

وزارة التعليم العالي والبحث العلمي

MINISTRE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE  
LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE



جامعة عبد الحميد ابن باديس مستغانم

Université Abdelhamid Ibn Badis Mostaganem

كلية العلوم والتكنولوجيا



Faculté des Sciences et de la Technologie

DEPARTEMENT DE GENIE ELECTRIQUE

N° d'ordre : M...../GE/2023

MEMOIRE DE FIN D'ETUDES

DE MASTER ACADEMIQUE

**Filière** : Electrotechnique

**Spécialité** : Electrotechnique industrielle

**Intitulé du sujet**

**Diagnostic des défauts par analyse vibratoire**

**Présenté par :**

- Mr Négadi Walid
- Mr Mehdene Oualid

Soutenu le 25 / 06 / 2023 devant jury composé de :

Président :	Mr Daoud Mohamed	MCA	Université de Mostaganem
Examineur :	Mr Azzedine Mohamed	MAA	Université de Mostaganem
Encadreur :	Mr Chaouch Abdellah	MCA	Université de Mostaganem
Co-Encadreur :	Mr Larbi Beklaouz Hadj	MCB	Université de Mostaganem

Année Universitaire 2022/2023

## ***Dédicace***

*À nos chers parents, pour leur amour, leur patience et leur soutien inconditionnel tout au long de nos vies et de nos études. Nous sommes si chanceux d'avoir des parents aussi merveilleux.*

*Nous tenons également à remercier nos frères et sœurs pour leur soutien et leur encouragement tout au long de nos études. Leur amitié et leur amour nous ont aidés à surmonter toutes les difficultés que nous avons rencontrées.*

*Nous dédions également ce mémoire à toutes les personnes qui nous ont aidés dans sa réalisation*

## **Remerciement**

*Le grand remerciement revient à Allah qui nous a donné la force et le courage à réaliser et terminer ce modeste travail. Nous tenons à remercier vivement notre encadreur Mr. Chaouech Abdellah et Co-Encadreur Mr. Larbi BeklaouzHadj pour nous avoir encadrés, encouragés et conseillés durant la période du mémoire.*

*Cher Mr. Daoud Mohemed et Mr. Azzedine Mohamed*

*Nous tenons à exprimer notre gratitude pour votre temps, votre expertise et vos commentaires constructifs sur notre travail de fin d'études. Votre évaluation minutieuse et vos recommandations nous ont permis de mieux comprendre les forces et les faiblesses de notre travail, et nous apprécions vraiment l'opportunité que vous nous avez donnée de présenter notre travail devant vous. Nous sommes reconnaissants pour votre professionnalisme et votre engagement, et nous savons que nous pourrions utiliser vos commentaires pour continuer à progresser dans notre carrière. Encore une fois, merci beaucoup pour tout ce que vous avez fait.*

*Nous remercions vivement tous nos familles et nos amis sans exception, ainsi que toutes les personnes qui, de près ou de loin, ont contribué à la réalisation de ce travail.*

## الملخص

كشف الأخطاء وتشخيصها في الماكينات الدوارة هي خطوات حاسمة لضمان موثوقية وتوفر تلك الماكينات. ومع ذلك، يمكن أن تكون هذه الخطوات مستهلكة للوقت والمكلفة، الأمر الذي يدفع الصناعيين إلى البحث عن حلول أكثر كفاءة.

واحدة من أكثر الطرق استخداماً لتشخيص الأخطاء في الماكينات الدوارة هي تحليل الاهتزازات بناءً على تحويل فورييه. هذه الطريقة تسمح بكشف الأخطاء من خلال تحليل التغيرات في الاهتزازات.

وأخيراً، يمكن أن يساعد مراقبة الماكينات الدوارة بانتظام باستخدام طرق تحليل الاهتزازات في منع الأعطال وتوقف الإنتاج غير المتوقع، الأمر الذي يساعد في تقليل تكاليف الصيانة وتحقيق أقصى استفادة من العمر الافتراضي لتلك المعدات الحيوية.

**المفردات المفتاحية:** الماكينات الدوارة، تحليل الاهتزازات، التحليل الطيفي، التحليل الزمني، العيوب.

## Résumé

La détection et le diagnostic des défauts des machines électriques tournantes est une étape critique pour assurer leur fiabilité et leur disponibilité. Cependant, ces étapes peuvent être longues et coûteuses, ce qui conduit souvent les fabricants à envisager des solutions plus efficaces.

Parmi les méthodes les plus utilisées pour le diagnostic de défauts des machines tournantes, on retrouve l'analyse vibratoire basée sur la transformée de Fourier. Cette méthode permet, en analysant les variations de vibrations, de mettre en évidence des défauts.

Enfin, la surveillance régulière des machines tournantes en utilisant des méthodes d'analyse vibratoire peut permettre de prévenir les défaillances et les arrêts de production inopinés, ce qui peut aider à réduire les coûts de maintenance et à maximiser les durées de service de ces équipements critiques.

**Mots clés :** machine tournantes, analyse vibratoire, analyse spectrale, Analyse temporelle, défaut.

## Abstract

The detection and diagnosis of faults in rotating machinery are crucial steps to ensure their reliability and availability. However, these steps can be time-consuming and expensive, which often leads industrialists to consider solutions that are more efficient.

One of the most commonly used methods for diagnosing faults in rotating machinery is vibration analysis based on the Fourier transform. This method allows for the detection of faults by analyzing variations in vibrations.

Finally, regular monitoring of rotating machinery using vibration analysis methods can help prevent failures and unexpected production stoppages, which can help reduce maintenance costs and maximize the service life of these critical equipment.

