

Mémoire de Fin d'Etudes

En vue de l'obtention du diplôme:

MASTER

Thème

**Diagnostic des machines électriques par vibrations
mécaniques**

Présenté par :

BOUGATAIA Aboubaker Seddik

BADRI Haider

Avis favorable de l'encadreur :

ZOUZOU Salah Eddine

signature

Avis favorable du Président du Jury

Nom Prénom

BOUREK Amor

Signature

Cachet et signature

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية
République Algérienne Démocratique et Populaire
وزارة التعليم العالي و البحث العلمي
Ministère de l'enseignement Supérieur et de la Recherche scientifique



Université Mohamed Khider Biskra
Faculté des Sciences et de la Technologie
Département de Génie Electrique
Filière : Electromécanique
Option : Electromécanique

Thème :

Diagnostic des machines électriques par vibrations mécaniques

Proposé par : **BOUGATAIA Aboubaker Seddik**
BADRI Haider

Dirigé par : **ZOUZOU Salah Eddine**

RESUME

Ce travail s'inscrit dans le cadre du diagnostic de machine asynchrone à cage d'écureuil par analyse vibratoire. Il s'agit de préserver la machine électrique, de prolonger sa durée de vie, d'améliorer ses performances et son efficacité, la machine asynchrone étant la plus utilisée dans le domaine industriel grâce à sa solidité et son faible coût.

Au milieu de ce travail, nous avons analysé les vibrations de la machine dans un état sain et en cas de dysfonctionnement et comparé les différents indicateurs et conclu les meilleurs d'entre eux pour savoir qui donne des informations claires sur l'état de santé de la machine.

Mots clés : diagnostic, machines asynchrones à cage d'écureuil, analyse vibratoire.

ملخص :

ينصوي هذا العمل تحت اطار تشخيص آلة قفص السنجاب اللامتزامن بواسطة تحليل الاهتزازات , و الغرض هو الحفاظ على الآلة الكهربائية ، لإطالة عمرها ، وتحسين أدائها وكفاءتها ، وتعتبر الآلة غير المتزامنة هي الأكثر استخدامًا في المجال الصناعي بفضل قوتها وتكلفتها المنخفضة.

في خضم هذا العمل قمنا بتحليل الاهتزاز للماكنة في حالة صحية و في حالة وجود عطب و المقارنة بين مختلف المؤشرات و استنتاج احسنها لمعرفة الذي يعطي معلومات واضحة للحالة الصحية للالة.

الكلمات المفتاحية: التشخيص ، آلة قفص السنجاب اللامتزامن ، تحليل الاهتزازات.

Remerciements

Je ne peux pas commencer ce travail sans penser à toutes qui ont contribué, de près ou de loin à ce travail

Je remercie en premier lieu **ALLAH** qui lui seul nous a guidés dans le sens durant notre vie et qui nous aide à réaliser ce modeste travail.

Je tiens à remercier tout particulièrement mon encadreur **zouzou salah Eddine** pour m'avoir permis de réaliser ce travail et pour son aide, et sa disponibilité.

Je tiens à remercier tous les membres du jury qui ont l'honneur de juger notre travail.

J'exprime ma gratitude et mes remerciements à mon père, à ma mère et à tous les membres de la famille.

En dernier, j'aimerais remercier tous mes amis, et surtout Ismail et Abdelali.

Dédicaces

Je dédie ce modeste travail à :

En premier lieu à ma mère et à mon père qui ont consenti beaucoup de sacrifices pour me permettre de réaliser mes objectifs. Qu'ils trouvent ici toute ma reconnaissance et ma gratitude.

A mon frère et mes sœurs

A tous mes camarades et mes amis

A tous mes enseignants de puis le primaire jusqu' maintenant.

Liste des figures

Chapitre I :Généralités sur la maintenance

| | |
|--|----|
| Fig. I.1 fonctions de la maintenance..... | 3 |
| Fig. I.2 Les différents types de maintenance | 6 |
| Fig. I.3 Les types de la maintenance conditionnelle..... | 10 |
| Fig. I.4 Enoncé de la fonction globale d'une politique de maintenance préventive conditionnelle | 11 |
| Fig. I.5 Composantes de la surveillance industrielle | 12 |
| Fig. I.6 Différentes techniques de la surveillance des machines tournantes | 13 |
| Figure. I.7 Principe de l'analyse vibratoire : a) Mesures des vibrations, b) Représentation du spectre vibratoire | 13 |
| Fig. I.8 Principe de l'analyse thermographique : a) Image visible d'un disjoncteur électrique, b) Visualisation d'un défaut de connexion sur l image thermique..... | 14 |

Chapitre II : L'ANALYSE VIBRATOIRE

| | |
|---|----|
| Fig. II.1 Elément générale des Machine tournante..... | 19 |
| Fig. II.2 Définition de la réponse mécanique d'une structure | 20 |
| Fig. II.3 Représentation d'une vibration sinusoïdale | 21 |

| | |
|---|----|
| Fig. II.4 Schéma présentatif des activités de l'analyse vibratoire | 24 |
| Fig. II.5 Décomposition d'un signal temporel | 25 |
| Fig. II.6 Décomposition d'un signal aléatoire..... | 25 |
| Fig. II.7 les différents types des signaux vibratoires | 26 |
| Fig. II.8 Grandeurs associées à une vibration | 28 |
| Fig. II.9 prosimètres et leur driver | 29 |
| Fig. II.10 prosimètre monte sur un palier | 29 |
| Fig. II.11 schéma de principe d'une vélocimétrie | 30 |
| Fig. II.12 capteur de vélocimétrie..... | 31 |
| Fig. II.13 Schéma de principe d'un accéléromètre..... | 31 |
| Fig. II.14 Défaut de balourd | 33 |
| Fig. II.15 Image vibratoire théorique d'un balourd | 34 |
| Fig. II.16 Balourd statique : Le déphasage est proche de 180° nu Entre les points A et B. | 35 |
| Fig. II.17 Balourd dynamique : le déphasage est sensiblement Entre les points A et B. | 35 |
| Fig. II.18 Défauts d'alignement | 36 |
| Fig. II.19 Signal temporel d'un défaut d'alignement | 36 |

| | |
|---|----|
| Fig. II.20 Image vibratoire d'un défaut d'alignement radial | 37 |
| Fig. II.21 Fréquence d'engrènement : $GMF=Z_1*f_1$ ou Z_2*f_2 | 37 |
| Fig. II.22 Typologie vibratoire d'un engrenage sain | 38 |
| Fig. II.23 Représentation du spectre théorique d'un défaut d'engrenage | 38 |
| Fig. II.24 Différents types d'engrenage..... | 39 |
| Fig. II.25 Défaut d'usure d'accouplement | 39 |
| Fig. II.26 Constitution d'un roulement | 40 |
| Fig. II.27 Caractéristiques d'un roulement | 41 |
| Fig. II.28 Image vibratoire théorique d'un défaut de type écaillage sur bague extérieure..... | 42 |
| Fig. II.29 Image vibratoires théorique d'un défaut de bague intérieure..... | 42 |
| Fig. II.30 Image vibratoires théorique d'un défaut de bille..... | 43 |
| Fig. II.31 Défaut de déversement des bagues d'un roulement..... | 44 |
| Fig. II.32 Image vibratoires théorique d'un défaut de type déversement de bague..... | 45 |
| Fig. II.33 Evolution du Kurtosis aux différents stades de dégradation du roulement..... | 46 |

Chapitre III : Présentation de système étudiant

Fig.III.1 Banc d'essai expérimental.....49

Fig.III.2 SCHENCK Smart Balancer.....50

Fig.III.3 Spectre du signal vibratoire, machine à vide état sain (0 à 275 Hz)51

Fig.III.4 Spectre du signal vibratoire, machine à vide état défectueux (0 à 275 Hz)51

Fig.III.5 Spectre du signal vibratoire, machine à vide état sain (320 à1072 Hz)53

Fig.III.6 Spectre du signal vibratoire, machine à vide état défectueux (320à1072 Hz)53

Fig.III.7 Spectre du signal vibratoire, machine en charge état sain (0 à 275Hz)54

Fig.III.8 Spectre du signal vibratoire machine en charge état défectueux (0 à 275 Hz)54

Fig.III.9 Spectre du signal vibratoire, machine en charge état sain (360 à1072 Hz)56

Fig.III.10 Spectre du signal vibratoire machine en charge état défectueux (360 à1072 Hz)56

Liste des tableaux

Chapitre I :Généralités sur la maintenance

Tableau I.1 Choix de l’outil de surveillance.....15

Tableau I.2 Choix de l’outil de surveillance suivant les défauts potentiels.....16

Chapitre II : L'ANALYSE VIBRATOIRE

Tableau II.1 Différents types de vibrations.....27

Tableau II.2 La représentation temporelle de chaque nature de vibration32

Chapitre III : Présentation de système étudier

Tableau III.1 Signature des défauts.....48

Tableau III.2 valeurs pratiques des harmoniques à vide (0 à 275 Hz)52

Tableau III.3 valeurs pratiques des harmoniques en charge (0 à 275 Hz)55

Liste des symboles

| | |
|---------------|---|
| ω | : Vitesse de rotation |
| d | : Déplacement |
| v | : Vitesse |
| a | : Accélération |
| GMF | : Fréquence d'engrènement |
| Z | : Nombre de dents |
| $f_{b_{ext}}$ | : Fréquence de vibration relative au défaut de bague extérieur |
| f_r | : fréquence de rotation |
| n | : Nombre de billes |
| d | : Le diamètre de la bille |
| D | : Le diamètre du cercle primitif |
| α | : L'angle de contact |
| $f_{b_{int}}$ | : Fréquence de vibration relative au défaut de bague intérieure |
| f_{bille} | : Fréquence de vibration relative au défaut de billes |
| f_{cage} | : Fréquence de vibration relative au défaut de cage |
| F_D | : Facteur de défaut de roulement |
| F_C | : Facteur de crête |
| f_r | : Fréquence rotorique |
| f_s | : Fréquence d'alimentation |
| S | : Glissement |
| p | : Nombre de paire de pole |
| ES | : Excentricité statique |

| | |
|----------------|-----------------------------|
| ED | : Excentricité dynamique |
| K | : Un nombre entier |
| f_{enc} | : fréquence d'encoche |
| λ_{br} | : Nombre de barre rotorique |

Introduction générale

Dans les entreprises industrielles d'aujourd'hui, la sécurité des personnes, des équipements, de l'environnement et la qualité de service sont essentielles. De même, le développement de l'automatisation indique que les machines fonctionnent avec une intervention humaine minimale, et dans ce contexte, la maintenance de ces matériaux est une fonction essentielle.

Avec une fiabilité accrue, zéro panne, un temps d'arrêt minimal, il assure la continuité des activités de ces entreprises.

La plupart des usines surveillent les vibrations car elles sont à la base de la maintenance préventive de ces usines. La technologie de surveillance des vibrations est la plus efficace et elle permet de détecter facilement et rapidement les différents types de défauts qui permettent de surveiller l'état de la machine rotative pendant son fonctionnement, cette technologie nous permet de détecter, distinguer et identifier les différentes erreurs qui en résultent.

Analyse vibratoire du MAS, qui détecte l'apparition du défaut sans démonter la machine en capturant l'image de vibration avec le capteur de vibration. Dans la plupart des cas, le traitement des signaux vibrants se fait par analyse du contenu spectral.

L'objectif de notre travail est d'appliquer l'analyse vibratoire dans le diagnostic de défauts dans une usine cimenterie, mais en raison des circonstances, nous n'avons testé l'approche que sur un banc d'essai expérimentale avec des moteurs spécialement conçus pour les deux cas (sains et défectueux).

Le premier chapitre a pour objet la définition de la maintenance, les objectifs et les différents types de maintenance, et techniques en surveillance des machines tournantes.

Dans le second chapitre sont présentés les problèmes vibratoires associés aux systèmes tournante, et le principales anomalies qui les occasionnent.

Le troisième chapitre nous l'accent mettrons l'accent sur la détection et la caractérisation de défaut d'excentricité dynamique par l'appareil Smart Balancer.

SOMMAIRE

SOMMAIRE

| | |
|----------------------------------|----|
| Liste des figures..... | I |
| Liste des tableaux..... | V |
| Liste des symboles utilisés..... | VI |
| INTRODUCTION GENERALE..... | 1 |

CHAPITRE I

| | |
|---|---|
| Introduction..... | 2 |
| I.1. Définition de la maintenance..... | 2 |
| I.2. Objectifs de la maintenance..... | 2 |
| I.2.1. Objectifs financiers..... | 2 |
| I.2.2. Objectifs opérationnels..... | 3 |
| I.3. Les fonctions de la maintenance..... | 3 |
| I.3. 1. La fonction Méthode..... | 3 |
| I.3. 2.La fonction ordonnancement..... | 3 |
| I.3. 3.La fonction exécution..... | 4 |
| I.3. 4.La fonction documentation..... | 4 |
| I.3. 4.1. la documentation technique..... | 4 |
| I.3. 4.2. La documentation historique..... | 4 |
| I.3. 4.3. La documentation fournisseur..... | 4 |
| I.4.4.4. La documentation économique..... | 4 |
| I.4.Les niveaux de maintenance..... | 4 |
| I.4.1. 1erNiveau..... | 5 |
| I.4.2. 2émeNiveau..... | 5 |
| I.4.3. 3émeNiveau..... | 5 |
| I.4.4. 4émeNiveau..... | 5 |

SOMMAIRE

| | |
|--|----|
| I.4.5. 5 ^{ème} Niveau..... | 6 |
| I.5. Les différents types de maintenance..... | 6 |
| I.5.1. Maintenance Corrective..... | 7 |
| I.5.1.1. Les opérations palliatives..... | 7 |
| I.5.1.2. Les opérations curatives..... | 7 |
| I.5.2.Maintenance Préventive..... | 7 |
| I.5.2.1.Maintenance préventive systématique..... | 8 |
| I.5.2.2.Maintenance conditionnelle (prédictive)..... | 8 |
| I.6. Le choix d'une stratégie de maintenance..... | 10 |
| I.7 Surveillance..... | 11 |
| I.7. 1.Etapes en processus de surveillance..... | 12 |
| I.7.1.1.La détection..... | 12 |
| I.7.1.2.Le diagnostic..... | 12 |
| I.7.2.Techniques en surveillance des machines tournantes..... | 12 |
| I.7.2.1.L'analyse vibratoire | 13 |
| I.7.2.2.L'analyse d'huile..... | 13 |
| I.7.2.3.La thermographie infrarouge..... | 14 |
| I.7.2.4.L'analyse acoustique..... | 14 |
| I.7.2.5.Le contrôle par ultrasons..... | 14 |
| I.7.3.Choix d'outils de surveillance..... | 15 |
| I.7.4.Choix de l'outil de surveillance suivant les défauts potentiels..... | 16 |
| Conclusion..... | 17 |

SOMMAIRE

Chapitre II

| | |
|--|----|
| Introduction..... | 18 |
| II.1 Machines tournantes électriques..... | 18 |
| II.1.1. Un rotor..... | 18 |
| II.1.2. La structure..... | 18 |
| II.1.3. Les liaisons..... | 19 |
| II.2 Classement « VIS » des machines..... | 20 |
| II.3 Vibration mécanique..... | 20 |
| II.3.1. Définition d'une vibration..... | 20 |
| II.3.2. Origine des vibrations d'une machine tournante électrique..... | 20 |
| II.4. Caractéristiques d'une vibration..... | 21 |
| II.5 L'analyse vibratoire en tant qu'outil de diagnostic..... | 22 |
| II.5.1. Activités de l'analyse vibratoire..... | 23 |
| II.5.2. Indicateurs de surveillance..... | 23 |
| II.6 Types des signaux vibratoires..... | 24 |
| II.6.1. Signaux déterministes..... | 24 |
| II.6.2. Les vibrations périodiques..... | 24 |
| II.6.3. Signaux aléatoires..... | 25 |
| II.6.4. Les vibrations transitoires..... | 26 |
| II.7 Les grandeurs de mesure d'une vibration..... | 28 |
| II.8 Les capteurs de vibrations..... | 28 |
| II.8.1. Capteur de déplacement..... | 29 |
| II.8.1.1. Les avantages et les inconvénients..... | 30 |
| II.8.1.2 Problèmes et défauts détectés..... | 30 |

SOMMAIRE

| | |
|--|----|
| II.8.2.Vélocimétrie..... | 30 |
| II.8.3.Les accéléromètres..... | 31 |
| II.8.3.1. Les avantages est les inconvénients | 32 |
| II.9 La nature de vibration..... | 32 |
| II.10 Défauts des machines électriques tournantes..... | 33 |
| II.10.1. Défaut de balourd..... | 33 |
| II.10.1.1.Défaut de Balourd statique..... | 34 |
| II.10.1.2.Défaut de Balourd dynamique..... | 34 |
| II.10.2. Défaut d'alignement..... | 35 |
| II.10.2.1.Défaut de d'alignement angulaire..... | 35 |
| II.10.2.2.Défaut de désalignement axial..... | 36 |
| II.10.2.Défauts des engrenages..... | 37 |
| II.10.3.Défauts de serrage..... | 39 |
| II.10.4.Défauts de roulements..... | 40 |
| II.10.4.1.Fréquences caractéristiques pour les défauts d'un roulement..... | 40 |
| II.10.4.2.Défaut sur la bague extérieure..... | 41 |
| II.10.4.3.Défaut sur la bague intérieure..... | 42 |
| II.10.4.4.Défaut sur l'élément roulant..... | 43 |
| II.10.4.5.Défaut sur la cage..... | 44 |
| II.10.4.6.Défauts de type déversement de bague..... | 44 |
| II.10.4.7.Indicateurs vibratoires spécifiques aux roulements..... | 45 |
| Conclusion..... | 47 |

SOMMAIRE

Chapitre III

| | |
|---|----|
| Introduction..... | 47 |
| III.1. Définition..... | 47 |
| III.2. Acquisition des données expérimentales issues de banc d'essai..... | 48 |
| III.3. Appareil de mesure SCHENCK Smart Balancer..... | 49 |
| III.3.1.Définition..... | 49 |
| III.3.2.Capteur..... | 50 |
| III.3.3.Mesure..... | 50 |
| III.4 . Traitement des données expérimentales..... | 50 |
| III.5 .Les résultats expérimentaux par l'appareil (SCHENCK)..... | 51 |
| III.5.1. fonctionnement à vide..... | 51 |
| III.5.2. fonctionnement en charge..... | 54 |
| III.5.3. Autres remarques..... | 57 |
| Conclusion..... | 57 |
| Conclusion générale..... | 58 |
| BIBLIOGRAPHIE..... | 59 |

CHAPITRE I

Généralité sur la maintenance

Introduction

Nous effectuons la maintenance afin de réduire les pannes d'équipements, d'éviter les interruptions de production de l'entreprise et de maintenir la continuité de son travail, ainsi que d'augmenter la production. La gestion de la maintenance des équipements est le meilleur moyen d'atteindre cet objectif.

Maintenir des équipements de production est la base de l'usine et l'amélioration de la qualité du produit est un défi industriel au sein de l'entreprise qui nécessite d'interroger les structures fixes existantes et les méthodes de renforcement avec la nouvelle nature des matériaux en tenant compte des aspects économiques et financiers des différentes méthodes utilisées.

I.1. Définition de la maintenance

D'après L'AFNOR (NF X 60-010): la maintenance est un ensemble des actions permettant de rétablir un bien dans un état spécifique ou en mesure d'assurer un service déterminé. Maintenir c'est donc effectuer des opérations : dépannage, graissage, visite, réparations. Des opérations, qui permettent de conserver le potentiel du matériel pour assurer la continuité et la qualité de la production. Bien maintenir, c'est assurer ces opérations au coût Optimal. [1]

La définition de la maintenance fait donc apparaître quatre notions :

- Rétablir : qui sous-entend l'idée d'une correction de défaut.
- État : qui précise le niveau de compétences et les objectifs attendus de la maintenance.
- Maintenir : qui suppose un suivi et une surveillance.
- Coût optimal : qui conditionne l'ensemble des opérations dans un souci d'efficacité économique.