**Keywords:** Rotating machinery, vibration analysis, spectral analysis, temporal analysis, defects.

## Table de matières

<i>Introduction Générale</i> .....	1
<i>Chapitre I Vibration &amp; défauts des machine tournantes</i> .....	2
I.1    Introduction.....	3
I.2    Définitions de la vibration .....	3
I.2.1  Nature d'une vibration.....	3
I.2.2  Grandeurs physiques de la vibration .....	4
I.2.2.1 Relations entre les grandeurs de la vibration .....	4
I.3    Analyses Vibratoire.....	5
I.3.1  Objectifs.....	5
I.3.2  Avantages et les inconvénients de l'analyse vibratoire.....	5
I.3.2.1 Les avantages .....	5
I.3.2.2 Les inconvénients .....	5
I.3.3  Techniques utilisées dans l'analyse vibratoire.....	6
I.3.3.1 Analyse temporelle .....	6
I.3.3.2 Analyse fréquentielle .....	6
I.3.3.3 Le Cepstre .....	7
I.4    Les Machines tournantes .....	7
I.4.1  Principaux défauts de la machine tournantes.....	7
I.4.1.1 Déséquilibre de l'arbre de la machine (balourd) .....	7
I.4.1.2 Alignement incorrect .....	8
a)  Désalignement parallèle .....	8
b)  Désalignement angulaire.....	8
I.4.1.3 Défaut de fixation .....	8
I.4.1.4 Défauts des roulements .....	9

a)	Ecaillage .....	9
b)	Grippage .....	9
c)	Usure-Empreintes de corps étranger .....	9
I.4.1.5	Défauts d'engrenages .....	10
a)	Fissuration .....	11
b)	L'usure .....	11
c)	Grippage .....	11
I.4.1.6	Défauts de transmission par courroies .....	11
I.4.2	Résumé des défauts liées aux machines .....	12
I.5	Conclusion .....	12
 <i>Chapitre II Etude expérimentale</i> .....		 13
II.1	Introduction .....	14
II.2	Description du dispositif expérimental .....	14
a)	Machine tournante .....	14
b)	Description de l'appareil PT 500.04 .....	15
c)	Capteurs .....	15
d)	Représentatif du banc d'essai .....	16
II.3	Les Tests expérimentaux .....	18
II.3.1	Test machine à l'arrêt .....	18
II.3.2	Test machine marche à vide .....	19
II.3.3	Test machine avec défaut .....	20
II.4	Présentations des signaux temporel .....	22
II.4.1	Signaux de test machine à l'arrêt .....	22
II.4.2	Les signaux pour test machine neuve et à vide .....	23
II.4.1	Les signaux pour test machine à vide et avec défaut .....	23
II.5	Conclusion .....	24

<i>Chapitre III Analyse des résultats expérimentaux</i> .....	25
III.1    Introduction.....	26
III.2    Résultats et analyses.....	26
III.2.1  Cas avec machine à l'arrêt.....	26
III.2.2  Cas machine neuve à vide.....	28
a) Vitesse minimale .....	28
b) Vitesse moyenne.....	29
c) Vitesse maximale.....	29
III.2.3  Cas machine avec défaut .....	31
a) Vitesse minimale .....	31
b) Vitesse moyenne.....	32
c) Vitesse maximale.....	32
III.3    Conclusion .....	34
<i>Conclusion générale</i> .....	36

## ***Liste des tableaux***

Tableau I-1: Types défauts et leurs cause probable. ....	12
Tableau II-1:Fiche technique de moteur.....	14
Tableau II-2: Test machine à l'arrête. ....	19
Tableau II-3: Test machine neuve à vide avec une rotation de 200 tr/mn.....	19
Tableau II-4: Test machine neuve à vide avec une rotation moyenne de 820 tr/mn.....	20
Tableau II-5: Test machine neuve à vide avec une rotation de 1094 tr/mn.....	20
Tableau II-6: Test machine avec défaut avec une rotation de 200 tr/mn.....	21
Tableau II-7 : Test machine avec défaut avec une rotation de 820 tr/mn.....	21
Tableau II-8 : Test machine avec défaut avec une rotation de 1094 tr/mn.....	21
Tableau III-1:Maximum de spectre de la machine à l'arrêt.....	28
Tableau III-2:Fréquences de la signature de notre machine avec vitesse 820tr/min.....	31
Tableau III-3:Fréquences de la signature de notre machine avec vitesse 1090tr/min.....	31
Tableau III-4: Les fréquences ceux qui sont apparus dans le défaut, mais qui représentent la signature de notre machine avec vitesse moyenne. ....	33
Tableau III-5: Les fréquences ceux qui sont apparus dans le défaut, mais qui représentent la signature de notre machine avec vitesse maximale. ....	34

## Liste des figures

Figure I-1: Nature d'une vibration [2].	4
Figure I-2: Différents types des machines tournantes [3].	7
Figure I-3: Défauts de désalignement , a) Désalignement parallèle ; b) Désalignement angulaire. [1]	8
Figure I-4: Défaut de fixation [8].	9
Figure I-5: Différents défauts dans les roulements, a) écaillage ; b) grippage, c) usure [10].	10
Figure I-6: Différents défauts localisés sur une dent d'un engrenage, a) fissuration, b) L'usure, c) grippage [12].	11
Figure II-1: Le dispositif expérimental de nos tests.	14
Figure II-2:PT 500.04.	15
Figure II-3: Les deux capteurs de nos essais a) capteur optique, b) accéléromètre .	16
Figure II-4: Connecteur Accéléromètre 603C01.	16
Figure II-5: Schéma représentatif du banc d'essai.	17
Figure II-6: Signal temporel d'une machine à l'arrêt pour différents cas, .	22
Figure II-7:Signal temporel pour machine neuve du canal1 pour différentes vitesse,.....	23
Figure II-8: Signal temporel pour machine avec défaut du canal1 pour différents vitesse, .....	24
Figure III-1: Spectre du signal de la machine à l'arrêt pour différents cas avec fréquence de balayage 64k/s, a) test 1 (1 ère Journée), b) test2 (2 ème Journée), c) test3 (3 ème Journée).	27
Figure III-2: Spectre du signal de la machine à vide du canal1 avec $\eta = 190\text{tr/mn}$ , $F_e = 64\text{kHz}$ .	28
Figure III-3 : Spectre du signal de la machine à vide du canal1 avec $v = 820\text{tr/mn}$ , $F_e = 8\text{kHz}$ .	29
Figure III-4: Spectre du signal de la machine à vide du canal2 avec $\eta = 820\text{tr/mn}$ , $F_e = 64\text{kHz}$ .	29
Figure III-5: Spectre du signal de la machine à vide du canal2 avec $\eta = 1094\text{tr/mn}$ , $F_e = 4\text{kHz}$ .	30
Figure III-6: Spectre du signal de la machine à vide du canal1 avec $\eta = 1094\text{tr/mn}$ , $F_e = 32\text{kHz}$ .	30
Figure III-7: Spectre du signal de la machine à vide du canal2 avec $\eta = 1094\text{tr/mn}$ , $F_e = 64\text{kHz}$ .	30
Figure III-8: Spectre du signal de la machine avec défaut du canal2 avec $v = 190\text{tr/mn}$ , $F_e = 64\text{kHz}$ .	31

Figure III-9: Spectre du signal de la machine avec défaut du canal1 avec  $v=820\text{tr/mn}$ ,  $F_e= 8$  kHz. ....32

Figure III-10: Spectre du signal de la machine avec défaut du canal2 avec  $v=820\text{tr/mn}$ ,  $F_e= 64$  kHz. ....32

Figure III-11: Spectre du signal de la machine avec défaut du canal1 avec  $v=1094\text{tr/mn}$ ,  $F_e= 4$  kHz. ....32

Figure III-12: Spectre du signal de la machine avec défaut du canal1 avec  $v=1094\text{tr/mn}$ ,  $F_e= 32$  kHz.....33

Figure III-13: Spectre du signal de la machine avec défaut du canal2 avec  $v=1094\text{tr/mn}$ ,  $F_e= 64$  kHz.....33

## ***La nomenclature***

× : Déplacement.

T : temps.

A : amplitude.

X(f) : La transformée de Fourier du x(t).

x(t) : Signal.

f : fréquence.

$\Pi$  : Constante d'Archimède.

RPM : rotation par minute.

V : volte.

A : ampère.

KW : kilowatt.

Tr/min : tour par minute.

Pk : L'index d'échantillon.

Hz : hertz.

k/s : kilo hertz par seconde.

m : mètre.

S<sub>amp</sub> : Spectre d'amplitude.

# **Introduction Générale**



## **Introduction Générale**

Les machines tournantes combinent une série de mécanismes et de composants conçus pour convertir de l'énergie ou transmettre le mouvement. Ces mécanismes entrelacés ne peuvent fonctionner sans jeu, tension, forces dynamiques et chocs. Ces effets se manifestent principalement sous la forme de vibrations et de bruit. Tout changement dans l'importance de ces jeux, de ces contraintes, efforts ou chocs, se traduit par une modification de l'intensité ou des fréquences de ces vibrations. Or, cette modification de comportement vibratoire constitue souvent la première manifestation physique d'une anomalie affectant la machine, cause potentielle à terme de dégradations, voire de pannes [9].

Cette particularité fait de l'analyse des vibrations un outil d'investigation essentiel pour la maintenance moderne. L'analyse vibratoire est l'une des techniques les plus couramment utilisées pour diagnostiquer les défauts des machines tournantes. La technologie est basée sur des capteurs qui envoient des signaux de défaut via un système d'acquisition de données connecté à un ordinateur. Cette technique peut détecter un large éventail de problèmes tels que le déséquilibre, les problèmes d'alignement, les défaillances de roulement, les déformations du corps de la machine, les problèmes de lubrification, etc. Dans la plupart des cas, le traitement des signaux vibratoires est effectué par plusieurs techniques telles que l'analyse par ondelettes, l'analyse temporelle, l'analyse du Cepstre et l'analyse spectrale.

Dans notre mémoire nous avons étudié l'analyse vibratoire d'une machine tournante basée sur l'analyse spectrale. Notre mémoire est subdivisée en trois chapitres.

**Le premier chapitre** sera consacré à la notion de vibration et à l'état de l'art des défauts associés aux machines électriques tournantes, suivi des techniques permettant de détecter ces défauts.

Dans **le deuxième chapitre**, nous présenterons l'étude expérimentale de notre mémoire, et la description détaillée du banc d'essai et ses éléments.

**Le troisième chapitre** discutera les résultats expérimentaux des tests décrits dans le deuxième chapitre et seront analyser ses résultats par l'analyse fréquentiel.

En fin, nous terminerons notre mémoire par une conclusion générale et nos perspectives.

# **Chapitre I**

## **Vibration & défauts des machine tournantes**

## I.1 Introduction

Les vibrations sont les oscillations mécaniques d'un objet près de son point d'équilibre. Les oscillations peuvent être régulières, comme le mouvement d'un pendule, ou aléatoires, comme la vibration d'une machine tournante. Les défauts dans l'un des éléments mécaniques de la machine peuvent se traduire par des vibrations, ces derniers sont susceptibles de causer, non seulement des incidents d'exploitation, mais également l'endommagement de l'outil de production. Parmi les méthodes de détection de ces défauts, nous utilisons la technique d'analyse vibratoire.

## I.2 Définitions de la vibration

La vibration est un mouvement oscillatoire ou périodique d'un objet ou d'un système autour d'un point d'équilibre. Elle est généralement causée par une force appliquée à l'objet ou au système [1].

### I.2.1 Nature d'une vibration

Toutes les machines tournantes produisent des vibrations pendant le fonctionnement, qui peuvent être classées comme suit : les vibrations périodiques de type sinusoïdal simple (Figure 1:a) ou sinusoïdal complexe (Figure 1:b) représentatives du fonctionnement normal ou anormal d'un certain nombre d'organes mécaniques (rotation de lignes d'arbres, engrènements,...) ou d'un certain nombre d'anomalies (déséquilibre, désalignement, déformations, instabilité de paliers fluides, déversement de bagues sur les roulements, ...). Les vibrations périodiques de type impulsionnel (Figure 1 : c) sont appelées ainsi par référence aux forces qui les génèrent et à leur caractère brutal, bref et périodique. Ces chocs peuvent être produits par des événements normaux (presses automatiques, broyeurs à marteaux, compresseurs à pistons, ...) ou par des événements anormaux comme l'écaillage de roulements ou un défaut sur des engrenages, un jeu excessif, ... Les vibrations aléatoires de type impulsionnel (Figure 1 : d) peuvent, par exemple, être générées par un défaut de lubrification sur un roulement, la cavitation d'une pompe. [2], [15].