I.2. Objectifs de la maintenance

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

I.2.1. Objectifs financiers

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

I.2.2. Objectifs opérationnels

- 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.
- Entretenir les installations avec le minimum d'économie et les remplacer à des périodes prédéterminées.
- Assurer un fonctionnement sûr et efficace à tout moment. [2]

I.3. Les fonctions de la maintenance:

Les fonctions de la maintenance sont représentées par la figure I.1

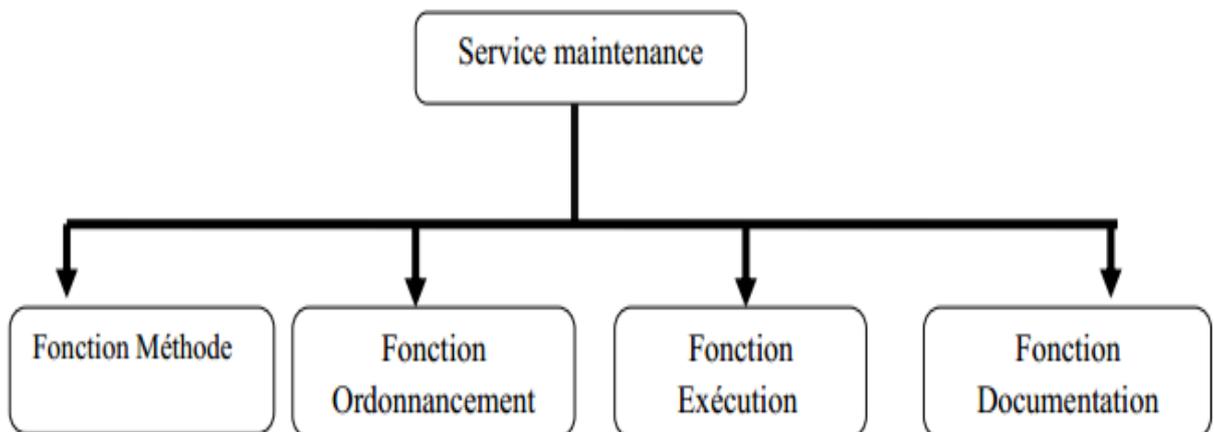


Fig I.1 fonctions de la maintenance

I.3. 1. La fonction Méthode :

C'est le cerveau du service maintenance, elle définit les méthodes, les techniques des moyens et les normes d'entretien.

a- Étude technique du matériel :

- détermination des pièces de rechange.
- Préparation des interventions : (outils à utiliser, gamme de travail, personnel qualifié, bon de sortie magasin).
- Élaboration de la documentation nécessaire.
- Proposition de modification en cas de pannes répétitives[3].

b - Étude économique :

- analyser les coûts de maintenance (CM).
- Analyser les coûts de défaillance (CD).
- Analyser les coûts de fonctionnement (CF) [3].

I.3. 2.La fonction ordonnancement :

- Établir les plannings d'interventions.
- Répartir le personnel en fonction des travaux et des délais.
- Calcul de temps d'intervention.
- Suit l'avancement des travaux[3].

I.3. 3.La fonction exécution:

Les principales tâches sont :

- assurer l'installation des machines et des matériels .
- Informer le personnel sur les équipements (consignes d'utilisation).
- Établir le diagnostic de défaillance du matériel.
- Gérer les stocks, pièces de rechange, outillages, appareils de contrôles.
- Gérer l'intervention de la maintenance[3].

I.3. 4.La fonction documentation :

Elle consiste à créer, organiser, animer, compléter et mettre à jour toute la documentation relative à la maintenance :

I.3. 4.1.la documentation technique :

Résumant le fonctionnement des machines et leurs caractéristiques ainsi que les caractéristiques des pièces d'usine (cette documentation est fournie par le Constructeur).

I.3. 4.2. La documentation historique :

Résumant les interventions effectuées sur les machines ainsi que leur durée.

I.3. 4.3. La documentation fournisseur :

Résumant l'évolution des techniques.

I.3. 4.4.La documentation économique :

Documentation des constructeurs qui porte ou contient les frais des machines et des pièces de rechange[3].

I.4.Les niveaux de maintenance

Les interventions de la maintenance peuvent être classées par ordres croissant selon leur importance, ce classement par niveaux facilite, par exemple la communication entre l'agent des méthodes qui a procédé au diagnostic et le responsable du planning et de l'ordonnancement qui doit affecter le personnel et les matériels à une intervention [4].

I.4.1.1^{er} Niveau

Réglages simples prévus par le constructeur au moyen d'éléments accessibles sans aucun démontage ou ouverture de l'équipement, ou échange d'élément consommables accessibles en toute sécurité, tels que voyants ou certains fusibles, etc.

Commentaire: ce type d'intervention peut être effectué par l'exploitant du bien, sur place, sans outillage et à l'aide des instructions d'utilisation. Le stock de pièces consommables nécessaires est très faible[4].

I.4.2.2^{ème} Niveau

Dépannage par échange standard des éléments prévus à cet effet et opérations mineures de maintenance préventive, telles que graissage ou contrôle de bon fonctionnement.

Commentaire : ce type d'intervention peut être effectué par un technicien habilité de qualification moyenne, sur place avec l'outillage portable défini par les instructions de maintenance, et à l'aide de ces mêmes instructions. On peut se procurer les pièces de rechange transportable nécessaires sans délai et à proximité immédiate du lieu d'exploitation[4].

I.4.3.3^{ème} Niveau

Identification et diagnostic des pannes, réparation par échange de composants ou d'éléments fonctionnels, réparations mécaniques mineures, et toutes opérations courantes de maintenance préventive telles que réglage général ou réaligement des appareils de mesure.

Commentaire : ce type d'intervention peut être effectué par un technicien spécialisé, sur place ou dans le local de maintenance, à l'aide de l'outillage prévu dans les instructions de maintenance ainsi que des appareils de mesure et de réglage, et éventuellement des bancs d'essais et de contrôle des équipements et en utilisant l'ensemble de la documentation nécessaire à la maintenance du bien ainsi que les pièces approvisionnées par le magasin[4].

I.4.4.4^{ème} Niveau

Tous les travaux importants de maintenance corrective ou préventive à l'exception de la rénovation et de la reconstruction. Ce niveau comprend aussi le réglage des appareils de

mesure utilisés pour la maintenance, et éventuellement la vérification des étalons de travail par les organismes spécialisé.

Commentaire : ce type d'intervention peut être effectué par une équipe comprenant un encadrement technique très spécialisé, dans un atelier spécialisé doté d'un outillage générale et éventuellement des bancs de mesure et des étalons de travail nécessaires, à l'aide de toutes documentations générales ou particulières[4].

I.4.5.5^{ème} Niveau

Rénovation, reconstruction ou exécution des réparations importantes confiées à un atelier centrale ou à une unité extérieure.

Commentaire : par définition, ce type de travail est donc effectué par le constructeur, ou par le reconstruteur, avec des moyens définis par le constructeur et donc proches de fabrication[4].

I.5. Les différents types de maintenance :

Dans la définition de la maintenance, nous trouvons deux mots-clés : maintenir et rétablir. Le premier fait référence à une action préventive. Le deuxième faite référence à l'aspect correctif (voir figure I.2)

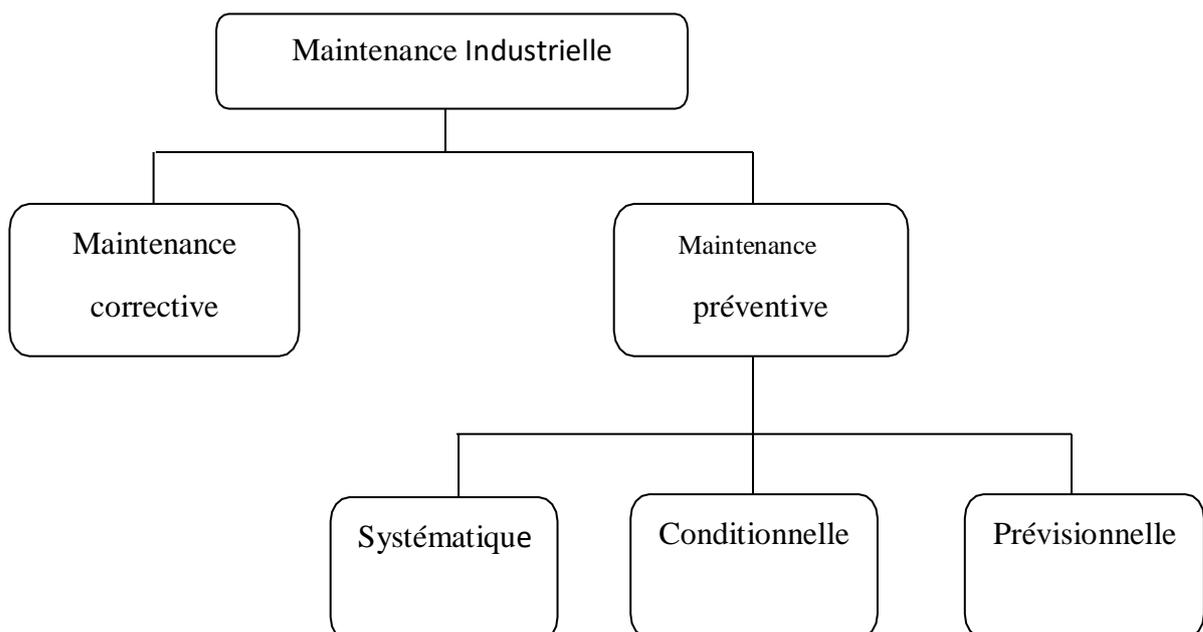


Fig I.2 Les différents types de maintenance

I.5.1. Maintenance Corrective

C'est un ensemble des activités réalisées après la défaillance d'un bien. Autrement dit, la maintenance corrective est effectuée après la détection d'une panne : Elle devra s'appliquer automatiquement aux défaillances complètes et soudaines. Ce type de maintenance sera réservé aux matériels peu coûteux, non stratégiques pour la production et dont la panne aurait peu d'influence sur la sécurité [5].

Il faut distinguer là deux aspects :

I.5.1.1. Les opérations palliatives

Appeler aussi dépannage, dont l'objectif est de supprimer l'effet de la défaillance afin de reprendre la production, Elle forment souvent la deuxième phase d'un dépannage[5].

I.5.1.2. Les opérations curatives

Appeler aussi réparation, dont l'objectif est de ramener le système à un niveau de performance donné. Elle forment souvent la deuxième phase d'un dépannage[5].

a. Les avantages

➤ Pas d'investissement en contrôle.

b. Les inconvénients

➤ Dommages conséquents.

➤ Coût de réparation élevé.

➤ Pas de planification.

➤ Pertes de production si la machine est critique.[5]

I.5.2. Maintenance Préventive

Ce type de maintenance ayant pour objet de réduire la probabilité de défaillance. Elle doit permettre d'éviter les défaillances des équipements au cours de l'utilisation. La mise en pratique de ce type de maintenance nécessite la décomposition des sous-système composants (roulement, circuit magnétique, etc..). Les buts de la maintenance préventive sont:

- Augmenter la durée de vie des équipements.
- Diminuer le budget de la maintenance.
- Supprimer les causes des accidents graves [5].

I.5.2.1. Maintenance préventive systématique

La maintenance systématique est un type de maintenance planifiée dans le temps (graissage, lubrification, nettoyage, dépoussiérage, calibrage,...). Il s'agit là d'éviter les causes de défaillances et de vieillissement des composantes du système.

Généralement, la maintenance préventive systématique 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, des filtres, changement de la courroie de synchronisation, des roulements, des paliers de rotation ...)[5].

a. Les avantages

- Planification des arrêts d'entretien.
- Optimisation de l'intervention (préparation).
- Limite les risques de panne.

b. Les inconvénients

- Coût de maintenance élevé.
- Approche statistique.

I.5.2.2. Maintenance conditionnelle (prédictive)

C'est un type de maintenance déclenché suite à un symptôme observable (température, vibration, jeu excessif, ...) permettant de prédire une défaillance prochaine. Il s'agit là d'intervenir juste avant que la panne ne survienne. La maintenance préventive conditionnelle est réalisée dès lors qu'une mesure dépasse une valeur précise (seuil) d'une grandeur physique (température, pression...).

La maintenance préventive conditionnelle s'adresse aux pièces des machines coûtant chers en remplacement et pouvant être surveillées par des méthodes non – destructives (vibration, huile, température, courant, etc.). Autrement dit, on ne change l'élément que lorsque celui-ci présente des signes de vieillissement ou d'usure affectant les performances du fonctionnement. La maintenance préventive conditionnelle nécessite une équipe de maintenance de niveau technologique plus élevé formée en méthodes du diagnostic..

Les outils ou bien les signaux qui peuvent être utilisés par la maintenance préventive conditionnelle sont :

- * mesure de température, thermographie infrarouge (lignage, roulements, paliers).
- * mesures de pression (paliers) .

- * mesure de débit (paliers) .
- * analyse d'huile (roulements, paliers, engrenages)
- * mesure de vibration (déséquilibre, roulements, paliers, engrenages, jeux, etc.)
- * mesure du courant statorique , du couple, de la vitesse ou de la puissance [5].

-Il ya deux type de la maintenance conditionnelle :

I.5.2.2.1. La Maintenance conditionnelle On-line (permanent)

Dans le cas des machine très stratégiques, où dont on sait qu'elles connaissent des défaillances assez fréquentes, on choisira de systèmes de surveillance à poste fixe. Ce type de surveillance est utilisé en permanence sur des machines spécifiques et surveille constamment leurs états, ainsi il joue un rôle important dans l'efficacité de la conduite de l'entreprise. La surveillance On-line est utilisée essentiellement pour pouvoir donner l'alerte immédiate en cas de changement soudain de l'état des machines, déclenchant ainsi l'alerte ou produisant des signaux d'alarmes dans la salle de contrôle, pour que des mesures appropriées puissent être prises avant la catastrophe[6] (voir Figure I.3).

I.5.2.2.2. La Maintenance conditionnelle Off-line (non permanent) :

Dans ce suivi, la mesure est effectuée à échéance programmée, par un opérateur équipé d'un collecteur de données portable de plus en plus fréquemment informatisé, le suivi périodique permet à un opérateur de suivre les indicateurs désirés d'un grand nombre de machines pour un faible coût, puisque l'investissement en capteurs est réduit. A l'inverse du suivi continu, on utilise un suivi périodique pour des machines qui tombent rarement en panne, pour des dégradations qui n'évoluent pas vite, et pour les cas où l'on pense qu'un contrôle tous les mois, ou tous les deux mois, suffira [6] (voir Figure I.3).

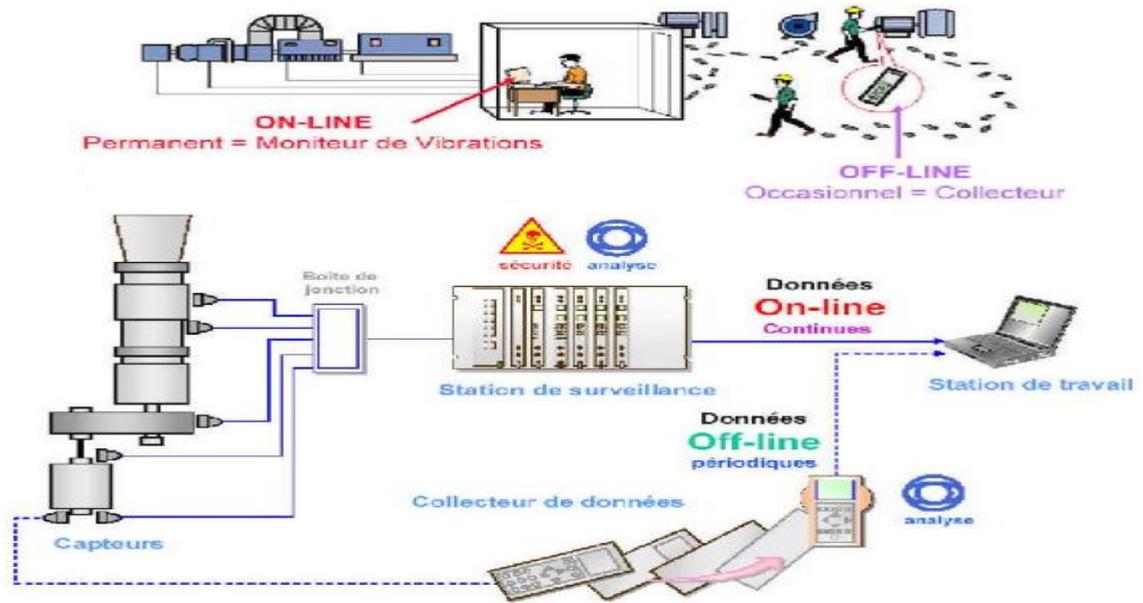


Fig I.3 Les types de la maintenance conditionnelle

I.6. Le choix d'une stratégie de maintenance

Généralement la maintenance exige une combinaison permanente rationnelle des moyens, donc elle demande une politique d'entretien préalablement établie. La stratégie de maintenance, qui résulte de la politique de maintenance, impose des choix pour atteindre, voire dépassé, les objectifs fixés Dans le domaine de maintenance, les recherches ont pour but de mettre une stratégie de maintenance préventive conditionnelle basée sur l'utilisation d'outils appropriés et adaptée à un système électromécanique. Cette stratégie de maintenance permettra au groupe de surveillance de localiser et d'identifier les défauts qui apparaissent sur le système en fonctionnement, et d'établir les opérations de maintenance correctives soit le dépannage ou la réparation (Fig. I.4) [12].

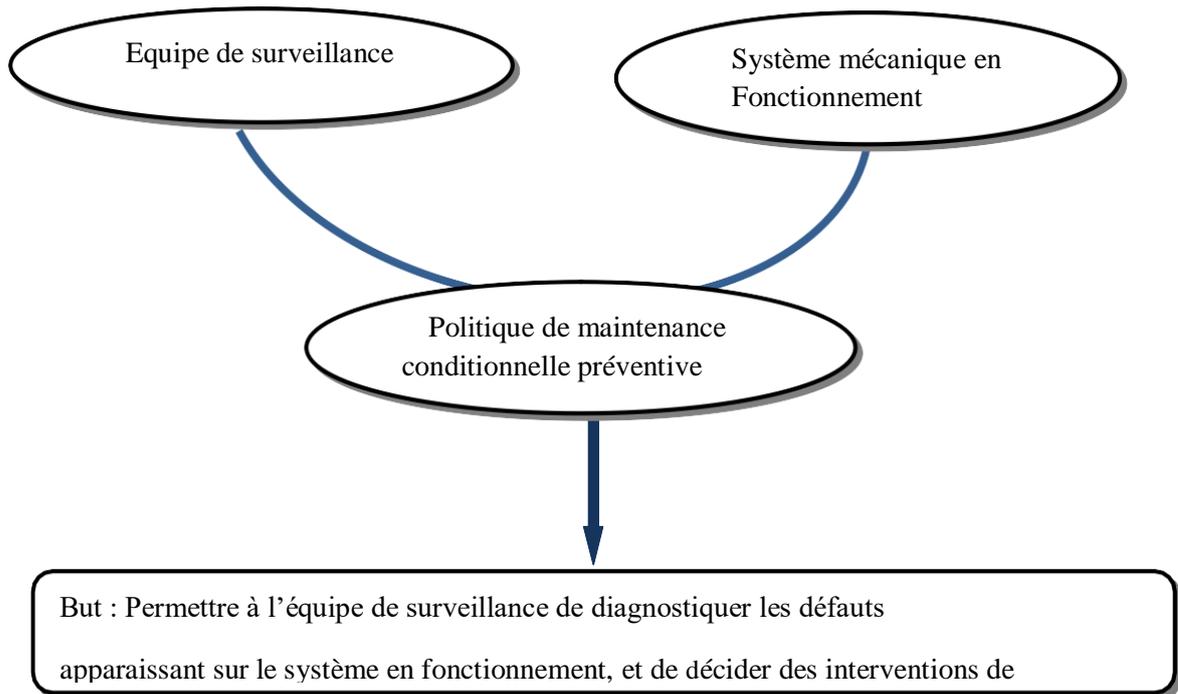


Fig I.4 Enoncé de la fonction globale d'une politique de maintenance préventive conditionnelle

a. Les avantages

- Optimisation de la durée de fonctionnement.
- Optimisation de l'intervention (préparation).
- Evaluation réelle de l'état de la machine.
- Evite les pertes de production.

b. Les inconvénients

- Cout de l'investissement (homme / matériel).
- Ces méthodes ne s'appliquent pas à tous les systèmes.
- Ne détecte pas tous les problèmes.