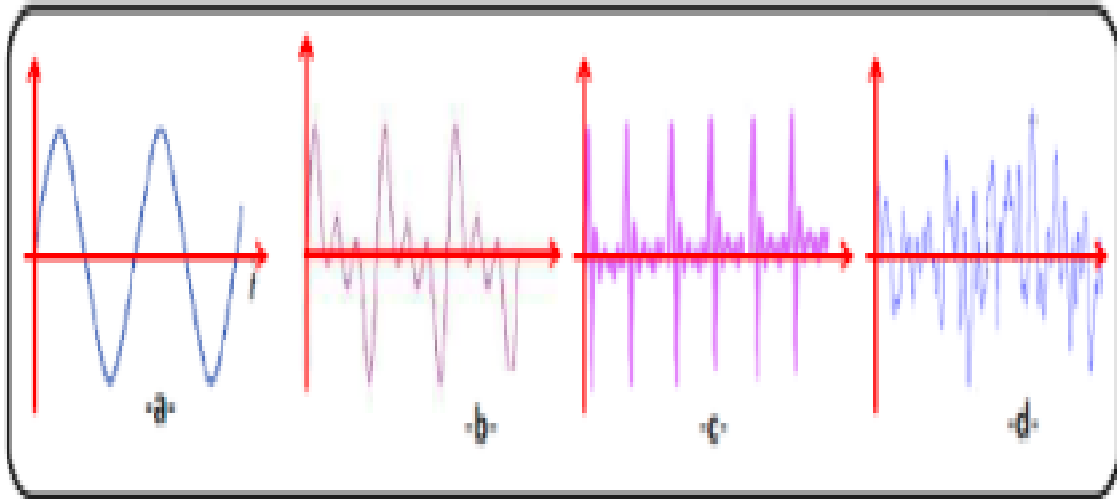


Figure I-1: Nature d'une vibration [2].

## I.2.2 Grandeurs physiques de la vibration

La vibration est caractérisée par trois grandeurs physiques ou cinématique fondamentale sont :

- La vitesse  $\Omega$  ;
- Le déplacement  $x$  ;
- L'accélération  $\gamma$ .

### I.2.2.1 Relations entre les grandeurs de la vibration

La vitesse n'étant que l'expression d'une distance parcourue en un temps donné et l'accélération n'étant que l'expression d'une variation de vitesse par unité de temps, il s'ensuit que la vitesse est définie comme étant la dérivée du déplacement et l'accélération comme la dérivée de la vitesse [1].

Donc, si pour un mouvement tournant, le déplacement  $x$  est représenté par :

$$x(t) = A \sin(2\pi f t) \quad (\text{I-1})$$

En dérivant cette équation, on obtient la vitesse  $v$  du mouvement vibratoire :

$$v(t) = \frac{dx(t)}{dt} \quad (\text{I-2})$$

Et en dérivant à nouveau, on obtient son accélération :

$$\gamma(t) = \frac{dv(t)}{dt} = \frac{d^2x}{dt^2} \quad (\text{I-3})$$

Dans le cas d'un mouvement sinusoïdal, ces relations peuvent aussi s'écrire sous la forme :

$$v(t) = 2\pi f A \sin(2\pi f t + \frac{\pi}{2}) = (2\pi f) x(t) \quad (\text{I-4})$$

La vitesse est décalée de  $\frac{\pi}{2}$  (Eq. I-2) par rapport au déplacement (Eq.I-1).

Et l'accélération en opposition avec le déplacement on obtenu l'équation suivante

$$\gamma(t) = -(2\pi f)^2 x(t) \quad (\text{I-5})$$

### I.3 Analyses Vibratoire

L'analyse vibratoire est une technique qui révèle de nombreux problèmes qui réduisent la durée de vie des éléments machines. L'analyse des vibrations mesure les vibrations de la machine à l'aide d'accéléromètres fixés à la surface de la machine. Les signaux vibratoires ainsi obtenus sont analysés à l'aide d'un logiciel d'analyse vibratoire [3] [15].

#### I.3.1 Objectifs

L'analyse vibratoire comporte plusieurs objectifs que nous pouvons identifier ci-dessous.

- La détection des défauts ;
- L'analyse détaillée des défauts
- Prévenir les temps l'arrêt couteux et les pertes de production [3].

#### I.3.2 Avantages et les inconvénients de l'analyse vibratoire

L'analyse vibratoire présente des avantages considérables, mais aussi comporte des inconvénients à prendre en compte. Parmi ces avantages et des inconvénients site ci-dessous.

##### I.3.2.1 Les avantages

- Détection de défauts à un stade précoce ;
- Possibilités de réaliser un diagnostic approfondi ;
- Permet de surveiller ;
- Autorise une surveillance continue [3].

##### I.3.2.2 Les inconvénients

- Spectres parfois difficile interpréter ;

- Dans le cas de la surveillance continue, installations relativement coûteuses [3].

### I.3.3 Techniques utilisées dans l'analyse vibratoire

Il existe plusieurs techniques d'analyse vibratoires parmi c'est méthode :

#### I.3.3.1 Analyse temporelle

Les méthodes temporelles sont basées sur l'analyse statistique du signal recueilli. Ces méthodes utilisent des indicateurs scalaires qui permettent de suivre l'évolution d'une grandeur dérivant de la puissance ou de l'amplitude crête du signal [4].

#### I.3.3.2 Analyse fréquentielle

L'analyse fréquentielle est les plus utilisées pour l'analyse vibratoire. Il est basé sur la transformée de Fourier qui permet la convertir de domaine temporel au domaine fréquentiel et donc d'obtenir une représentation amplitude/fréquence du signal l'avantage de l'analyse dans ce domaine par rapport au domaine temporel, est son aptitude d'identification et d'isolation facile de certains composants fréquentiels d'intérêt.

Ainsi, cette analyse de spectre permet de mettre en évidence les différentes périodicités dans le signal original.

Pour obtenir le spectre  $X(f)$  de  $x(t)$ , on utilise la transformée de Fourier discret [5], [4]

$$X(f) = \sum_{n=0}^{N-1} x(n) \cdot e^{-j2\pi n \frac{f}{N}} \quad \text{I-6)}$$

Avec,  $n \in \{0, 1, 2, \dots; (N - 1)\}$ , c'est le variable fréquentielle et N le nombre de pointes fréquentielles (Nfft).

Cette technique est utilisée pour la détection des défauts se manifestant dans les hautes fréquences. Ces défauts sont forcément de faible énergie. Ils n'émergent en général pas du bruit de fond sur un spectre dans les hautes fréquences. Ils peuvent s'apparenter à de petits chocs qui excitent la structure de la machine qui répond généralement entre 1 et 10 kHz [4].

Le spectre d'amplitude de la transformée de Fourier est donner par l'équation suivante [5] :

I-7)

### I.3.3.3 Le Cepstre

Le Cepstre est un outil mathématique qui permet la mise en évidence des périodicités dans un spectre en fréquence. Il résulte de la transformée de Fourier inverse d'un spectre de puissance. Il est utilisé pour le diagnostic des phénomènes de chocs périodiques (desserrages, défauts de dents, écaillage de roulements) [6].