I.7 Surveillance

Le but est de suivre l'évolution d'une machine par comparaison des relevés successifs de ses vibrations. Une tendance à la hausse de certains indicateurs par rapport à des valeurs de référence constituant la signature alerte généralement le technicien ou

l'ingénieur de maintenance, sur un dysfonctionnement probable. La signature est établie à partir d'une première campagne de mesures sur la machine neuve ou révisée[17].

I.7. 1.Etapes en processus de surveillance

I.7.1.1.La détection : Pour détecter les défaillances d'un système, il faut être capable de classer les situations observables comme étant normales ou anormales. Cette classification n'est pas triviale, étant donné le manque d'information qui caractérise généralement les situations anormales, amené à une simplification communément adaptée, qui consiste à considérer comme anormale toute situation qui n'est pas normale[17].

I.7.1.2.Le diagnostic : Il permet de désigner l'élément de la machine défectueux suite à une évolution anormale des vibrations constatée lors de la surveillance (mesures). Le diagnostic n'est réalisé que lorsque la surveillance a permis de détecter une anomalie ou une évolution dangereuse du signal vibratoire, figure 1.5 Le diagnostic dans la majorité des cas est établi en interprétant les signaux vibratoires émis par les machines en fonctionnement [17].

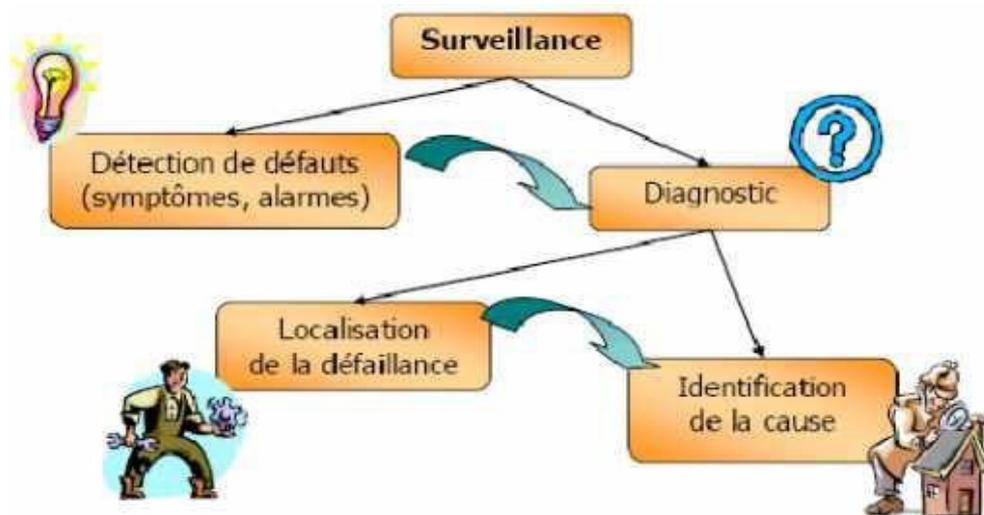


Fig I.5 Composantes de la surveillance industrielle[9].

I.7.2.Techniques en surveillance des machines tournantes

Aujourd'hui, plusieurs techniques peuvent être employées pour surveiller l'état des machines tournantes par l'analyse des vibrations, du bruit, de la température, du courant. Les différentes techniques de la surveillance des machines tournantes est illustrée dans la

figure I.6 [12].

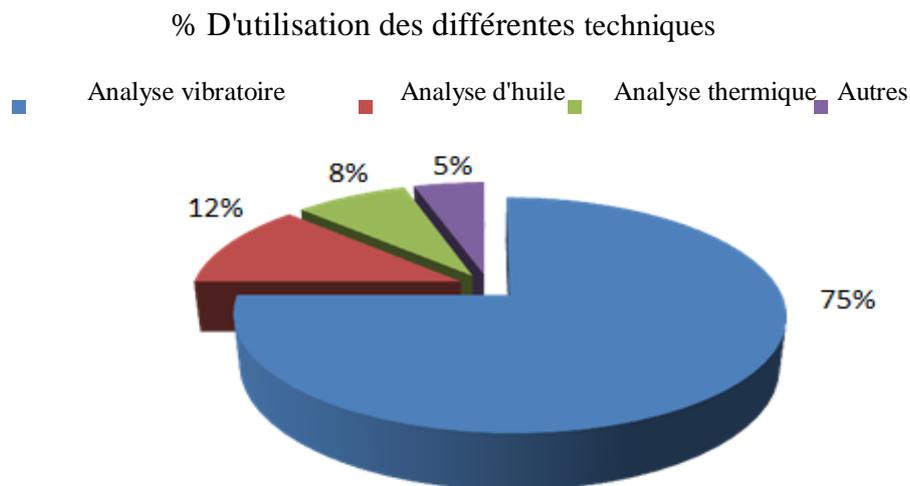


Fig I.6 Différentes techniques de la surveillance des machines tournantes[10].

I.7.2.1.L'analyse vibratoire

est la plus connue et la plus largement utilisée car adaptée aux des composants mécaniques et aux machines industrielles en fonctionnement. Elle permet de détecter la majorité des défauts susceptibles d'apparaître dans les machines tournantes[10].

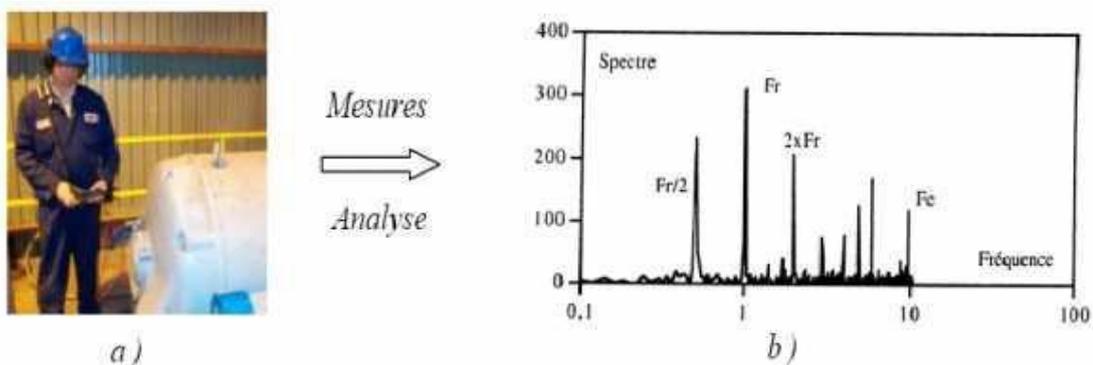


Figure I.7 Principe de l'analyse vibratoire : a) Mesures des vibrations, b) Représentation du spectre vibratoire[9].

I.7.2.2.L'analyse d'huile

est appliquée à toutes les machines contenant des fluides de lubrification (réducteurs,

motoréducteurs, moteurs thermiques...). Elle consiste à prélever un échantillon d'huile et de l'analyser (particules d'usure) pour déduire l'état de l'équipement[10].

I.7.2.3. La thermographie infrarouge

suscite un intérêt encore récent dans le domaine de la maintenance jusqu'alors réservée au contrôle d'installations électriques. Elle est peu utilisée pour la surveillance des machines tournantes notamment pour la détection de défauts qui se manifestent par un échauffement anormal à la surface de l'équipement. La thermographie permet de réaliser des mesures à distances et d'obtenir instantanément une image thermique de la zone inspectée[10].

Figure I.8 présente un exemple de la thermographie infrarouge pour détecter un défaut d'engrenage



Fig I.8 Principe de l'analyse thermographique : a) Image visible d'un disjoncteur électrique, b) Visualisation d'un défaut de connexion sur l'image thermique[13].

I.7.2.4. L'analyse acoustique

permet de détecter tout bruit anormal à l'aide de microphones placés à distance de l'équipement[10].

I.7.2.5. Le contrôle par ultrasons

permet de détecter des défauts de faibles amplitudes à hautes fréquences tels que l'initiation de la dégradation d'un roulement[10].

I.7.3.Choix d’outils de surveillance

Le tableau I.1 donne un aperçu sur les critères pris en compte pour le choix de l’outil de surveillance[12]

| | Principaux avantages | Principales limitations | Champ d’applications privilégié |
|--------------------|--|--|---|
| Analyse vibratoire | -Détection de défauts à un stade précoce - Possibilité de réaliser un diagnostic approfondi - Autorise une surveillance continue - Permet de surveiller l’équipement à distance (télémaintenance) | -Spectres parfois difficiles à interpréter - Dans le cas de la surveillance continue, installations relativement coûteuses | -Détection des défauts de tous les organes cinématiques de la machine (balourd, défauts d’alignement, jeux, etc.) et de sa structure |
| Analyse d’huiles | -Détection d’une pollution anormale du lubrifiant, avant que celle-ci n’entraîne une usure ou un échauffement - Possibilité de connaître l’origine de l’anomalie par analyse des particules | -Ne permet pas de localiser précisément le défaut - Nécessite de prendre de nombreuses précautions dans le prélèvement de l’échantillon | - Contrôle des propriétés physico-chimiques du lubrifiant, détection d’un manque de lubrification, analyse des éléments d’usure, analyse de contamination par le process (étanchéité), etc. |
| Thermographie IR | - Permet de réaliser un contrôle rapide de l’installation - Interprétation souvent immédiate des résultats | - Détection de défauts à un stade moins précoce que l’analyse vibratoire - Contrôle limité à ce que “voit” la caméra (échauffements de surface) - Ne permet pas de réaliser un diagnostic approfondi | -Détection de tous les défauts engendrant un échauffement (manque de lubrification en particulier) |
| Analyse acoustique | - Permet de détecter l’apparition de défauts audibles - Autorise une surveillance continue | - Sensibilité au bruit ambiant - Diagnostic souvent difficile à réaliser - Problèmes de répétabilité des mesures | -Détection d’un bruit inhabituel pouvant ensuite être analysé par analyse vibratoire |

Tableau I.1 Choix de l’outil de surveillance

I.7.4.Choix de l’outil de surveillance suivant les défauts potentiels

Le tableau I.2 illustre le choix de l’outil de surveillance suivant les défauts potentiels [12].

| Type de défauts | Analyse vibratoire | Thermographie IR | Analyse d’huiles | Analyse acoustique |
|---|----------------------------|---------------------------|--------------------------------|------------------------------|
| Déséquilibres, balourd | Oui | Non (sauf s’il y a usure) | Oui (s’il y a un échauffement) | Non |
| Jeux, défauts de serrage | Oui | Non (sauf s’il y a usure) | Oui (s’il y a un échauffement) | Oui (s’il y a une résonance) |
| Défauts spécifiques aux roulements | Oui | Oui | Oui | Oui |
| Défauts spécifiques aux engrenages | Oui | Oui | Oui | Oui |
| Défauts de courroies | Oui | Non | Oui | Oui |
| Défauts d’alignement | Oui | Non | Oui | Oui |
| Défauts liés à la lubrification : - dégradation de la qualité de l’huile | Non (sauf paliers fluides) | Oui | Non | Oui |
| manque d’huile | Oui | Oui | Oui | Oui |
| Défauts de nature électrique ou électromagnétique | Oui | Non | Oui | Oui |
| Défauts liés aux écoulements (pour pompes et machines hydrauliques) | Oui | Non | Non | Oui |

Tableau I.2 Choix de l’outil de surveillance suivant les défauts potentiels

Conclusion

En fait, la maintenance conditionnelle est la maintenance idéale car elle répond aux besoins exprimés par le comportement des équipements et ce en prévision de la survenance de dommages, mais en pratique elle dépend de l'expérience des ingénieurs dans le domaine de la maintenance et doit également prendre en compte l'aspect financier et économique de toute entreprise.

Le chapitre suivant sera consacré à la présentation des notions de base de l'analyse vibratoire, ainsi que les différents défauts des machines tournantes.

Chapitre II

L'analyse vibratoire

Introduction:

La plupart des usines contiennent des systèmes électromécaniques et la surveillance des vibrations est la base de la maintenance préventive dans les usines. La technologie de surveillance des vibrations est la plus efficace et utilisée pour détecter facilement et rapidement des différents types de défauts qui permettent de suivre l'état de la machine tournante en fonctionnement pour éviter l'arrêt. Signature d'une vibration spécifique liée à sa conception et à son état. Comme le changement de son état entraîne une modification de la signature vibratoire, cette modification est utilisée pour détecter, distinguer et identifier diverses erreurs résultantes. Dans ce chapitre, nous présentons une étude théorique sur les vibrations et l'analyse des vibrations, ainsi que les différents défauts des machines tournantes.

II.1 Machines tournantes électriques:

Les machines tournantes sont des systèmes (figure II.1) dans lesquels peut se distinguer[7] :

1. Un rotor.
2. Une structure.
3. Des liaisons.

II.1.1. Un rotor :

Le rotor est une structure dont les éléments tournent autour d'une ligne de rotation. Le rotor fait de plusieurs matériaux (acier, cuivre, bois, plastique...), réalise une fonction bien définie : (manipulation de fluides, de solides, parcours dans un champ électromagnétique...).

II.1.2. La structure :

La structure non rotative comprend les éléments essentiels suivants :

- **Les coussinets** de faibles dimensions au droit des tourillons du rotor. Des bagues peuvent être substituées aux coussinets : roulements.
- **Les paliers** qui relient les coussinets (bague) au stator.
- **Le stator** ou enveloppe de la machine ; il contient des éléments essentiels : circuit magnétique dans les machines électriques, ailette pour les turbomachines...etc.

➤ **Le massif** des systèmes embraqués peut prendre des formes beaucoup plus variées que celles des systèmes terrestres dont les massifs sont liés aux radies. Une interface adapte le stator au massif. Cette adaptation exige de résoudre un problème qui relève de la suspension des machines dont peut dépendre la tranquillité vibratoire, spécialement celle de l'envenimement.

➤ **Le radier** est un élément spécifique aux systèmes terrestres. Il assure la liaison entre le massif et sols et a pour mission de diminuer les pressions exercées au sol dans des limites acceptables. C'est par lui que les séismes perturbent les machines tournantes, il peut être responsable de certains déliègnages entre les paliers.

II.1.3. Les liaisons :

Le rotor est lié à la structure non rotative par des liaisons qui assurent le guidage du rotor. Les liaisons sont classées dans trois ensembles :

- Les liaisons à fluides
- Les liaisons à roulements
- Les liaisons magnétiques

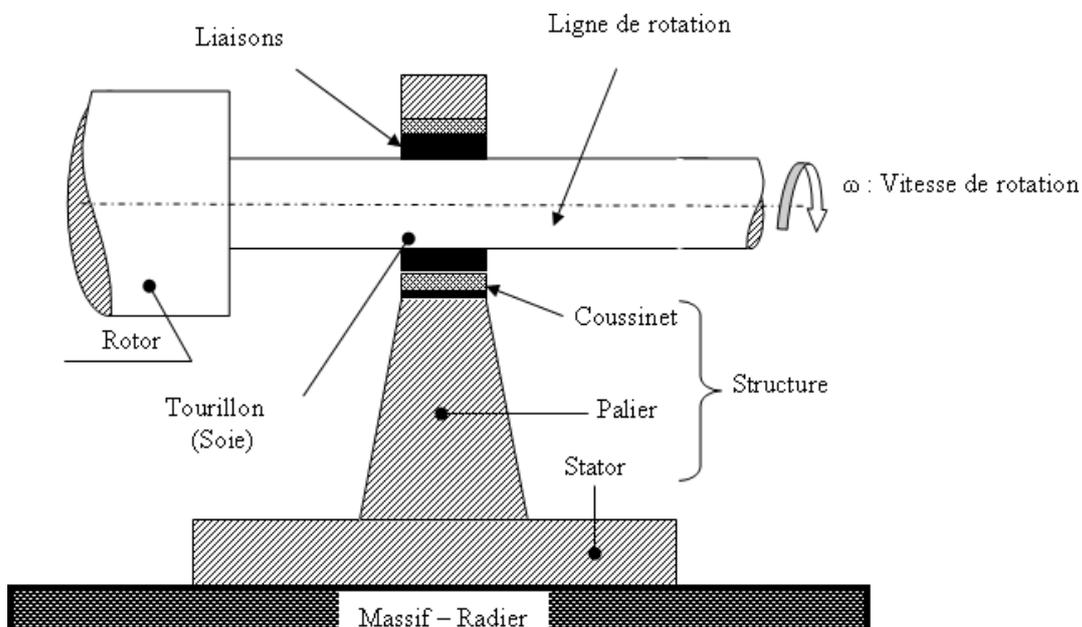


Fig. II.1 Élément générale des Machine tournante [7].

II.2 Classement « VIS » des machines :

Afin de ne pas surveiller inutilement des machines qui n'ont pas une importance capitale, les industriels établissent souvent le classement suivant :

- machines Vitales : machines non doublées dont la panne entraîne l'arrêt de la production. Les frais et les délais de remise en état sont importants. Les pertes de production sont inacceptables.
- machines Importantes : machines doublées ou non dont la panne entraîne une baisse sensible de la production. Les frais et délais de remise en état sont importants, les pertes de production aussi.
- machines Secondaires : machines doublées ou dont une panne ne remet pas en cause les capacités de production[8].

II.3 Vibration mécanique

II.3.1. Définition d'une vibration:

Définition de la norme NFE 90-001[9]: Une Vibration est une variation avec le temps d'une grandeur caractéristique du mouvement ou de la position d'un système mécanique lorsque la grandeur est alternativement plus grande et plus petite qu'une certaine valeur moyenne ou de référence.

Le mouvement Vibratoire le plus simple à étudier est celui traduisant le déplacement d'un point (A) situé sur un cercle et tournant à une Vitesse de rotation (w) [11].

II.3.2. Origine des vibrations d'une machine tournante électrique

D'après la définition donnée à la section précédente, seules les forces excitatrices appliquées à une structure sont à l'origine de ses vibrations. Le transfert entre ces forces et les vibrations qu'elles engendrent est la réponse mécanique de la structure, illustrée par la figure II.2 [12].

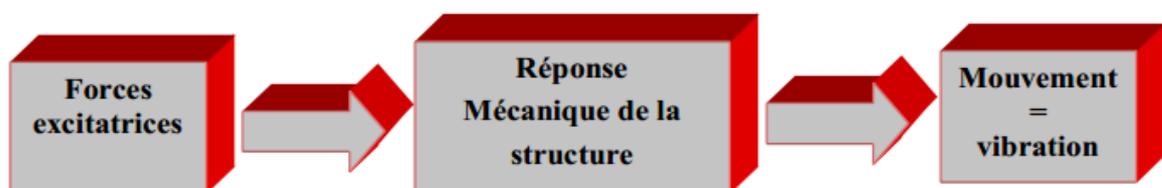


Fig. II.2 Définition de la réponse mécanique d'une structure[12].

II.4. Caractéristiques d'une vibration:

Une vibration se caractérise principalement par, son amplitude, sa période et sa fréquence (voir Figure II.3) [11].

Son amplitude A qui est la valeur de ses écarts par rapport au point d'équilibre.

Sa période T, durée correspondant à l'intervalle de temps entre deux positions successives

identiques. La période se note **T** et s'exprime en **seconde (s)**.

Sa fréquence f, qui est le nombre de cycles par seconde, et qui est l'inverse de la période T. La fréquence se note **f** et s'exprime en **Hertz (Hz)**. ($1 \text{ Hz} = 1 \text{ s}^{-1}$).

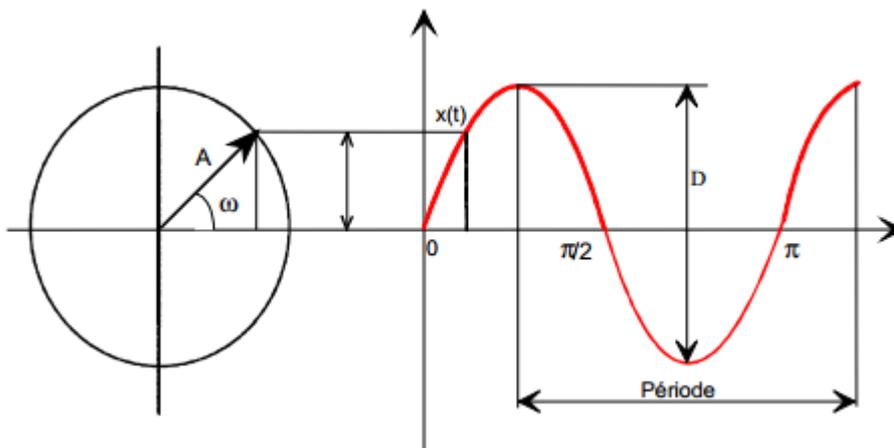


Fig. II.3 Représentation d'une vibration sinusoïdale

La rotation de A entraîne une variation sinusoïdale de sa projection X qui répond à la relation :

$$X(t) = A.\sin (\omega t) \quad (\text{II.1})$$

La fréquence est donc l'inverse de la période :

Le signal Vibratoire obtenu précédemment est une sinusoïde de période T.

$$F=1/T \quad (\text{II.2})$$

La période T est fonction de la Vitesse de rotation : plus on tourne vite (ω) grand) et plus la période sera petite, donc plus la fréquence sera grande. Donc il existe un lien entre la fréquence et la vitesse de rotation :

$$\omega = 2\pi f \text{ et } f = N/60 \text{ avec } \omega \text{ en rad/s } f \text{ en Hz et } N \text{ en } (1 \text{ tr/min})/60 \quad (\text{II.3})$$

Sur les machines tournantes industrielles, on utilise souvent le tour par minute pour exprimer une vitesse de rotation, parfois noté CPM (cycle par minute) ou RPM (rotation par minute).

$$1 \text{ Hz} = 1 \text{ CPM}/60 = 1 \text{ RPM}/60 = (1 \text{ tr/min})/60 \quad (\text{II.4})$$

II.5 L'analyse vibratoire en tant qu'outil de diagnostic

Il est important de savoir comment naissent et d'où proviennent les dérèglages, dysfonctionnements ou pannes sur une installation. Un des moyens pour y parvenir consiste à analyser la signature vibratoire qui en sort. On fait ici l'hypothèse implicite selon laquelle les vibrations sont l'image du comportement dynamique de tout organe mécanique de la machine.

-L'utilisation de l'analyse des signaux vibratoires comme méthode de diagnostic remonte aux années 1960 [Pusey, 2008]. Depuis, on y fait largement appel dans la plupart des installations industrielles, particulièrement dans la prévention des pannes mécaniques. Au début, l'analyse fut fondée autour des représentations de la variation temporelle de l'amplitude des vibrations, appelées signatures vibratoires, essentiellement à base de comparaisons. Pour cela, des techniques analytiques ont été utilisées. Cependant, des lacunes et autres désaccords sont vite apparus lors d'applications sur différents types de machines. Les limites résident au niveau de l'instrumentation disponible et de l'aptitude effective à identifier des défauts sur un matériel en fonctionnement.

-Les systèmes de capture et de transmission des vibrations influent sur la qualité de la méthode de diagnostic vibratoire. Avant d'atteindre le capteur, le signal vibratoire dû à un défaut suit un chemin le long duquel il peut subir des déformations plus ou moins importantes. Ainsi, les propriétés de masse-raideur amortissement de la machine et les différentes liaisons entrent en jeu. Théoriquement, ce changement sur le signal, appelé fonction de transfert entre la source et le capteur, peut être mesuré sur les analyseurs de Fourier. Mais en pratique, cela est peu commode pour les installations en

fonctionnement. En outre, les non linéarités structurelles compliquent la résolution du problème.

-Dans l'étape d'analyse du signal, les techniques se basant sur la détermination et l'identification de fréquences ont été employées depuis longtemps. Les fréquences relevées sont comparées à celles caractéristiques de l'installation ou à leurs ordres et/ou aux bandes latérales. Cependant, la formalisation de la méthode n'existe pas encore [15].

II.5.1. Activités de l'analyse vibratoire

-La surveillance

-La détection

-Le diagnostic

II.5.2. Indicateurs de surveillance

Il existe différents indicateurs de surveillance du niveau vibratoire d'une machine permettant la détection ou le suivi de l'évolution d'un défaut ou d'un ensemble de défauts tels que les ceux d'engrenages et de roulements.

Parmi ces indicateurs, on trouve d'après [17]:

- Les indicateurs scalaires dérivant de la puissance et de l'amplitude crête du signal vibratoire (valeur efficace "RMS", valeur crête, facteur de crête, Kurtosis)
- Les indicateurs spectraux permettant le suivi de l'évolution de la signature vibratoire (spectre à résolution constante, spectre à pourcentage de bandes constant).
- Les indicateurs spécifiques associés à la détection précoce d'un défaut particulier (amplitude d'une raie spectrale, amplitudes des harmoniques spectraux). Comme le facteur K qui est spécifique aux roulements.

L'évolution de ses indicateurs permet un déclenchement d'alerte d'une dégradation du fonctionnement, sans pour autant désigner l'élément défectueux.

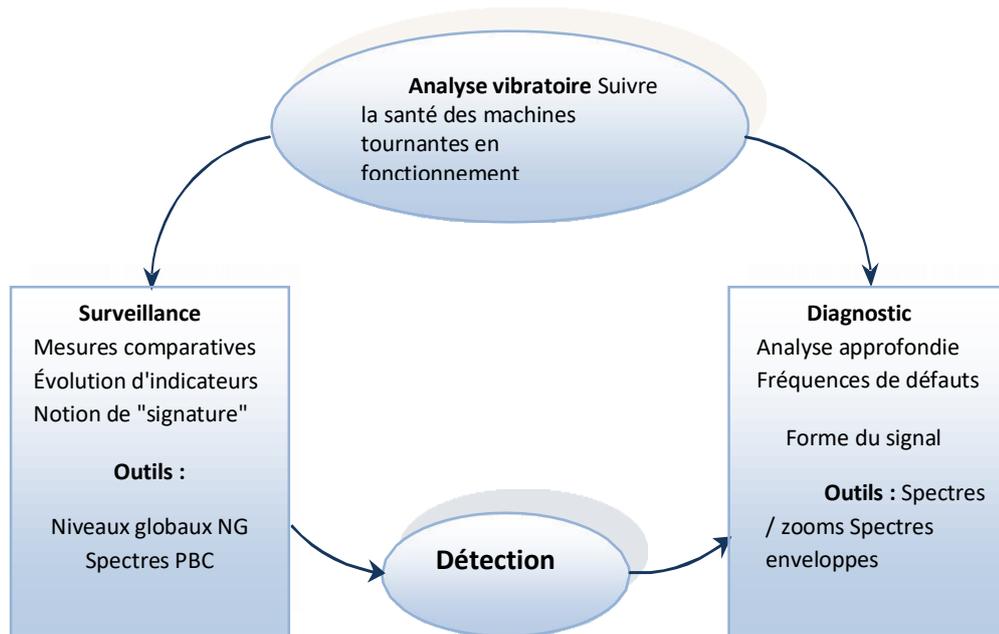


Fig. II.4 Schéma présentatif des activités de l'analyse vibratoire.

II.6 Types des signaux vibratoires

La figure II.7,représente les différentes types des signaux

II.6.1.Signaux déterministes

Des signaux (périodique ou non périodique) dont l'évolution en fonction du temps peut être parfaitement décrite par un modèle mathématique. Ces signaux proviennent de phénomènes pour lesquels on connaît les lois physiques correspondantes et les conditions initiales, permettant ainsi de prévoir le résultat. Les signaux non périodiques se composent d'une part des signaux pseudopériodiques formés d'une somme de sinusoides de périodes différentes et d'autre part des signaux transitoires dont l'existence est limitée dans le temps.

Ces signaux "certains" peuvent en principe être reproduits rigoureusement identiques à eux-mêmes [13].

Il peut être périodique ou non

II.6.2.Les vibrations périodiques

Peuvent correspondre à un mouvement sinusoïdal pur comme celui d'un diapason ou, plus généralement, à un mouvement complexe périodique que l'on peut décomposer en une

somme de mouvements sinusoïdaux élémentaires, plus faciles à analyser.

Les mouvements sinusoïdaux élémentaires sont appelés « composantes harmoniques » et leurs fréquences sont des multiples entiers de la fréquence du mouvement étudié qui est appelée.

« fréquence fondamentale » ou fréquence de l'harmonique d'ordre 1. [15]

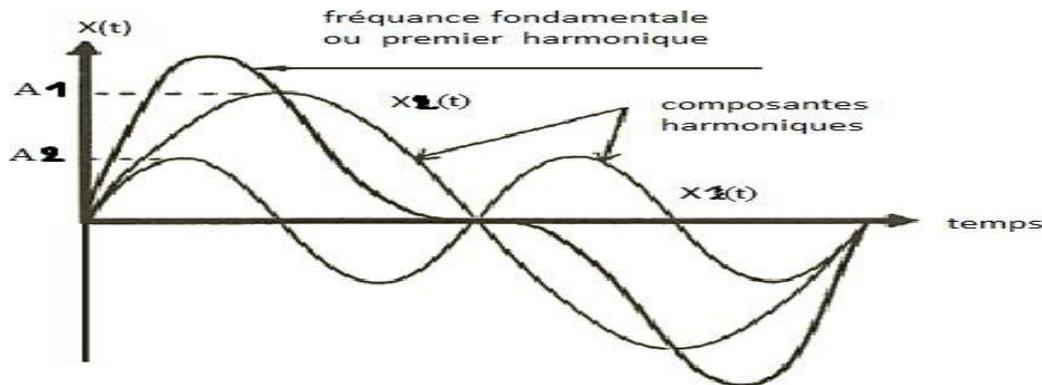


Fig. II.5 Décomposition d'un signal temporel

II.6.3. Signaux aléatoires

Le signal aléatoire fait intervenir deux notions :

- La notion de signal c'est à dire une mesure qui dépend d'un ou plusieurs paramètres d'espace, le plus souvent le temps.
- La notion d'aléatoire qui fait que, à un instant t donné, la mesure n'est pas certaine mais dépend du hasard. Cet aspect est appelé l'aspect stochastique et on parle indifféremment de signal aléatoire ou de signal stochastique.

Ce sont les signaux qui ont caractère non reproductible et imprévisible. [12]

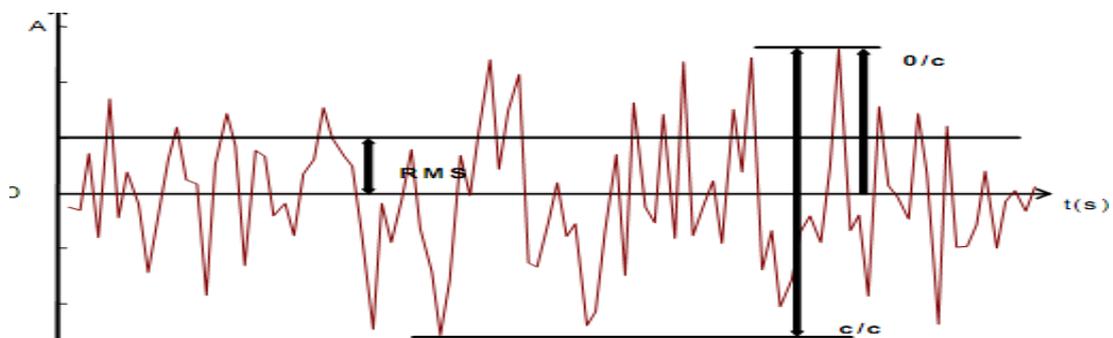


Fig. II.6 Décomposition d'un signal aléatoire [15]

II.6.4. Les vibrations transitoires

Sont générées par des forces discontinues (chocs). Elles peuvent présenter ou non un aspect oscillatoire revenant à une position d'équilibre après amortissement. Lorsqu'il existe des oscillations, comme pour une structure qui vibre après un choc et pour laquelle le coefficient d'amortissement est faible, on dit qu'il y a un amortissement subi-critique, et le mouvement est pseudopériodique. Si l'amortissement est très important, la structure revient à sa position d'équilibre sans oscillation, on dit alors que l'amortissement est sur-critique et le mouvement est aperiodique. (Comme par exemple la vibration provoquée par un marteau pilon) [15].

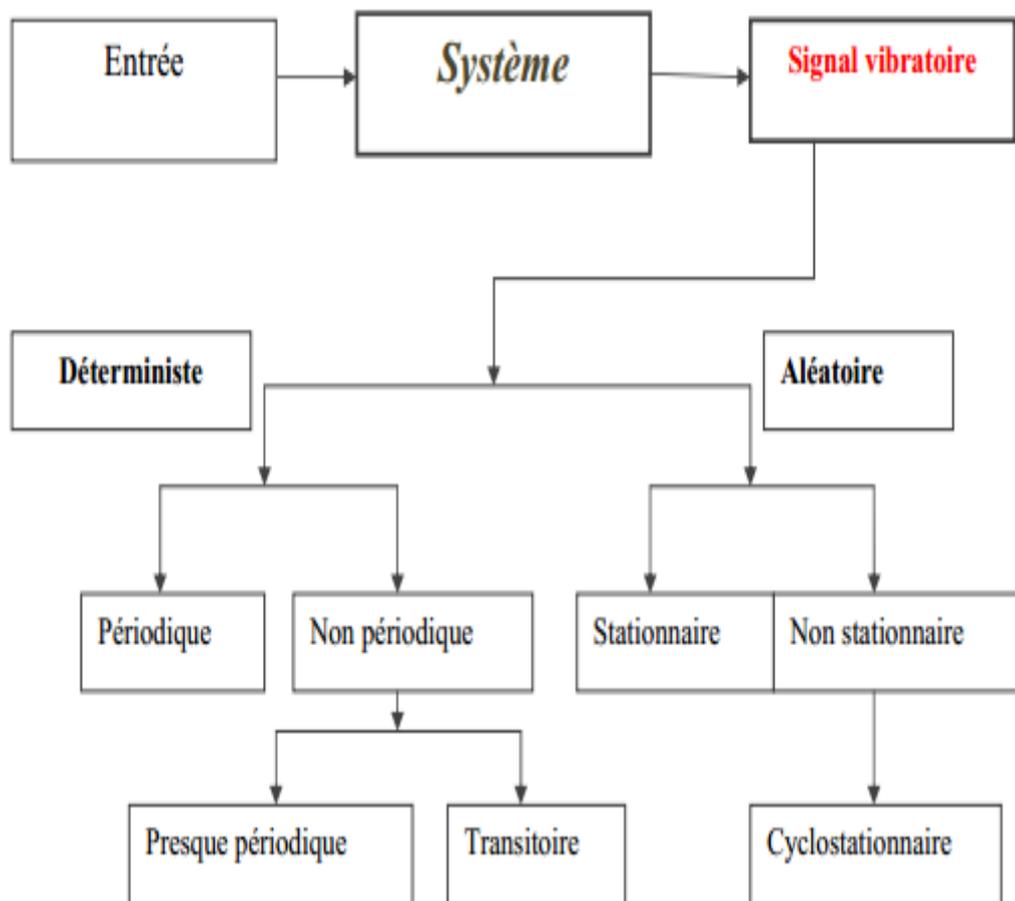
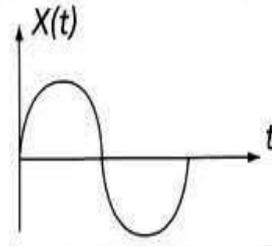
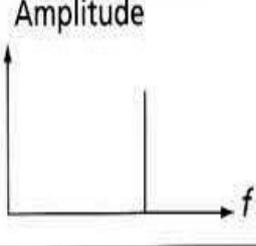
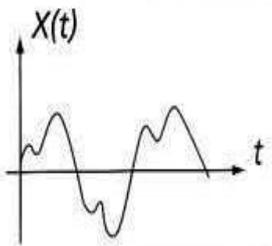
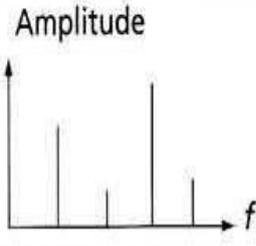
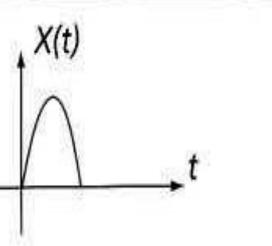
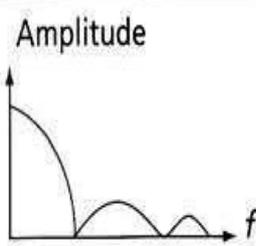
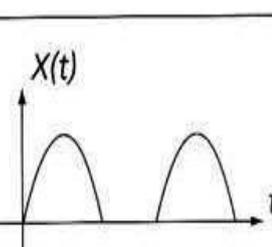
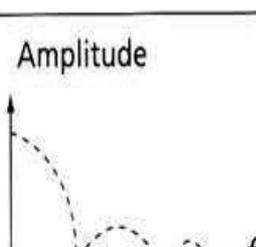
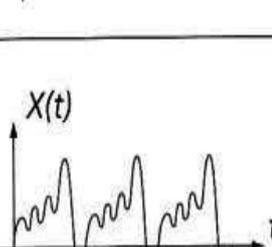
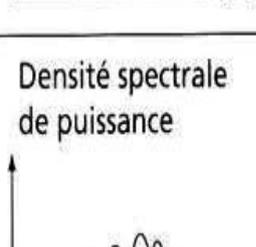


Fig. II.7 les différents types des signaux vibratoires

Tableau II.1 Différents types de vibrations [15]

| Nature de vibration | Forme temporelle | Forme spectrale | Phénomène générateur |
|------------------------|---|--|---|
| Sinusoidale |  |  | Balourd |
| Sinusoidale complexe |  |  | Effort dynamique d'engrènement |
| Transitoire |  |  | Explosions, Marteaux-pilons, Laminaires |
| Transitoire périodique |  |  | Presse automatiques, Cames |
| Aléatoire |  |  | Oscillations de pression exercées sur une structure baignant dans un fluide en écoulement |

II.7 Les grandeurs de mesure d'une vibration

Une vibration mécanique peut être mesurée selon les trois grandeurs suivantes :

.Déplacement:

$$d = A \cdot \sin(2\pi ft) \quad (\text{II.5})$$

.Vitesse (variation du déplacement par unité de temps):

$$v = A2\pi ft \cos(2\pi ft) \quad (\text{II.6})$$

.Accélération (variation de la vitesse par unité de temps):

$$a = -A(2f\pi)^2 \sin(2\pi ft) \quad (\text{II.7})$$

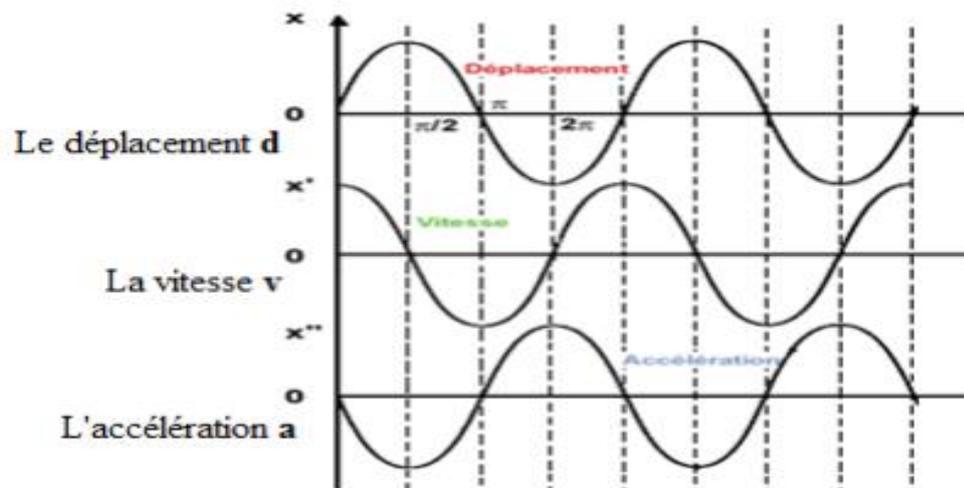


Fig. II.8 Grandeurs associées à une vibration

II.8 Les capteurs de vibrations

La première étape conduisant à l'obtention d'une lecture de vibration consiste à convertir la vibration mécanique produite par une machine en un signal électrique équivalent.