## I.4 Les Machines tournantes

Les machines tournantes telles que les moteurs électriques, les ventilateurs industriels, les turbines et les pompes centrifuges représentent des composants essentiels dans les applications industrielles et de production d'énergie. Le but principal des machines tournantes est de convertir l'énergie d'une forme à une autre au moins, une de ces formes peut être rotative, l'autre électrique ou mécanique. Les machines tournantes sont classées en trois catégories principales suivant le schéma ci-dessous:

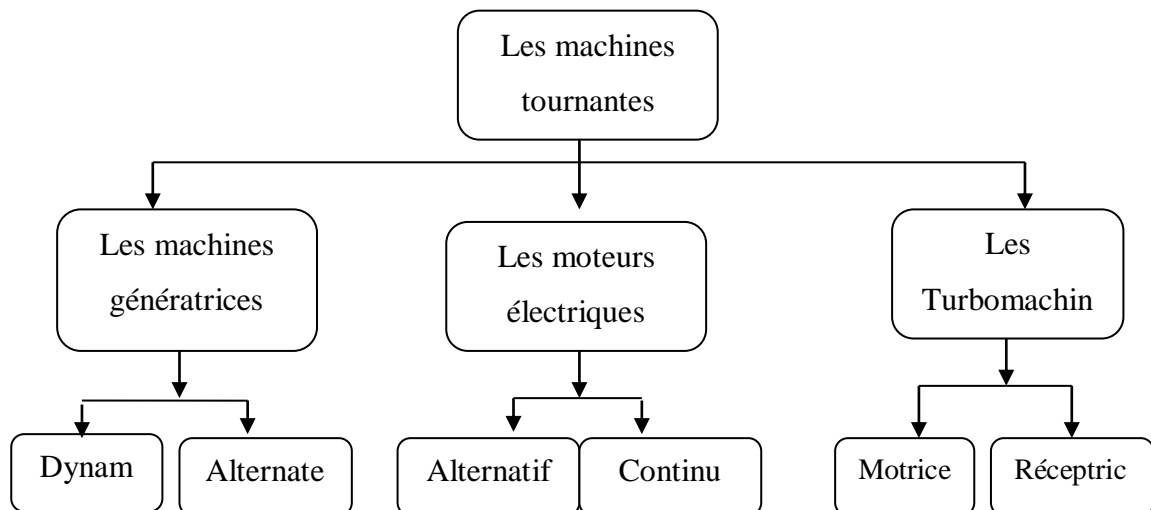


Figure I-2: Différents types des machines tournantes [3].

### I.4.1 Principaux défauts de la machine tournantes

#### I.4.1.1 Déséquilibre de l'arbre de la machine (balourd)

Le déséquilibre décrit l'état des pièces rotatives où le centre de gravité est à l'extérieur de l'axe de rotation. C'est-à-dire qu'il y a un "point lourd" quelque part sur le rotor. Bien qu'il

ne soit pas possible d'éliminer complètement le déséquilibre du moteur, il est possible d'identifier les valeurs hors plage et de prendre les mesures appropriées [7].

#### I.4.1.2 Alignement incorrect

Le désalignement se produit lorsque la position de l'arbre d'entraînement du moteur et de la charge est désalignée ou que les composants reliant le moteur à la charge ne sont pas parfaitement alignés et son origine peut être un desserrage des pieds de fixation d'une des machines ou le support de moteur est bancal [8].

Nous pouvons citer deux types de désalignement (figure I-3) :

##### a) Désalignement parallèle

Lorsque les lignes centrales de l'arbre sont installées parallèlement, mais ne se coupent pas (figure I-3.a).

##### b) Désalignement angulaire

Un désalignement angulaire se produit lorsque les axes de l'arbre se croisent (figure I-3.b).

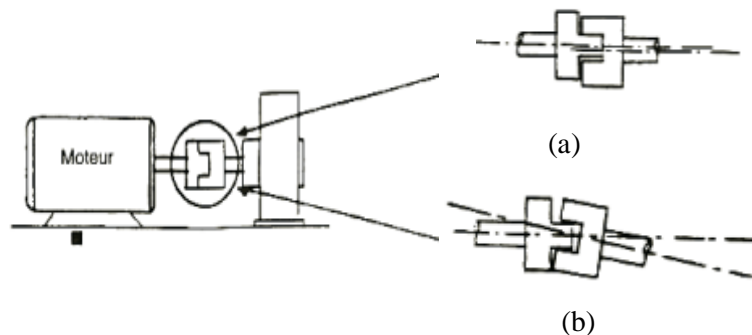


Figure I-3: Défauts de désalignement , a) Désalignement parallèle ; b) Désalignement angulaire. [1]

Le désalignement est l'une des principales raisons du raccourcissement de la durée de vie de divers organes (accouplements, roulements, engrenages...) [9].

#### I.4.1.3 Défaut de fixation

Les défauts de fixations sont généralement le résultat d'un desserrage fixations, telles que des boulons ou des vis de réglage, ou manquante rigidité de montage sur la structure (figure I-4) [8].

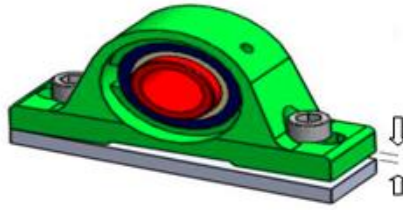


Figure I-4: Défaut de fixation [8].

#### I.4.1.4 Défauts des roulements

Dans les machines tournantes, les roulements qui sont constitués de deux bagues (externe et interne) l'une fixe et l'autre tournante avec le moyeu ou l'arbre sont des composants critiques conçus pour supporter l'ensemble rotatif et absorber les forces dynamiques de l'arbre.

La plupart des défaillances prématurées des roulements sont dues à des causes externes telles que des défauts d'assemblage, de conception ou d'environnement (Lubrifiant pollué, poussière ou impuretés, température trop élevée. Cependant, il existe également des dommages dus à la fatigue pendant le fonctionnement [10] [14].

Les principaux défauts affectant les roulements sont listés ci-dessous :

##### a) Ecaillage

Les contacts entre les corps roulants et les bagues occasionnent de très fortes charges, des contraintes à la fois de compression en surface et de cisaillement en sous couche conduisent à des inclusions en sous-couche puis des fissures qui vont se créer et se développer jusqu'à ce que des morceaux de matière se détachent comme montré la figure I-5.a [10].

##### b) Grippage

Le grippage des roulements ne peut être évité sans lubrification. S'il y a lubrification insuffisante ou inappropriée comme montré la figure I-5.b [10].

##### c) Usure-Empreintes de corps étranger

Toutes ces défauts sont dus au fait que le roulement n'est pas protégé lors de l'installation ou de l'utilisation. En effet, la poussière, quelle que soit sa nature, a toujours un pouvoir abrasif élevé. Ce manque de protection permet à des corps étrangers de pénétrer dans le roulement. Lorsque ces corps étrangers passent à plusieurs reprises entre les éléments roulants et la surface du chemin de roulement, de nombreuses petites bosses se forment et du bruit est généré dans le roulement. La détérioration de la surface du chemin de roulement et

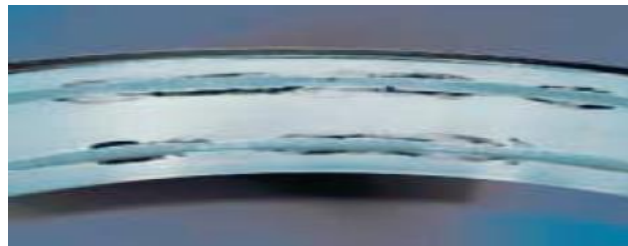
de la finition de surface des éléments roulants accélère la fatigue du matériau comme montré la figure I-5.c [10].



(a) Ecaillage.



(b) Grippage.



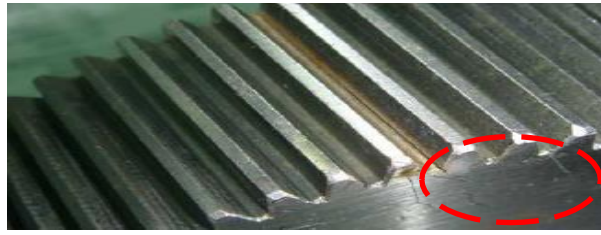
(c) Usure.

Figure I-5: Différents défauts dans les roulements, a) écaillage ; b) grippage, c) usure [10].

#### **I.4.1.5 Défauts d'engrenages**

Les engrenages sont des composantes nécessaires dans la machine tournantes, donc la détection de défauts dans ses organes nécessite une détection préalable pour éviter une défaillance catastrophique [11], [14].

Les différents défauts qui trouvent dans les engrenages, ils sont présentes dans la détérioration de sa denture comme : l'usure, fissuration et le grippage. Comme montre la figure suivante :



(a) Fissuration.



(b) L'usure.



(c) Grippage.

Figure I-6: Différents défauts localisés sur une dent d'un engrenage, a) fissuration, b) L'usure, c) grippage [12].

#### a) Fissuration

Il existe de nombreux types de fissures et elles sont généralement associées à la fatigue de surface et aux défauts de fabrication (Figure I-7.a) [12].

#### b) L'usure

Est un phénomène local caractérisé par l'enlèvement de matière par deux surfaces glissant l'une contre l'autre (Figure I-7.b) [12].

#### c) Grippage

Il résulte directement de la rupture brutale du film d'huile sous l'action de température due au frottement sous la charge (Figure I-7.c) [12].

### I.4.1.6 Défauts de transmission par courroies

Les courroies et les poulies transmettent un mouvement circulaire continu entre deux arbres moteur et récepteur. Les défauts sur cette transmission sont [9]:

- Mauvais pose ;
- Désalignement de la poulie ;
- Courroie en mauvais état (détendues ou usées).

#### I.4.2 Résumé des défauts liées aux machines

Le tableau I-1 récapitule les défauts les plus connue sur les machines tournante.

Tableau I-1: Types défauts et leurs cause probable.

N°	Type de défauts	défauts	Cause probable
1	Electrique	Dégradation de l'isolement des enroulements moteur	- Circulation du courant de fuit
2	Mécanique	Consommation excessive du courant	- Surcharges de moteur
3		Un couple insuffisant	- Surcharges de moteur
4		Surchauffe du moteur	- Surcharges de moteur
5		Puissant Vibrations (moteur ou charge)	- Mauvais support bancal
6		Usure prématurée des composants mécaniques	- Déséquilibre de l'arbre
7		Vibrations anormale	- Jeu excessif des composants mécanique
8		Bruit anormale due au roulement	- Mauvais alignement de l'arbre

### I.5 Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons présenté les bases de la technique de vibration et nous avons aussi cité les différents types de défauts liées à la machine tournante. Parmi les méthodes de détection des défauts nous avons utilisé l'analyse vibratoire.

# **Chapitre II**

## **Etude expérimentale**

## II.1 Introduction

La partie expérimentale de notre projet est présentée dans ce chapitre. Le banc expérimental de ce travail est installé dans l'atelier du laboratoire du département de génie électrique de notre faculté. Dans ce chapitre, nous présenterons le banc d'essai, les différents capteurs utilisés et les moyens d'acquisitions des signaux expérimentaux.

## II.2 Description du dispositif expérimental

Les signaux de vibration utilisés dans cette étude ont été obtenus à partir d'un dispositif expérimental implanté à notre l'atelier de notre faculté. Ce dispositif expérimental est présenté dans la figure ci-dessous.

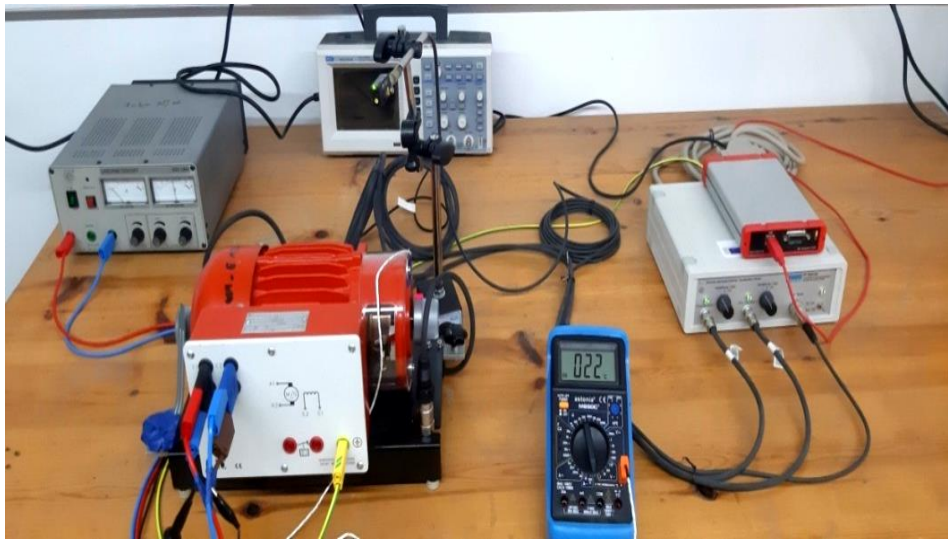


Figure II-1: Le dispositif expérimental de nos tests.