Cette opération est réalisée au moyen des capteurs de vibrations, on retrouve parmi les capteurs les plus couramment utilisés le proximètre (mesure de déplacement), la vélocimétrie (mesure de vitesse) et l'accéléromètre (mesure d'accélération). [14]

II.8.1. Capteur de déplacement :

Le proximètre, ou sonde capteur de déplacement sans contact directement proportionnel au déplacement relatif de la vibration d'un arbre ou d'un rotor, il est monte en permanence à l'intérieur du palier [figure II.9], les mesures en déplacement ne sont pas quantifiables dans toutes les gammes de fréquence, ces mesures seront limitées aux basses fréquences (< 100 Hz). [14]



Fig. II.9 proximètres et leur driver. [4]

le capteur de déplacement est utilisé pour toutes les applications ou la surveillance des jeux entre les arbres et les paliers s'avèrent essentielle

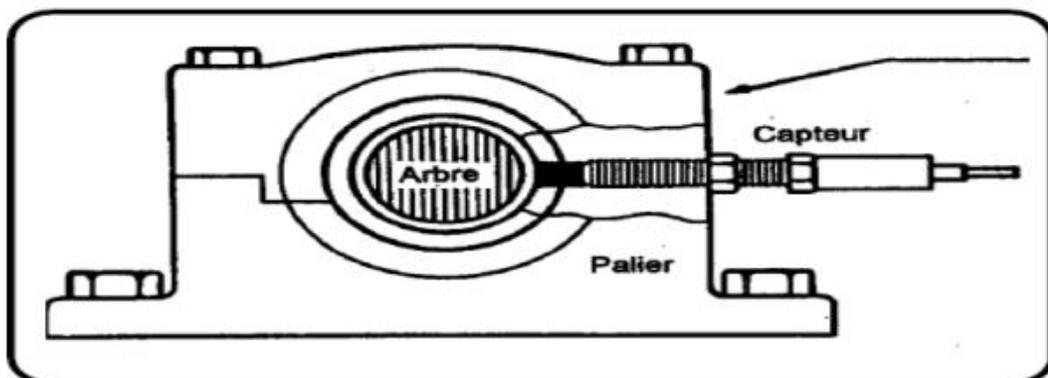


Fig. II.10 proximètre monte sur un palier. [14]

II.8.1.1. Les avantages et les inconvénients

a. Avantages

- Mesure directement les mouvements d'arbre
- Même capteur pour les butées axiales, les vibrations radiales et la vitesse
- Mesure directement le déplacement
- Pas de pièce mobile

b. Inconvénients

- Sensible au matériau de l'arbre
- Installation
- Gamme de fréquence limitée. Pas de détection des défauts de roulements
- Restriction de températures. [14]

II.8.1.2 Problèmes et défauts détectés

- Arbre
- Palier lisse
- Butée
- Généraux : balourd, désalignement, usure, etc.

II.8.2. Vélocimétrie

Les capteurs de vitesse, ou vélocimétrie, sont constitués d'une sonde à contact dite sonde sismique qui mesure le mouvement absolu de l'organe sur lequel elle est fixée. [14]

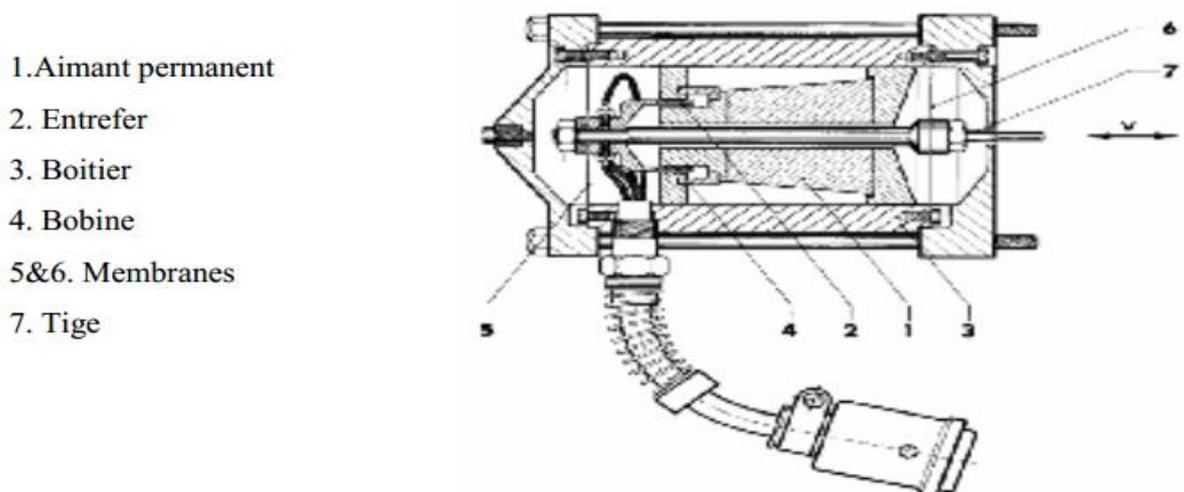


Fig. II.11 schéma de principe d'une vélocimétrie. [9]



Fig. II.12 capteur de vélocimétrie. [14]

II.8.3. Les accéléromètres

Un accéléromètre piézoélectrique (figure II.13) est composé d'un disque en matériau piézoélectrique (quartz), qui joue le rôle d'un ressort sur lequel repose une masse sismique précontrainte

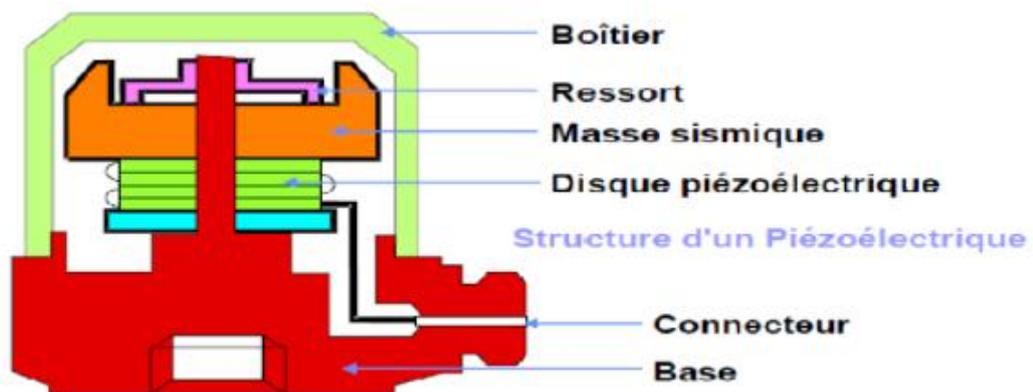


Fig. II.13 Schéma de principe d'un accéléromètre. [4]

Les accéléromètres piézoélectriques tendent à devenir les capteurs de vibration absolue les plus utilisés pour la surveillance. Ils possèdent les propriétés suivantes :

- Utilisables sur de très grandes gammes fréquentielles.
- Excellente linéarité sur une très grande gamme dynamique (typiquement 140 dB).
- Le signal d'accélération peut être intégré électroniquement pour donner le

déplacement et la vitesse.

- Aucun élément mobile, donc extrêmement durable. [14]

II.8.3.1. Les avantages est les inconvénients

a. Les avantages

- Facile à installer
- Petit, léger
- Supporte les hautes températures
- Pas de pièce mobile

b. Les inconvénients

- Nécessite une double intégration pour le déplacement
- Nécessite une source extérieure
- Fournit des informations limitées sur la dynamique d'arbre
- Médiocre pour les faibles vitesses. [14]

II.9 La nature de vibration

Chaque nature de vibration connaît par sa représentation temporelle, la Tableau II.2

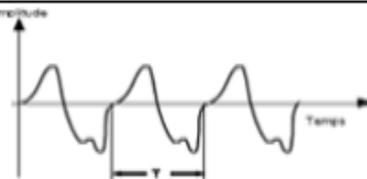
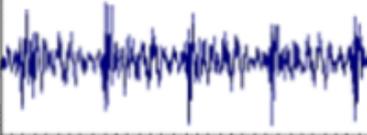
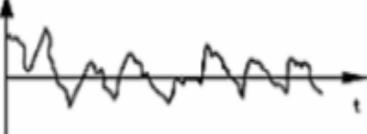
| Nature de vibration | La représentation temporelle de vibration | Les causes |
|--|--|---|
| Périodique de type sinusoïdal simple |  | Balourd |
| Périodique de type sinusoïdal complexe |  | Engrènement |
| Périodique de type impulsionnel |  | Ecaillage des roulements |
| Aléatoire de type impulsionnel |  | Défauts de lubrification sur des roulements cavitation |

Tableau II.2 La représentation temporelle de chaque nature de vibration[12]

II.10 Défauts des machines électriques tournantes

II.10.1. Défaut de balourd :

Un balourd est une dissymétrie de masse par rapport à l'axe de rotation. Car en pratique, il n'est pas possible de faire coïncider l'axe de rotation avec le centre de gravité de chaque tranche élémentaire du rotor. Il en résulte que l'arbre en rotation est soumis à des forces centrifuges qui le déforment. Ces efforts se traduisent par des vibrations liées à la vitesse de rotation. En général, ce déséquilibre peut provenir de défauts d'usinage, de montage, d'altérations mécaniques et thermiques (figure II.15).[16]

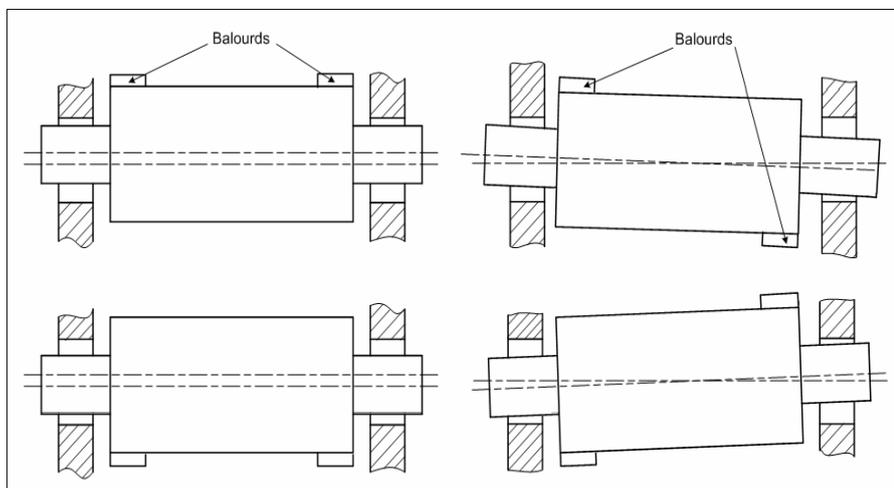


Fig. II.14 Défaut de balourd [16]

Le balourd engendre en pratique une vibration radiale qui croit fortement avec la vitesse de rotation et qui va se traduire sur le spectre par la présence d'amplitude prépondérante à la fréquence de rotation du rotor et cette vibration ne contient que peu d'harmoniques

figure II.16 [16].

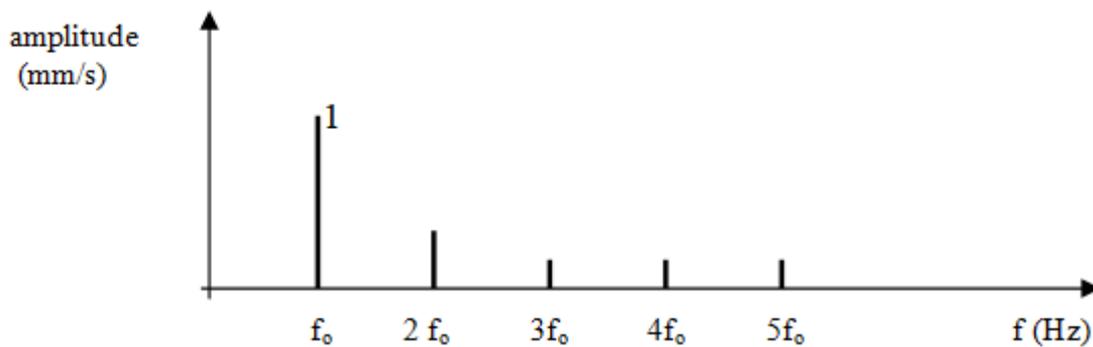


Fig. II.15 Image vibratoire théorique d'un balourd [16].

f_0 : fréquence de rotation.

II.10.1.1. Défaut de Balourd statique:

cas d'un balourd statique Figure II.17, les deux paliers supportant le rotor vont subir, en même temps, les effets de la force centrifuge due au déséquilibre. Il n'y aura donc théoriquement aucun déphasage entre les mesures prises sur les deux paliers pour une direction radiale donnée [15]

II.10.1.2. Défaut de Balourd dynamique:

cas de balourd dynamique Figure II.18., que l'on peut rencontrer dès que la longueur du rotor ne peut plus être considérée comme faible devant son diamètre, les deux paliers supportant le rotor vont subir les efforts tournants de façon quasi alternée. Le déphasage (voisin de $1/2$ tour soit 180°) entre les mesures effectuées pour une direction radiale donnée sur deux paliers consécutifs est donc révélateur d'un balourd dit « dynamique » [15]

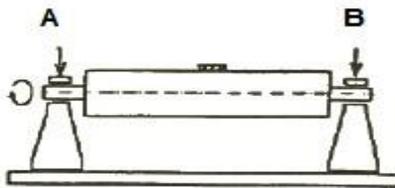
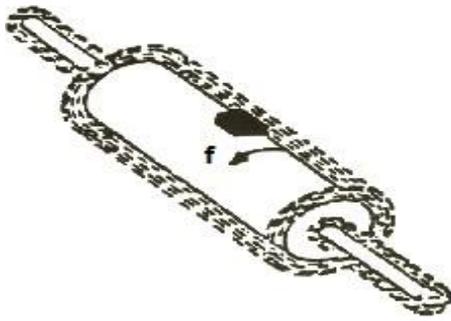


Fig. II.16 Balourd statique :
dynamique : Le déphasage est proche de 180°
sensiblement nu Entre les points A et B.

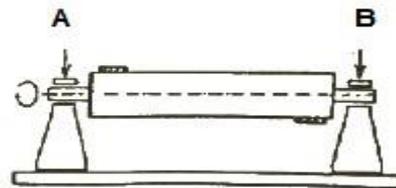
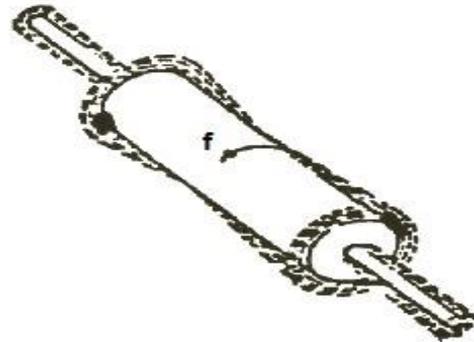


Fig. II.17 Balourd
le déphasage est
Entre les points A et B.

II.10.2. Défaut d'alignement:

Le défaut d'alignement est l'une des principales causes de réduction de la durée de vie des équipements, il concerne soit deux arbres liés par un accouplement, soit deux paliers soutenant le même axe. L'arbre moteur et l'arbre récepteur d'une machine ne sont pas parfaitement alignés. [3] Le signal temporel d'un défaut de désalignement a l'allure présentée à sur la figure II.20.

L'objectif du lignage de deux machines est de faire en sorte que les axes des deux lignes d'arbres soient parallèles et confondus. Deux types de défauts de lignage sont donc rencontrés [3]:

II.10.2.1. Défaut de d'alignement angulaire

il se produit quand l'axe de rotation de deux machines a un angle différent. Le désalignement angulaire se caractérise par une vibration axiale élevée.

II.10.2.2. Défaut de désalignement axial

il se produit quand les axes de rotation des deux machines ont le même angle d'orientation. Mais ils sont séparés verticalement, chacun de l'autre. Le désalignement axial (parallèle) se caractérise par une vibration radiale élevée.

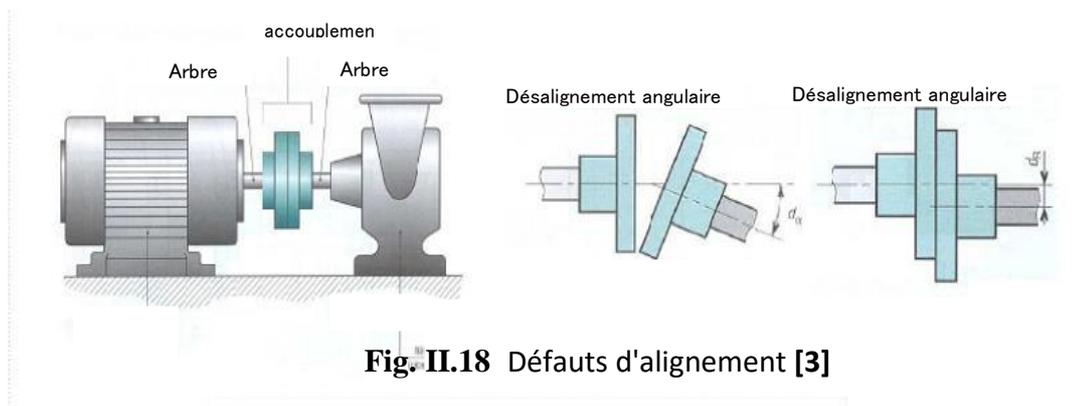


Fig. II.18 Défauts d'alignement [3]

Le signal temporel d'un défaut de désalignement a l'allure présentée à sur la figure II-20.

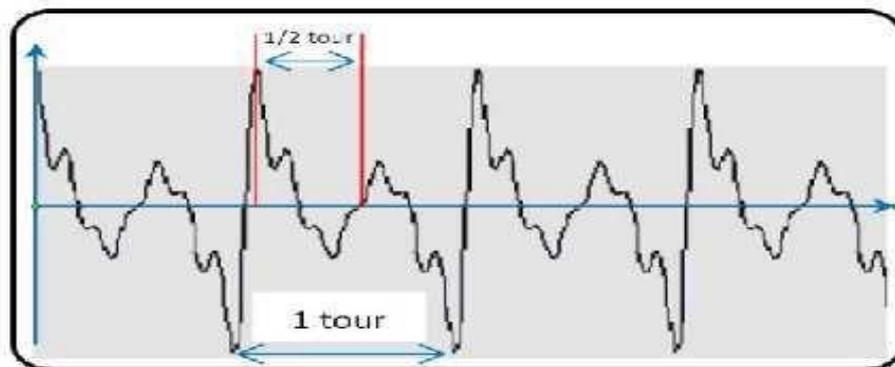


Fig. II.19 Signal temporel d'un défaut d'alignement

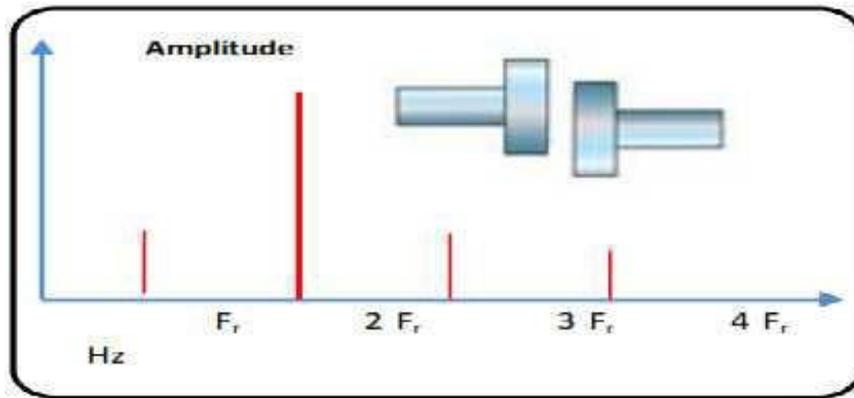


Fig. II.20 Image vibratoire d'un défaut d'alignement radial

II.10.2. Défauts des engrenages:

Considérons un engrenage (figure II.22) composé d'un pignon E1 possédant Z_1 dents tournant à la vitesse f_1 et d'une couronne E2 possédant Z_2 dents et tournant à la vitesse f_2 . La fréquence de rotation du pignon sera f_1 , celle de la couronne sera f_2 , et l'engrènement se fera au rythme d'engagement des dents selon une la fréquence d'engrènement (Gear Mesh Frequency GMF), appelée fréquence d'engrènement, égale à la fréquence de rotation multipliée par le nombre de dents. [18].

Soit :

$$GMF = Z_1 * f_1 = Z_2 * f_2 \quad (II.8)$$

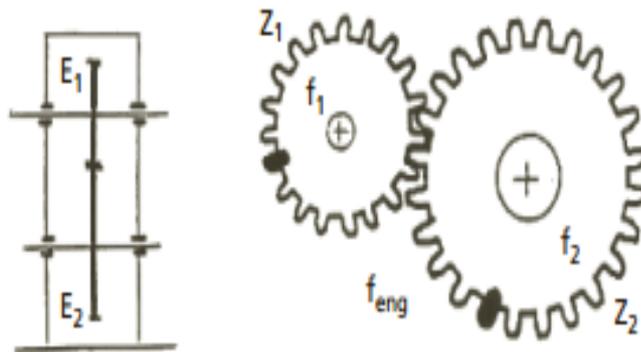


Fig. II.21 Fréquence d'engrènement : $GMF = Z_1 * f_1$ ou $Z_2 * f_2$

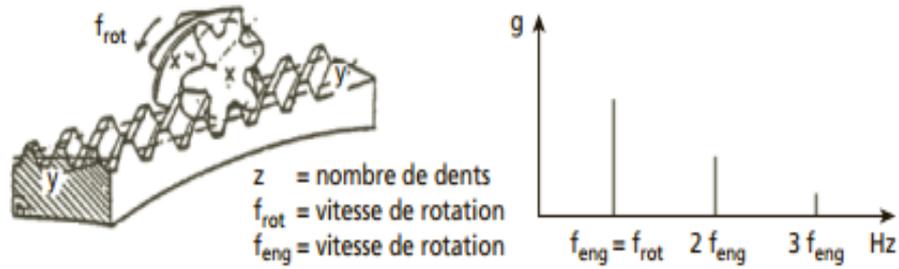


Fig. II.22 Typologie vibratoire d'un engrenage sain

Le défaut d'engrenage introduit une modulation d'amplitude à la fréquence de rotation de l'arbre, ce qui se traduit par l'apparition dans le spectre, de raies à la fréquence de rotation des arbres et des bandes latérales autour de la fréquence d'engrènement et de ses harmoniques. Ces bandes latérales se composent de plusieurs raies espacées de f_1 et f_2 .

La figure II.24 montre le spectre théorique d'un défaut d'engrenage[18].

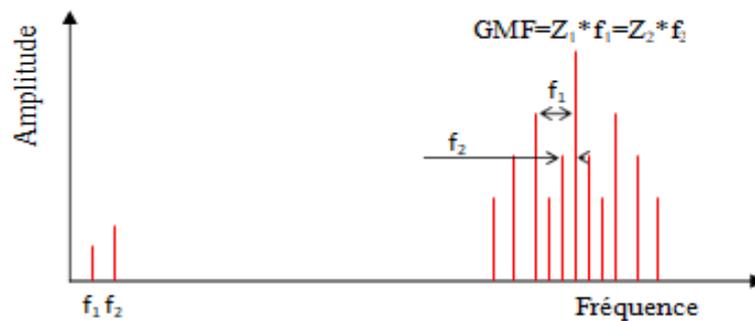


Fig. II.23 Représentation du spectre théorique d'un défaut d'engrenage

Différents types d'engrenages :

Les engrenages parallèles (les 2 arbres sont parallèles).

Les engrenages concourants (les 2 arbres sont tels que leurs prolongements se coupent).

Les engrenages gauches (les 2 arbres occupent une position relative quelconque)



Fig. II.24 Différents types d'engrenage

II.10.3. Défauts de serrage:

Le mauvais serrage de la structure de la machine génère des vibrations et un certain bruit.

Le spectre typique mesuré sur une machine dans laquelle il existe un jeu contient un grand nombre de pic à des fréquences multiples de la fréquence de rotation. Les causes d'un jeu sont principalement l'usure ou un mauvais montage. Il est également parfois possible de retrouver des pics à l'harmonique $\frac{1}{2}$ ($\frac{1}{2}$ de la fréquence de rotation de l'arbre) et ses multiples. La figure II.26 montre un exemple de spectre d'une machine dont le joint de l'accouplement est usé. La fréquence de rotation est de 24,25 Hz.

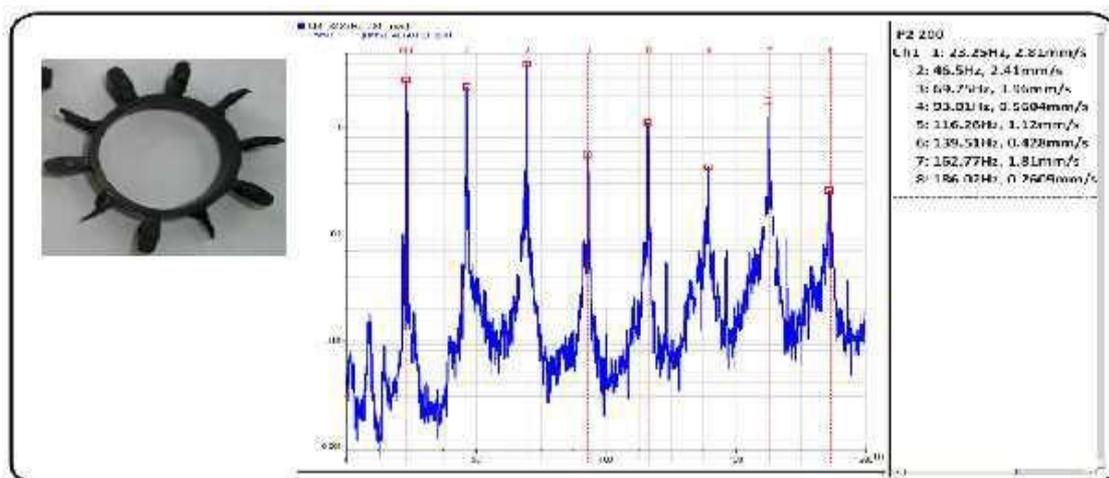


Fig. II.25 Défaut d'usure d'accouplement

II.10.4. Défauts de roulements

Les roulements sont les éléments mécaniques les plus importantes des machines tournantes. Le roulement, organe de base pouvant assurer à lui seul plusieurs fonctions parmi lesquelles la liaison mobile en rotation avec un minimum de frottement entre deux éléments, tout en supportant des charges radiales ou axiales plus ou moins importantes, il peut être aussi utilisé pour assurer un positionnement précis de l'arbre, et corriger des défauts d'alignement. Selon le type de roulement utilisé.

les roulements sont constitués de quatre composants essentiels Une bague extérieure, une bague intérieure, des organes roulants (billes) et un organe de lubrification (cage) (Figure II.27) [19].

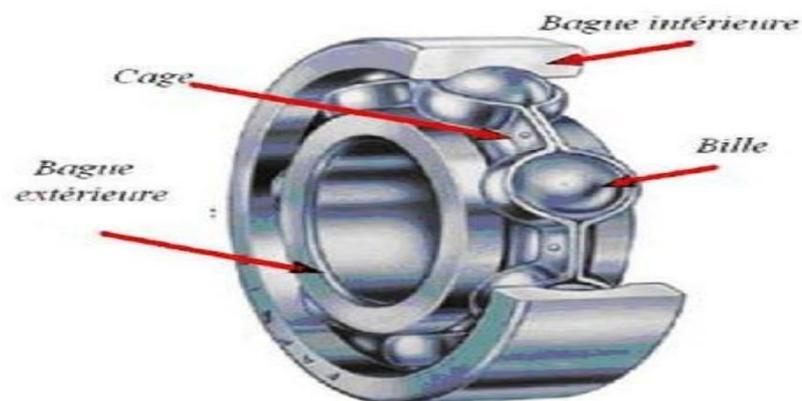


Fig. II.26 Constitution d'un roulement

II.10.4.1. Fréquences caractéristiques pour les défauts d'un roulement

Les roulements défectueux génèrent des vibrations de fréquences égales aux vitesses de rotation de chaque pièce du roulement. Ils correspondent notamment à la rotation des billes, des rouleaux ou de la cage et au passage des billes sur les bagues [20].

d : le diamètre de la bille
 D : le diamètre du cercle primitif
 α : l'angle de contact
 f_r : la fréquence de rotation
 de la bague interne (la bague
 externe étant supposée fixe)

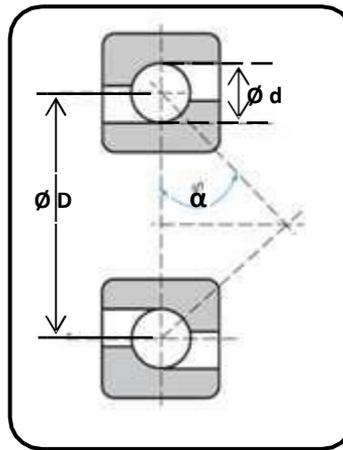


Fig. II.27 Caractéristiques d'un roulement

II.10.4.2. Défaut sur la bague extérieure

Un défaut de type écaillage affectant la bague externe d'un roulement a pour image vibratoire un peigne de raies dont le pas correspond à la fréquence du défaut. À chaque composante de ce peigne, est associée une paire de bandes latérales espacées de la fréquence de rotation, en cas de charge dynamique importante figure II.29. [20]

Sa fréquence caractéristique est donnée dans l'équation (II-6)

$$f_{b_{ext}} = 0.5 \times f_r \times n \left[1 - \left(\frac{d}{D} \cos \alpha \right) \right] \quad (\text{II.9})$$

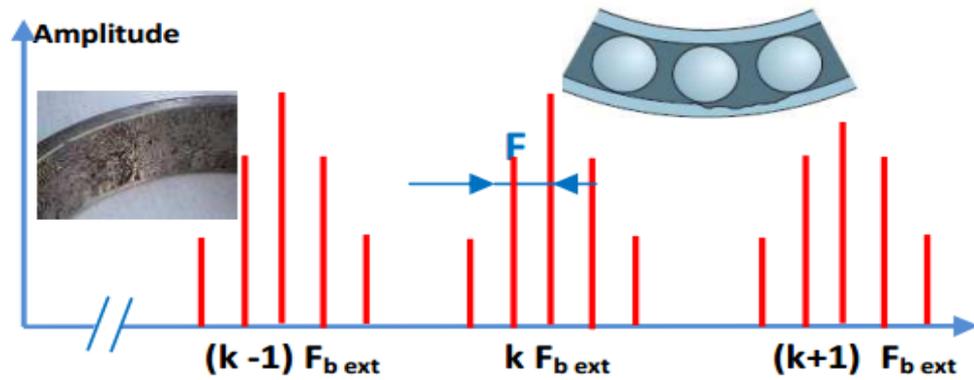


Fig. II.28 Image vibratoire théorique d'un défaut de type écaillage sur bague extérieure

II.10.4.3. Défaut sur la bague intérieure

Un défaut de type écaillage affectant la bague interne de roulement a pour image vibratoire un peigne de raies. A chaque composante de ce peigne, sont associées plusieurs paires de bandes latérales espacées de la fréquence de rotation (figure II.30) [20].

Sa fréquence caractéristique est donnée dans l'équation (II-7)

$$f_{b\ int} = 0.5 \times f_r \times n \left[1 + \left(\frac{d}{D} \cos \alpha \right) \right] \tag{II.10}$$

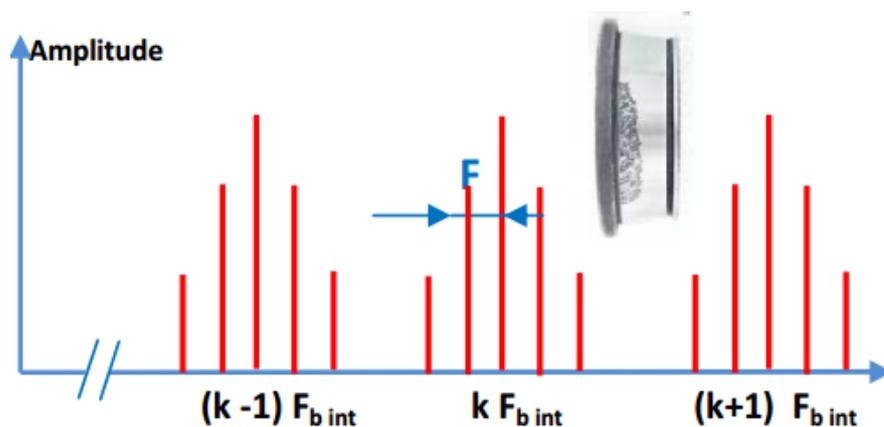


Fig. II.29 Image vibratoires théorique d'un défaut de bague intérieure

II.10.4.4. Défaut sur l'élément roulant

Un défaut de type écaillage sur un élément roulant (bille, rouleau ou aiguille) a pour image vibratoire un peigne de raies. A chaque composante de ce peigne, sont associées plusieurs paires de bandes latérales espacées de la fréquence de la cage (figure II.31) [20].

Sa fréquence caractéristique est donnée dans l'équation (II-8).

$$f_{bille} = 0.5 \times f_r \times \frac{D}{d} \left[1 - \left(\frac{d \cos \alpha}{D} \right)^2 \right] \quad (\text{II.11})$$

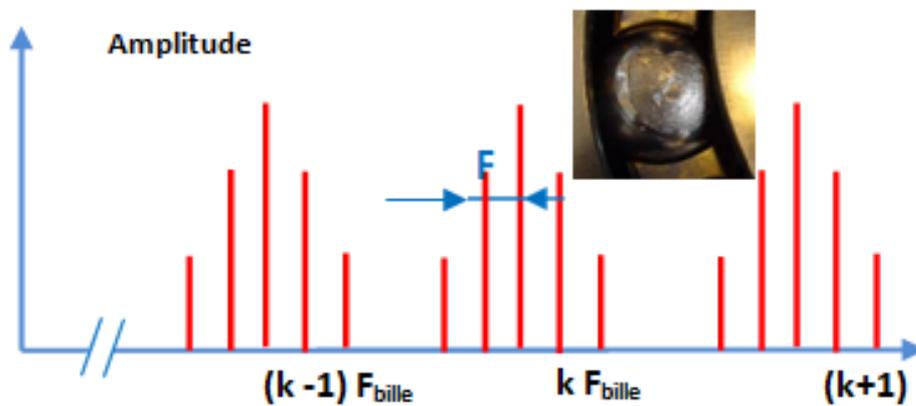


Fig. II.30 Image vibratoires théorique d'un défaut de bille

II.10.4.5. Défaut sur la cage

La fréquence de passage d'un défaut de cage est donnée par l'équation (I.9) : Ce défaut se manifeste par la présence de raies à la fréquence f_c et ses harmoniques. [20]. Sa fréquence caractéristique est donnée dans l'équation (II-9).

$$f_{cage} = 0.5 \times f_r \times \left[1 - \frac{d}{D} \cos \alpha \right] \quad (\text{II}12)$$

Donc :

$$f_{cage} = f_{b_{int}} / n \quad (\text{II}13)$$

II.10.4.6. Défauts de type déversement de bague

Le défaut de type déversement de bague extérieure figure II.32 s'exprime par une composante fondamentale d'amplitude élevée dont la fréquence correspond à la fréquence du défaut de la bague déversée, et par des composantes d'ordre supérieur d'amplitude très faible figure II.33[20].

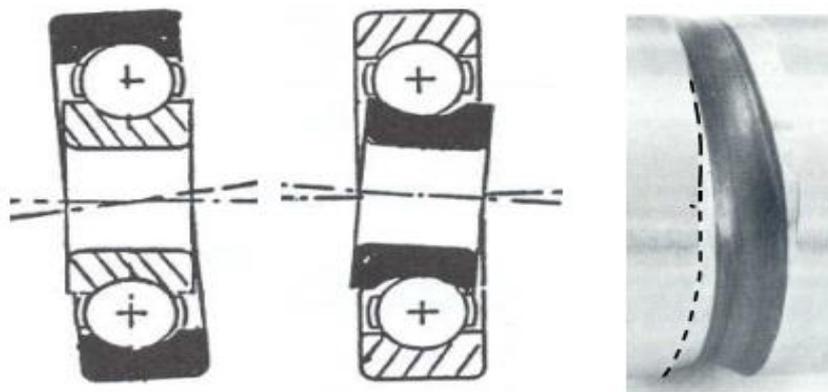


Fig. II.31 Défaut de déversement des bagues d'un roulement

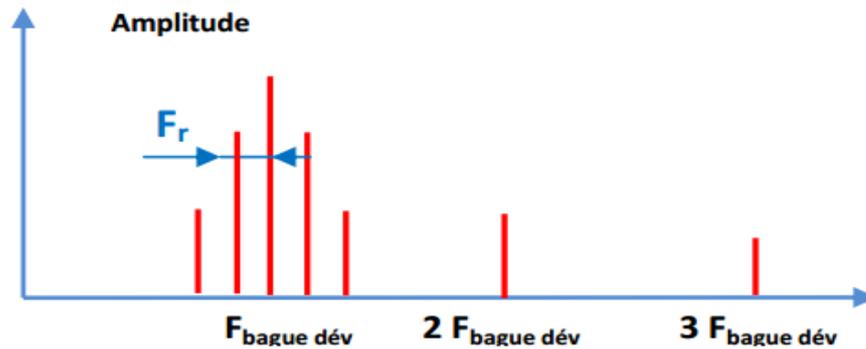


Fig. II.32 Image vibratoire théorique d'un défaut de type déversement de bague

II.10.4.7. Indicateurs vibratoires spécifiques aux roulements :

La dégradation localisée d'un roulement se manifeste par un choc dur, périodique, apparaissant à la fréquence du contact situé au niveau de la détérioration. Les vibrations induites sont des vibrations de type impulsionnel. L'interprétation des spectres de ces défauts sont parfois difficiles. Des méthodes spécifiques permettant d'obtenir, par des traitements particuliers, des valeurs globales significatives de la dégradation de roulement. Les indicateurs utilisant ces propriétés sont principalement le facteur de crête et le Kurtosis[20].

II.10.4.7.1. Facteur de crête

C'est le rapport entre la valeur de crête et la valeur efficace de l'accélération :

$$\text{Facteur de crête} = \frac{\text{Valeur de crête}}{\text{Valeur efficace}} = \frac{A_c}{A_{eff}} \quad (\text{II.14})$$

II.10.4.7.2. Le Facteur de défaut de roulement FD

Le Facteur de Défaut Roulement est un traitement spécifique du signal temporel adapté à la surveillance des roulements :

$$F_D = a.F_C + b.A_{eff} \quad (\text{II.15})$$

II.10.4.7.3. Distribution de l'amplitude : Kurtosis

Il s'agit d'un traitement statistique du signal temporel des vibrations, se basant sur la courbe de densité de probabilités de la répartition des niveaux vibratoires d'accélération.

Un roulement en bon état engendre un signal vibratoire dont la distribution de l'amplitude est Gaussienne avec un Kurtosis voisin de 3. Pour un roulement dégradé, présentant des écaillages, des indentations ou des jeux importants, l'allure de la distribution de l'amplitude du signal est modifiée et le Kurtosis K est supérieur ou égal à 4 (figure II.34).

Le Kurtosis caractérise l'écrasement de la courbe de densité de probabilité du signal enregistré[20].