### a) Machine tournante

Nous avons fait nos tests sur un moteur dont les caractéristiques sont présentées dans le tableau II.1 ci-dessous.

Tableau II-1:Fiche technique de moteur.

Type de machine	Caractéristique	Valeurs	Unité
Moteur CC 73121	Tension	220	V
	Courant	0.7	A
	Puissance	0.1	KW
	RPM	2000	Tr/min
	Indice de Protection	IP 20	

**b) Description de l'appareil PT 500.04**

Le système comprend deux accéléromètres, un amplificateur de mesure à gain réglable, une carte d'acquisition de données PCI à taux d'échantillonnage élevé et le logiciel d'analyse.

Le logiciel d'analyse offre les fonctionnalités suivantes :

- Oscilloscope à deux canaux pour les investigations dans la plage de temps ;
- Analyseur de spectre et appareil de mesure des vibrations;
- Analyse de l'enveloppe pour les effets de bosse et les dommages aux roulements à rouleaux ;
- Filtre mobile pour enregistrer les courbes de démarrage ;

Le logiciel permet d'appliquer diverses méthodes d'analyse à un signal vibratoire et de les comparer en termes d'efficacité. Cela permet de connaître les avantages et les inconvénients des différentes techniques.

Le logiciel dispose d'une interface utilisateur intuitive et est très convivial. Une fonction d'aide en ligne fournit des indications sur les différentes fonctions. Les résultats de mesure peuvent être imprimés.



Figure II-2:PT 500.04.

**c) Capteurs**

Les différents capteurs utilisés dans notre banc d'essai sont présentés dans les figures suivantes :



(a) Capteur optique(Vitesse).



(b) Accéléromètre 603C01.

Figure II-3: Les deux capteurs de nos essais a) capteur optique, b) accéléromètre .



Figure II-4: Connecteur Accéléromètre 603C01.

#### **d) Représentatif du banc d'essai**

La figure II.5 présente le schéma représentatif du banc d'essai, Dans ce schéma nous montrons les différents éléments constituant le banc d'essai.

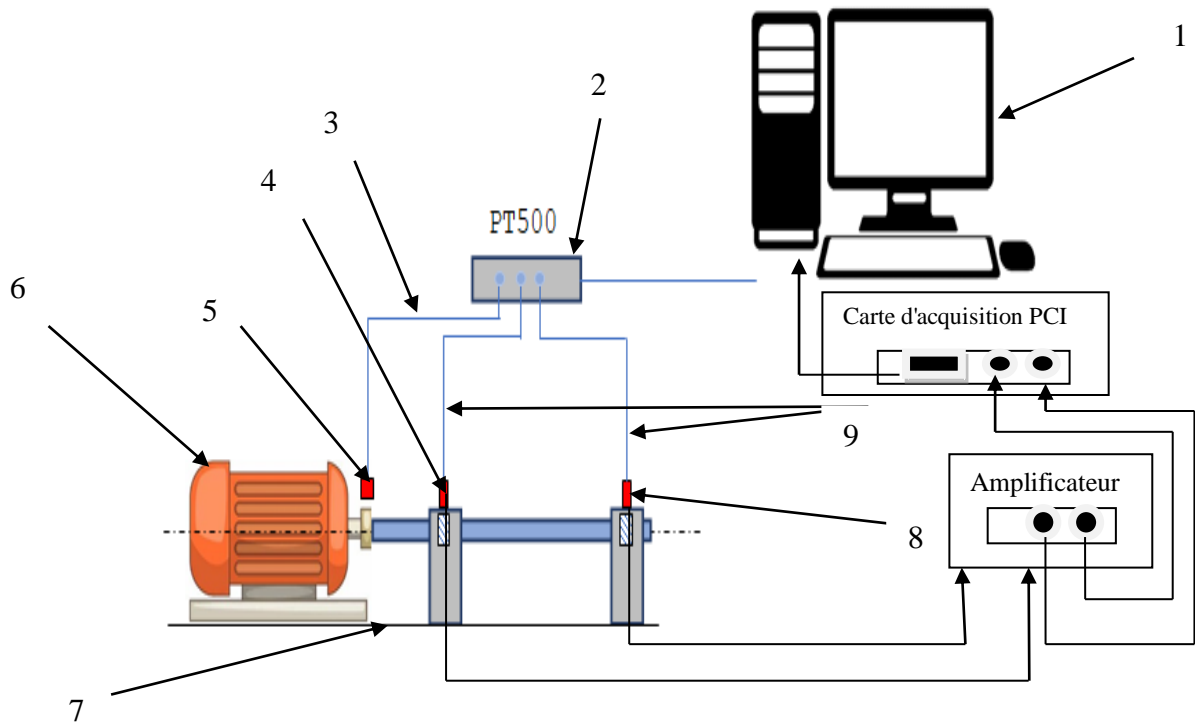


Figure II-5: Schéma représentatif du banc d'essai.

Les éléments énumérés dans la figure II-5 sont :

- 1 : Ordinateur HP Prodesk 400 ;
- 2 : L'accessoire PT 500.04 ;
- 3 : Câble de raccordement (pour la vitesse) ;
- 4: capteurs d'accélération (CANAL1) (Figure II-3.b) ;
- 5 : Capteur de vitesse (Figure II-3.a) ;
- 6 : Moteur électrique ;
- 7 : Table de fixation ;
- 8 : capteurs d'accélération (CANAL2) (Figure II-3.b) ;
- 9 : Deux câbles de raccordement (pour l'accélération) (Figure II-4).