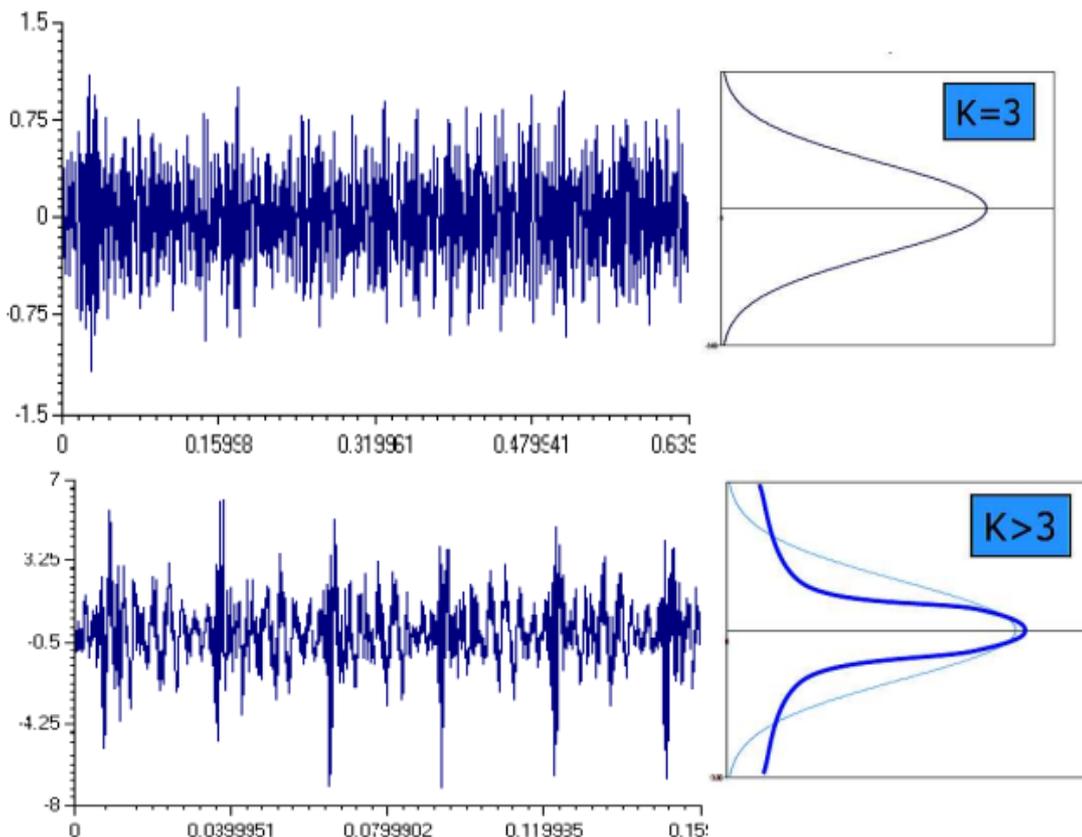


Fig. II.33 Evolution du Kurtosis aux différents stades de dégradation du roulement

Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons discuté des vibrations surveillées par analyse vibratoire. Nous avons étudié les différents défauts de la machine tournante. Les vibrations surveillées par analyse vibratoire sont un moyen catalytique pour obtenir des informations et détecter les défauts ou détériorations de la machine tournante et donner la meilleure mesure de son état malgré la différence de principe entre les capteurs vibratoires.

Chapitre III

Présentation de système étudier

Introduction

Nous pouvons signer les vibrations pour déterminer si les moteurs fonctionnent efficacement, ce qui permet de prédire les problèmes qui pourraient survenir dans le futur. Cela aide également à identifier le problème pour prendre des mesures curatives, telles que l'ajustement ou le remplacement de la pièce endommagée avant que l'appareil ne tombe en panne.

L'objectif de ce chapitre est de réaliser les tests à la usine cimenterie, mais en raison des circonstances, nous n'avons testé l'approche que sur un banc d'essai expérimentale avec des moteurs spécialement conçus pour les deux cas (sains et défectueux), par Smart Balancer, Nous mettrons l'accent sur la détection et la caractérisation de défaut d'excentricité dynamique, par l'analyse des signaleurs de vibration .

III.1. Définition

Les vibrations d'une machine peuvent être considérées comme manifestation extérieure des forces internes en effet l'analyse de leur signaux donne des information sur le processus de dégradation interne.

Il existe deux niveaux d'investigation:

- la mesure de niveau global permet de qualifier un état général par des comparaisons à des normes ou à des mesures précédentes.

- l'analyse spectrale permet de diagnostiquer l'origine des défauts et de suivre l'évolution en fonction du temps . [21]

l'analyse de vibration permet le diagnostique: défaut de serrage , d'excentricité, d'accouplement ...etc, l'état générale du fonctionnement par comparaison avec les vibration de l'état sain de la machine. [22]

Les vibration de la machine fournissent des informations sur pratiquement tous les défauts mécaniques fréquemment rencontrés. Plutôt que de disposer d'une étude au cas par cas, nous avons réalisé une synthèse de l'ensemble des informations que peuvent fournir ces signaux en fonction des défauts, à partir de la référence, qui présente les signatures vibratoires. Ces observations sont résumées dans le tableau(III.1)

Tableau III.1 Signature des défauts

| Type de défaut | Signatures vibratoires |
|---|--|
| Cassure de barres ou de portions d'anneaux | $f_{cb} = f_r \pm 2.s. f_s$ ou $f_{cb} = \left[\frac{(1-s)}{p} \pm 2 \right] \cdot f_s$ |
| Excentricité: -Statique -Dynamique | Statique: $f_{ES} = 2. f_s$ ou $k. f_r \pm f_s$ Dynamique: $f_{ED} = f_r \pm 2.s. f_s$ ou f_r |
| Roulement : -Bague extérieure -Bague intérieure -Cage -Bille | Bague extérieure: $f_{be-vid} = k. f_{be} = 0,4. N_b. f_r$ Bague intérieure: $f_{be-vid} = k. f_{bi} = 0,6. N_b. f_r$ ou $f_{be-vid} = f_{bi} \pm k. f_r$ Cage: $f_{cage-vid} = k. f_{cage} = 0,4. k. f_r$ Bille: $f_{bille-vid} = k. f_{bille} = 2,32. k. f_r$ |

III.2. Acquisition des données expérimentales issues de banc d'essai

La réalisation du banc d'essai a été étudiée et conçue au niveau du laboratoire de génie électrique Biskra (LGEB).

Notre travail consiste à réaliser une prise de mesure de vibration sur machine asynchrone par l'intermédiaire de l'analyseur de vibration portable SCHENCK Smart Balancer, en le connectant directement sur le moteur en différents endroits spécifiques. L'acquisition de donnée s'affiche sous forme d'un spectre qui sera ensuite analysé.

Parmi les grandeurs mesurées on cite : la vitesse, les tensions, les courants, les signaux de vibration, le couple, ... etc. ces grandeurs sont mesurées

L'élaboration de banc d'essai exige la possession de plusieurs machines de même type sous

différents états tel que, moteur sain, avec barres cassées, rotor excentrique, défauts de roulement, court-circuit statorique et autres. Notre étude va se faire sur les MAS à rotor excentrique, et nous travaillerons sur la cas d'excentricité dynamique.

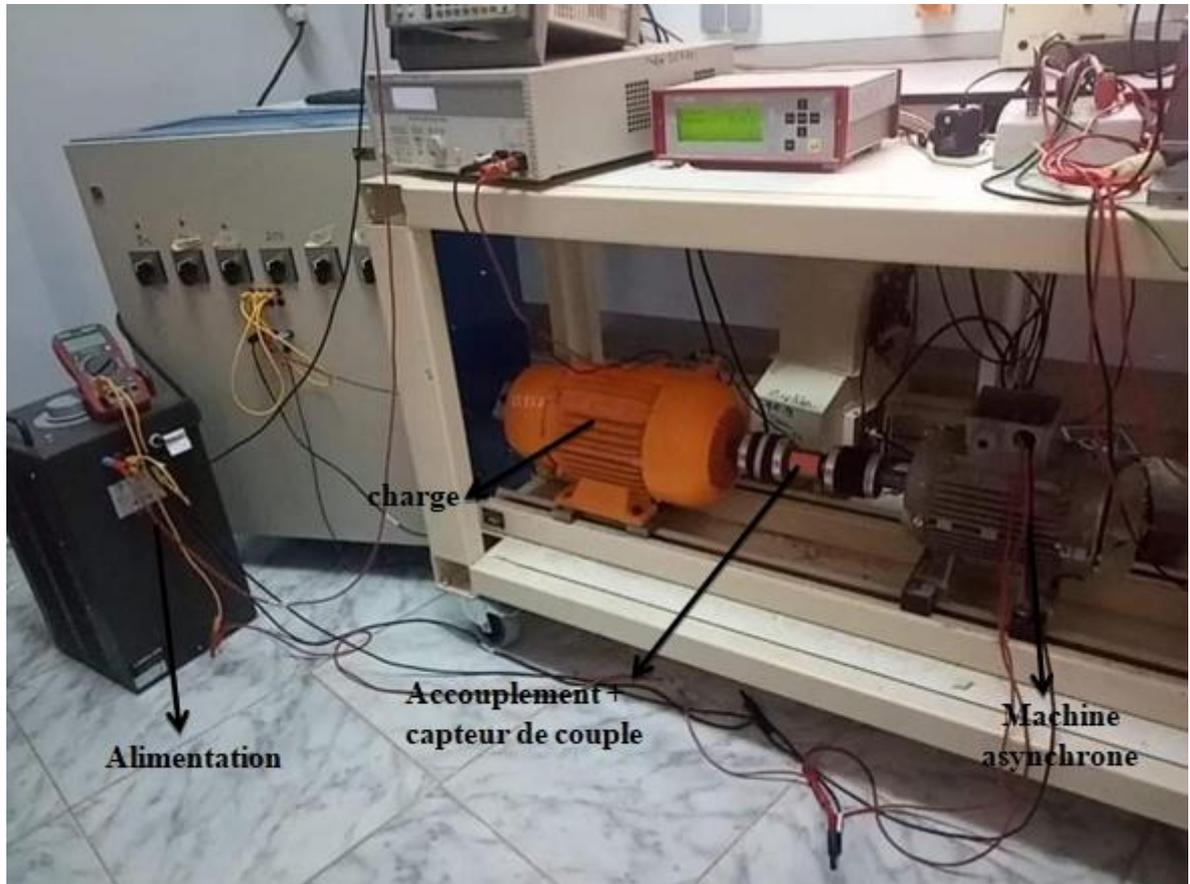


Fig.III.1 Banc d'essai expérimental

III.3. Appareil de mesure SCHENCK Smart Balancer

III.3.1. Définition:

le Smart Balancer, comme appareil d'équilibrage sur site et analyseur de vibrations. Avec ce matériel récent vous disposez non seulement d'un outi idéal pour vos campagnes de mesure, mais également d'une aide fiable pour expertiser des machines complexes.

Le Smart Balancer traite les différentes formes de vibration sur machine, l'état des roulements (en option), ainsi les données de process ou d'inspection visuelle.

Malgré l'intégration de multiples fonctions, la prise en main et l'utilisation du Smart Balancer restent simples:

- Haute précision de mesure et traitement rapide .
- Deux Modes de fonctionnement:

- Identification et quantification des balourds sur les Rotors, en un ou deux plans.
- Analyse pour diagnostic ponctuel.
- Raccordement pour différent type de capteurs.
- Choix entre une ou deux entrées analogiques.

III.3.2.Capteur

Il ya deux type de capteur:

- capteur de vitesse
- capteur de l'accélération

III.3.3.Mesure

Le Smart Balancer est prévu pour effectuer 2 types de missions de mesure sur les machines.

- Equilibrage
- Analyse



Fig.III.2 SCHENCK Smart Balancer

III.4 .Traitement des données expérimentales

on commence par configurer de vibration portable SCHENCK Smart Balancer, en déterminant le choix de la plage de fréquence et le choix de la grandeur de mesure . Dans notre cas, on travaille avec l'accélération pour la détection des défauts. Dans ces prises de mesures, nous allons utilisés le signal fréquentiel.

Le banc d'essai comporte une machine asynchrone à cage d'écurueil 3 Kw ,un alternateur (frein) ,une alimentation à une fréquence $f_s = 50\text{Hz}$, le nombre de paires de pôles 2, le nombre de barres rotorique est $\lambda_{br}=28$ barres , tension 380v

III.5 .Les résultats expérimentaux par l'appareil (SCHENCK)

Dans cette partie, nous présenterons les différents essais expérimentaux (à vide en charge) du défaut d'excentricité dynamique.

La théorie traite l'existence des bandes latérales de $k * f_r$ autour de la fréquence d'encoche f_{enc} la formule s'écrit :

$$f_{bandelaterale} = f_{enc} \pm (k * f_r) \quad (\text{III.1})$$

$$f_{enc} = f_r * \lambda_{br} \quad (\text{III.2})$$

III.5.1. fonctionnement à vide

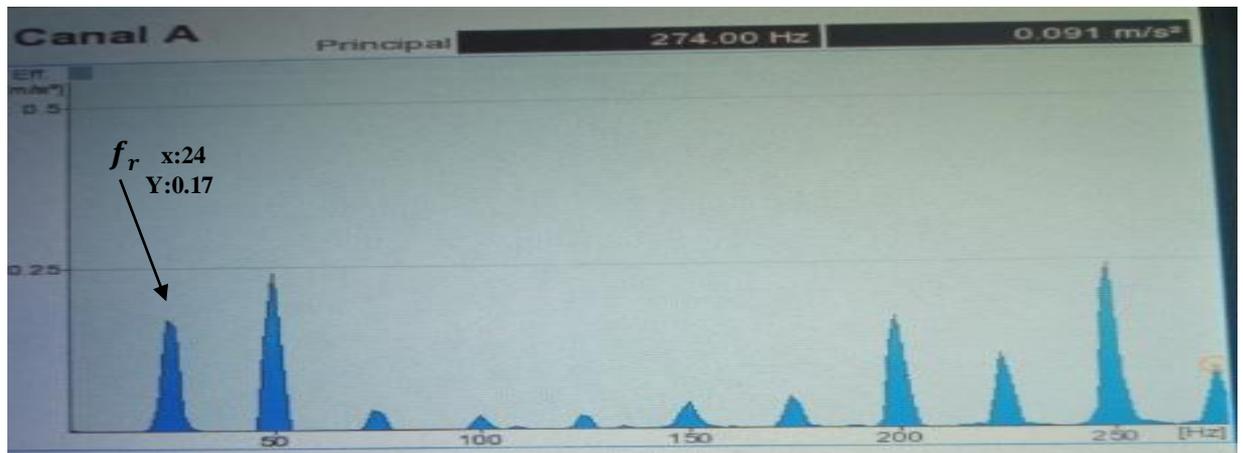


Fig.III.3 Spectre du signal vibratoire, machine à vide état sain (0 à 275 Hz)

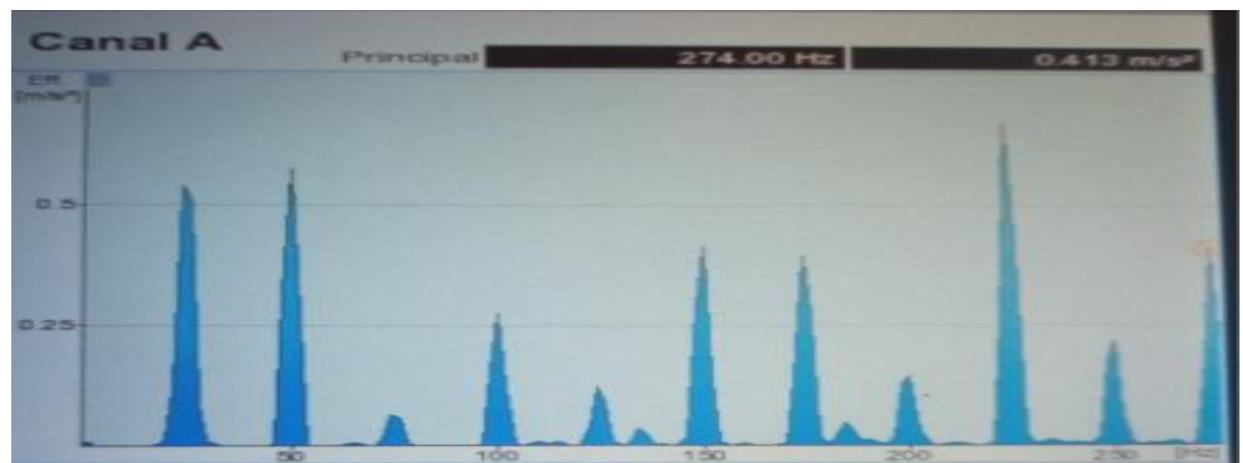


Fig.III.4 Spectre du signal vibratoire, machine à vide état défectueux (0 à 275 Hz)

Le tableau (III.1) recueille les valeurs des fréquences harmoniques d'encoches rotoriques, en fonctionnement à vide.

Tableau III.2 valeurs pratiques des harmoniques à vide (0 à 275 Hz)

| | Fréquence (Hz) | | Amplitude (m/s^2) | | Différence (m/s^2) |
|--------|----------------|--------|-----------------------|--------|---------------------------|
| | Sain | Défaut | Sain | Défaut | |
| A vide | 24 | 24 | 0.170 | 0.54 | 0.37 |
| | 50 | 50 | 0.241 | 0.577 | 0.336 |
| | 74 | 74 | 0.031 | 0.066 | 0.035 |
| | 100 | 100 | 0.021 | 0.274 | 0.253 |
| | 108 | 110 | 0.005 | 0.009 | 0.004 |
| | 124 | 124 | 0.023 | 0.125 | 0.102 |
| | 134 | 134 | 0.006 | 0.037 | 0.031 |
| | 150 | 150 | 0.04 | 0.413 | 0.373 |
| | 160 | 160 | 0.005 | 0.007 | 0.002 |
| | 174 | 174 | 0.048 | 0.394 | 0.346 |
| | 190 | 184 | 0.004 | 0.052 | 0.048 |
| | 200 | 200 | 0.169 | 0.146 | 0.023 |
| | 224 | 224 | 0.110 | 0.674 | 0.564 |
| | 250 | 250 | 0.245 | 0.22 | 0.025 |
| 274 | 274 | 0.091 | 0.413 | 0.322 | |

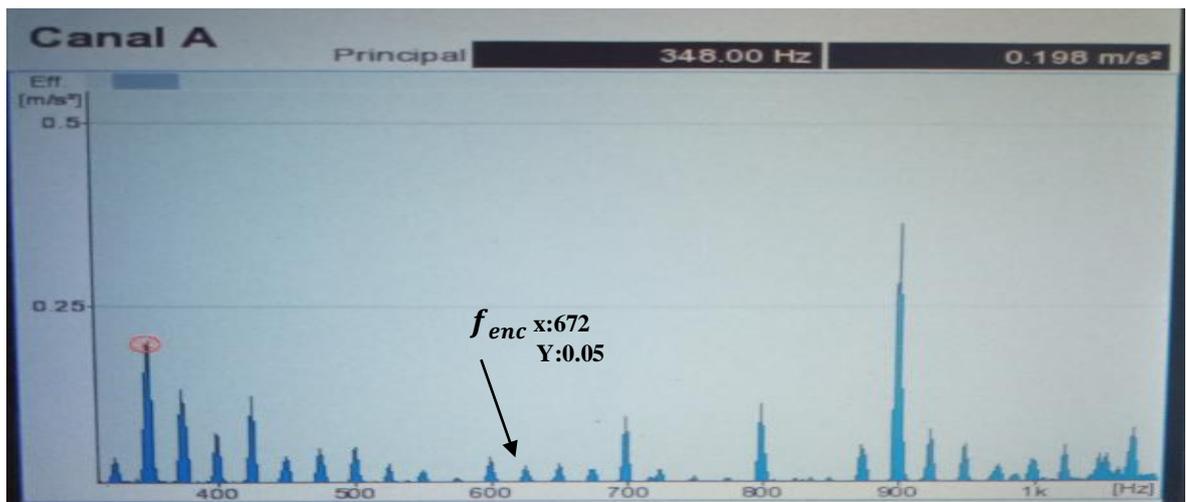


Fig.III.5 Spectre du signal vibratoire, machine à vide état sain (320 à 1072 Hz)

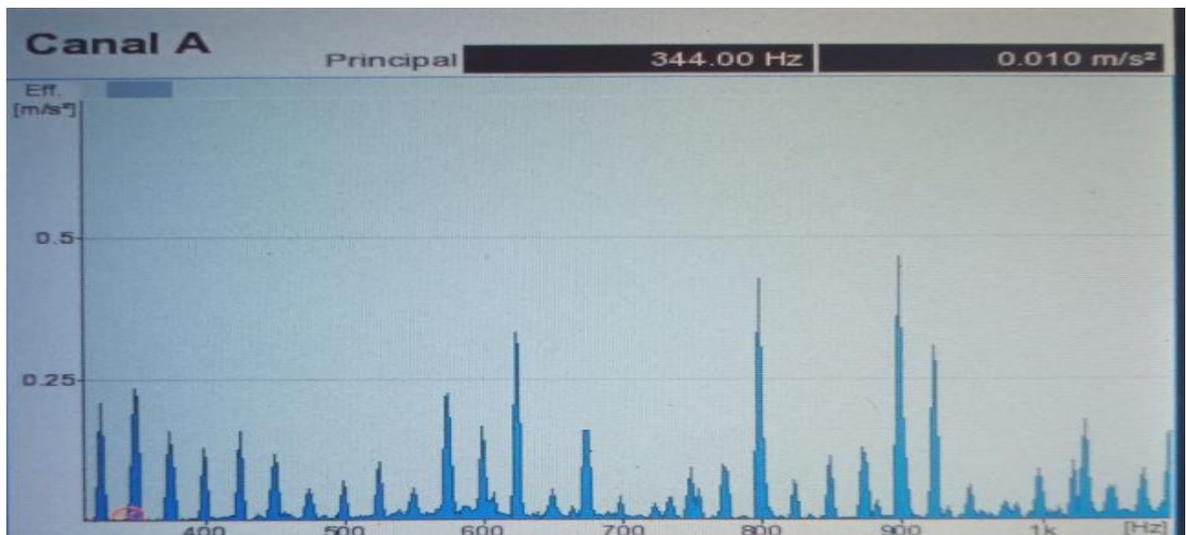


Fig.III.6 Spectre du signal vibratoire, machine à vide état défectueux (320 à 1072 Hz)

III.5.2. fonctionnement en charge:

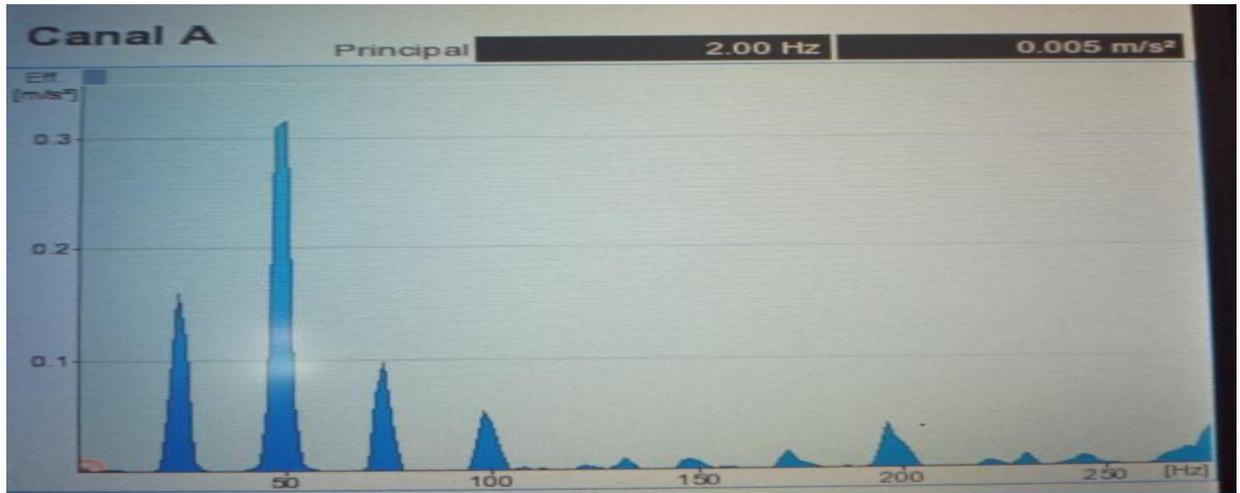


Fig.III.7 Spectre du signal vibratoire, machine en charge état sain (0 à 275Hz)

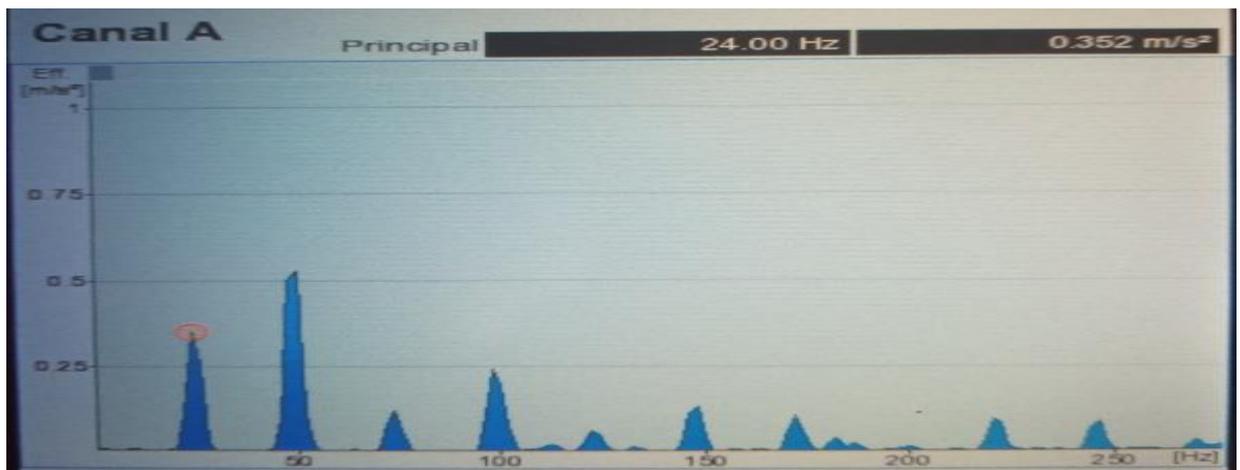


Fig.III.8 Spectre du signal vibratoire machine en charge état défectueux (0 à 275 Hz)

Le tableau (III.1) recueille les valeurs des fréquences harmoniques d'encoches rotoriques, en fonctionnement en charge.

Tableau III.2 valeurs pratiques des harmoniques en charge (0 à 275 Hz)

| | Fréquence (Hz) | | Amplitude (m/s^2) | | Différence (m/s^2) |
|-----------|----------------|--------|-----------------------|--------|------------------------|
| | Sain | Défaut | Sain | Défaut | |
| En charge | 24 | 24 | 0.160 | 0.352 | 0.0.192 |
| | 50 | 50 | 0.316 | 0.527 | 0.211 |
| | 74 | 74 | 0.097 | 0.123 | 0.026 |
| | 100 | 98 | 0.053 | 0.242 | 0.189 |
| | 108 | 112 | 0.003 | 0.020 | 0.017 |
| | 122 | 122 | 0.005 | 0.061 | 0.056 |
| | 132 | 132 | 0.011 | 0.014 | 0.003 |
| | 148 | 148 | 0.01 | 0.133 | 0.123 |
| | 158 | 158 | 0.002 | 0.008 | 0.006 |
| | 172 | 172 | 0.017 | 0.107 | 0.09 |
| | 186 | 182 | 0.003 | 0.042 | 0.039 |
| | 196 | 200 | 0.041 | 0.016 | 0.025 |
| | 220 | 220 | 0.006 | 0.095 | 0.089 |
| | 244 | 246 | 0.010 | 0.089 | 0.079 |
| | 274 | 274 | 0.026 | 0.016 | 0.01 |

on peut clairement les fréquences dues à l'excentricité mixte soit à vide ou en charge. la formule qui montre l'existence de cette excentricité est:

$$f_r = \frac{(1-s)}{p} f_s \quad (\text{III.3})$$

pour $k=1$, on trouve $f_s - f_r = 26$ Hz et $f_s + f_r = 74$ Hz (à vide)

et $f_s - f_r = 26$ Hz et $f_s + f_r = 74$ Hz (en charge)

On note que le glissement est calculé par la relation suivante :

$$s = -1 + 2 * \frac{f_{mix}}{f_s} \quad (\text{III.4})$$

Par exemple: $f_{mix} = 26$ Hz et $f_s = 50$ Hz alors $s = 0.04$

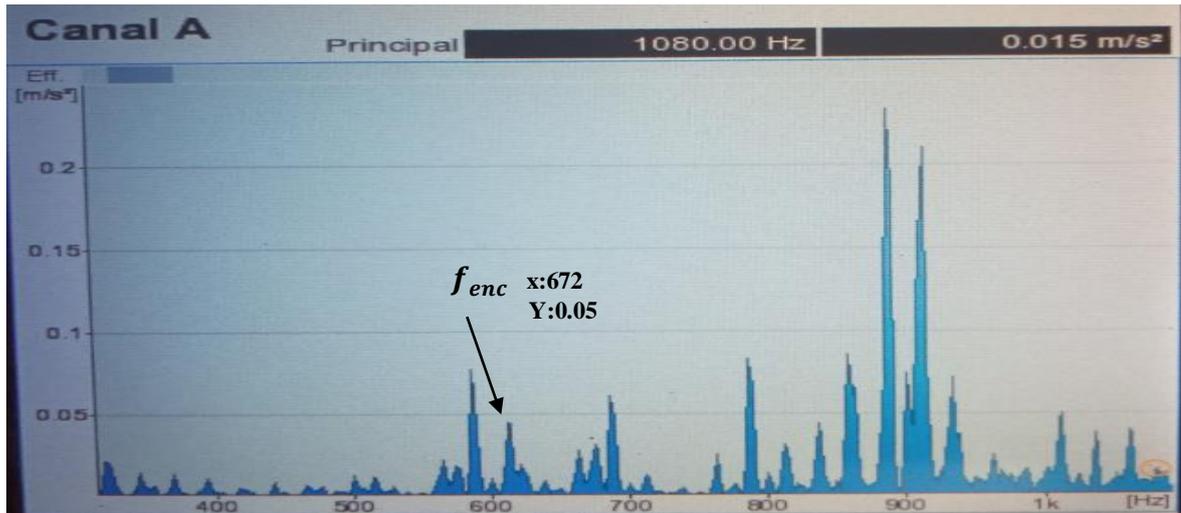


Fig.III.9 Spectre du signal vibratoire, machine en charge état sain (360 à 1072 Hz)

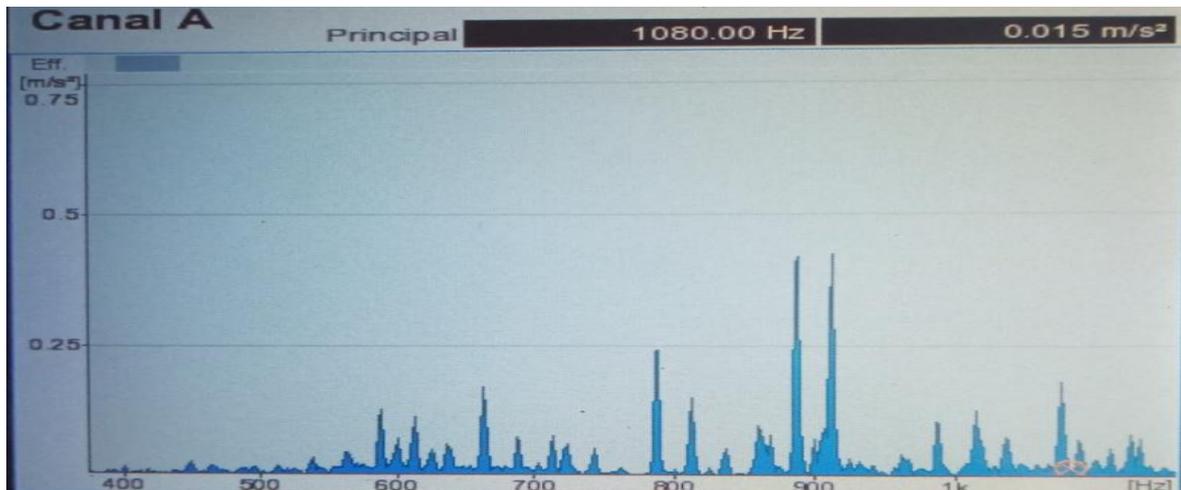


Fig.III.10 Spectre du signal vibratoire machine en charge état défectueux (360 à 1072 Hz)

Discussion des résultats:

Les figures (III .3 et III .4) Les fréquences caractéristiques résultant de la l'excentricité dynamique, les valeurs de ces fréquences :24 Hz 50 Hz 100 Hz 150 Hz 174 Hz 224 Hz 274Hz

Nous pouvons voir que le signal vibratoire à vide ou en charge est plein d'harmonique, et cela apparaît dans les figures (III .5 et III .6) et les figures (III. 9 et III .10). Cela complique l'analyse des fréquences caractéristique du défaut cité dans le tableau(III.1).

les figures (III. 7 et III. 9) montre l'analyse autour de la fréquence d'encoche.

III.5.3. Autres remarques:

- Les capteurs de vibration sont très chères et sensible, il dépendent à la manière de fixation 'implantation' (vissé, collée, par aimant,...) .
- Pour avoir une image complète des vibration, il faut prendre les mesures selon trois directions perpendiculaires sur chaque palier de la machine surveillée : deux directions radiales (horizontale et verticale) et une direction axiale.

Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons testé l'approche sur un banc d'essai pilote développé avec des moteurs spécialement conçus pour les deux conditions (sains et défectueux).

Dans ce chapitre, nous avons vu comment travailler avec un appareil Smart Balancer, qui est utilisé dans les usines et les entreprises.

Nous avons exploité les résultats expérimentaux: pour détecté le défaut d'excentricité dynamique.

L'analyse vibratoire nous permet de détecter les défauts mécaniques naissant.

Conclusion générale

Le travail qui été présenté dans cette thèse s'inscrit dans le cadre du diagnostic des défauts dans les moteur asynchrones triphasés à cage d'écureuil par vibration mécanique.

Au début de ce travail , nous expliquons les généralités sur la maintenance des machines tournantes. où rappelons brièvement les objectifs et les niveaux et les différents types de maintenance ,Surveillance et techniques en surveillance des machines tournantes.

Dans le deuxième chapitre, nous avons présenté l'analyse des vibrations, où nous avons traité les machines tournantes, les vibrations mécaniques, les types de signaux de vibration, les capteurs de vibrations et les défauts des machines électriques tournantes.

Nous avons conclu ce travail par une étude expérimentale niveaux du laboratoire LGE de Biskra, dont les résultats expérimentaux nous aident à comprendre et à donner un meilleur diagnostic et à améliorer la précision de la détection des défauts, et ouvrir le champ aux d'autres étudiants en recherche pour continuer dans ce domaine.

À l'avenir, la portée de notre étude diagnostique des dysfonctionnements des machines peut être élargie, et l'étude peut également être étendue pour prendre en compte divers autres types de défauts mécaniques et électriques, d'autres outils de diagnostic et des outils de détection avancés.

BIBLIOGRAPHIE

- [1] Gilles DUCHEMIN, « Maintenance des machines et des moteurs » Technique de l'ingénieur BM 4 188 10 janvier 2006
- [2] T. Nabti, « Etude de l'évolution des indicateurs spectraux et cepstraux dans la détection des défauts mécaniques ». Mémoire de Magister, Université Ferhat Abbas Setif 2011
- [3] Djaballah Saïd, « Etude et optimisation de la transformée en ondelettes pour la détection des défauts dans les roulements » Mémoire de Magister, Université Mohamed Chérif Messaâdia de Souk-Ahras 2015
- [4] RABHI Massinissa et ZOUAOUI Nasim, « Diagnostiqs de défauts de roulements par analyse vibratoire au sein de la biqueterie de REMILA » Mémoire de Master, université A.MIRA de bejaia 2013
- [5] SAHRAOUI Mohamed, « Etude Comparative des Méthodes de Diagnostic des Machines Asynchrone » Thèse de Doctorat, Université Mohamed KHIDER Biskra 2010
- [6] Samira BELHOUR, « Contribution à l'optimisation de la maintenance prédictive par l'utilisation de logicielle OMNITREND (système on-line) » Mémoire Magister Université de Constantine 2008
- [7] HACHEMI Mohammed, « Application de l'ODS à l'analyse des problèmes de vibration des machines tournantes » Thèse de Doctorat, Université BADJI MOKHTAR ANNABA 2013
- [8] TEDJINI Mohsein, « Sélection d'un outil du traitement du signal pour le diagnostic d'une machine tournante » Mémoire de Magister, Université Mohamed Chérif Messaâdia de Souk-Ahras 2015
- [9] BOUDIAF Adel, « Contribution au Diagnostic des Défauts dans les Machines Tournantes par Analyse Multirésolution » Thèse de Doctorat, Université 08 mai 1945 Guelma 2016

- [10] Omar DJEBILI, « Contribution à la maintenance prédictive par analyse vibratoire des composants mécaniques tournants. Application aux butées à billes soumises à la fatigue de contact de roulement » Thèse de Doctorat, M'hamed Bougara de Boumerdés 2012/2013
- [11] BERKOUS HAFID, « DETECTION DES DEFAUTS D'ENGRENAGE PAR ANALYSE VIBRATOIRE » Mémoire de Master, Université BADJI MOKHTAR ANNABA 2016/2017.
- [12] ELFAR Youssouf, « DIAGNOSTIC DES DEFAUTS D'UNE MACHINE TOURNANTE PAR L'ANALYSE VIBRATOIRE » Mémoire de Master, Université de M'SILA 2011/2012
- [13] Nabti Mohamed Taha, « Etude de l'évolution des indicateurs spectraux et cepstraux dans la détection des défauts mécaniques » Mémoire de Magister, Université Ferhat Abbas Setif 2011
- [14] Tahar BELKHIR Med Mohcen BEN SACI, « La maintenance des équipements par l'analyse vibratoire » Mémoire de Master, Université KASDI MARBAH OURGLA 2016
- [15] BOUDIAR Bader-Eddine et ZEGHDANI El-Haddi, « DK1 Four 1 N°525 par l'application d'une méthode de maintenance Conditionnelle cas de Djebel Onk Bir El Ater » Mémoire de Master, Université LARBI TEBSSI TEBESSA 2015/2016
- [16] Noureddine CHIKH, « Analyse spectrale des vibrations Application à la maintenance des équipements mécanique » Mémoire de Magister, Université M'hamed Bougara de Boumerdés 2004/2005
- [17] Issam MOUMENE, « IDENTIFICATION DES DÉFAUTS MIXTES D'ENGRENAGE ET DE ROULEMENT PAR ANALYSE VIBRATOIRE » Mémoire de Magister, Université 08 mai 1945 Guelma 2010
- [18] Alain Boulenger, « Surveillance des machines par analyse des vibrations », livre DUNOD, Paris, édition 2009
- [19] Med Mohcen BEN SACI, « La maintenance des équipements par l'analyse vibratoire » Mémoire de Master, Université KASDI MARBAH OURGLA 2016
- [20] Landolsi Foued, « COURS DE TECHNIQUES DE SURVEILLANCE »
-

[21] J. Heng, « Pratique De La Maintenance préventive », livre DUNOD, Paris, édition 2002

[22] P.Arqués, «Diagnostic prédictif et défaillance des machines», Technipe Paris, livreédition 2009

Annexe

Annexe

| | |
|--|--------------------------------|
| Puissance | 3 Kw |
| Nombre de paires de pôles | 2 |
| Nombre d'encoches statoriques | 36 |
| Nombre de barres rotoriques | 28 |
| Epaisseur de l'entrefer | 0.5 mm |
| Rayon moyen de l'entrefer | 39.5×10^{-3} m |
| Nombre de spires en série par phase | 288 |
| Longueur de la machine | 75×10^{-3} m |
| Moment d'inertie | $6.21 \times$ |
| 10^{-3} Kg. m^2 | |
| Résistance d'une phase statorique | 6.28 Ω |
| Inductance de fuite d'une phase statorique | 0.0424 H |
| Résistance d'une barre rotorique | 19.2×10^{-5} Ω |
| Inductance de fuite d'une barre rotorique | 4.39×10^{-7} H |
| Résistance d'une segment d'anneau de court-circuit | 3.2×10^{-6} Ω |
| Inductance de fuite d'un segment d'anneau de court-circuit | 6.204×10^{-9} H |