Les signaux ont été pris à partir d'un accéléromètre monté sur les extrémités du moteur.

Selon les différentes configurations citées sous-dessous :

- Machine à l'arrêt ;
- Machine à vide ;
- Machine avec Défaut.

## II.3 Les Tests expérimentaux

Avant d'effectuer nos tests, nous avons réglé les paramètres de l'interface PT 500 comme suit :

- Réglage du gain ( $\times 1$ ) ;
- La fonction fenêtre : permet de filtrer le signal d'entrée à l'aide d'une fonction fenêtre (Flat Top) ;
- Le Logarithme ou linéaire représentation : elle permet de choisir entre la représentation linéaire ou logarithmique de l'amplitude dans le domaine fréquentiel. (Linear) ;
- Unité d'amplitude (pk) ;
- Limiter la plage de fréquences du signal limite supérieur (1000 Hz) et limite inférieure (10 Hz) ;
- Fréquence (balayage) : nous avons appliqué le théorème de Shannon, nous indique que la fréquence d'échantillonnage doit être supérieure à 2 fois à la fréquence maximale que l'on souhaite observer, appelée Fmax.
- Durée de balayage ;
- Réglages des canaux ;
- Graphique d'évolution du signal canal A et canal B, ce graphique d'évolution du signal représente les valeurs de mesure enregistrées sous forme d'évolution temporelle.

### II.3.1 Test machine à l'arrêt

Le test à l'arrêt a été répété trois fois pendant trois jours distincts dans le même environnement avec les mêmes données, qui sont présentées ci-dessous dans le tableau II-2.

Nous avons enregistré 22 fichiers pour chaque test avec différents paramètres de configuration. Au total, ces trois tests contiennent 66 fichiers dans un répertoire appelé « Machine arrêt ».

Nous avons testé la machine à l'arrêt pour déterminer la valeur maximale de l'amplitude.

Tableau II-2: Test machine à l'arrêt.

Tests machine à l'arrêt	Fréquence de balayage (K/S)	Durée de balayage (S)	Tension (V)	RPM (tr/min)	Nombre d'échantillon	Nombre de fichier	
						Ch1	Ch2
<b>Test1</b> 04_06_2023 <b>Test2</b> 05_06_2023 <b>Test3</b> 07_06_2023	1	1	0	0	206	66	
		2					
		4					
		8					
	2	1					
		4					
	4	1					
	8	1					
	16	1					
	32	1					
64	1						
					411		
					821		
					1640		
					3278		
					6555		
					13109		

### II.3.2 Test machine marche à vide

Pour les tests de la machine neuve et à vide, nous avons alimenté le moteur avec trois différentes tensions tout en enregistrant ces signaux.

Tableau II-3: Test machine neuve à vide avec une rotation de 200 tr/mn.

Tests	Fréquence de balayage (K/S)	Durée de balayage (S)	Tension (V)	RPM (tr/min)	Nombre d'échantillon	Nombre de fichier	
						Ch1	Ch2
Test machine marche avec (Vmin)	1	1	12	200	206	22	
		2					
		4					
		8					
	2	1					
		4					
	4	1					
	8	1					
	16	1					
	32	1					
64	1						
					411		
					821		
					1640		
					3278		
					6555		
					13109		

Tableau II-4: Test machine neuve à vide avec une rotation moyenne de 820 tr/mn.

Tests	Fréquence de balayage (K/S)	Durée de balayage (S)	Tension (V)	RPM (tr/min)	Nombre d'échantillon	Nombre de fichier	
						Ch1	Ch2
Test machine marche avec (Vmoy)	1	1	24	820	206	22	
		2					
		4					
		8					
	2	1			411		
		4					
	4	1			821		
	8	1			1640		
	16	1			3278		
	32	1			6555		
64	1	13109					

Tableau II-5: Test machine neuve à vide avec une rotation de 1094 tr/mn.

Tests	Fréquence de balayage (K/S)	Durée de balayage (S)	Tension (V)	RPM (tr/min)	Nombre d'échantillon	Nombre de fichier	
						Ch1	Ch2
Test machine marche avec (Vmax)	1	1	48	1094	206	22	
		2					
		4					
		8					
	2	1			411		
		4					
	4	1			821		
	8	1			1640		
	16	1			3278		
	32	1			6555		
64	1	13109					

Le but de ces tests est de déterminer les fréquences qui représentent la signature de notre machine à l'aide du seuil que nous avons choisi dans le test de la machine à l'arrêt.

### II.3.3 Test machine avec défaut

Dans ce test, nous avons créé un défaut au niveau de l'arbre du moteur et nous avons enregistré les essais avec les mêmes paramètres utilisés avec la machine à vide (les trois tensions).

Tableau II-6: Test machine avec défaut avec une rotation de 200 tr/mn.

Tests	Fréquence de balayage (K/S)	Durée de balayage (S)	Tension (V)	RPM (Tr/min)	Nombre d'échantillon	Nombre de fichier	
						C1	C2
Test machine avec défaut et (Vmin)	1	1	12	200	206	22	
		2					
		4					
		8					
	2	1					
		4					
	4	1					
	8	1					
	16	1					
	32	1					
64	1						
					411		
					821		
					1640		
					3278		
					6555		
					13109		

Tableau II-7 : Test machine avec défaut avec une rotation de 820 tr/mn.

Tests	Fréquence de balayage (K/S)	Durée de balayage (S)	Tension (V)	RPM (Tr/min)	Nombre d'échantillon	Nombre de fichier	
						Ch1	Ch2
Test machine avec défaut et (Vmoy)	1	1	24	820	206	22	
		2					
		4					
		8					
	2	1					
		4					
	4	1					
	8	1					
	16	1					
	32	1					
64	1						
					411		
					821		
					1640		
					3278		
					6555		
					13109		

Tableau II-8 : Test machine avec défaut avec une rotation de 1094 tr/mn.

Tests	Fréquence de balayage (K/S)	Durée de balayage (S)	Tension (V)	RPM (Tr/min)	Nombre d'échantillon	Nombre de fichier	
						Ch1	Ch2
Test machine avec défaut et (Vmax)	1	1	48	1094	206	22	
		2					
		4					
		8					
	2	1					
		4					
	4	1					
	8	1					
	16	1					
	32	1					
64	1						
					411		
					821		
					1640		
					3278		
					6555		
					13109		

Ces essais ont été enregistrés dans le but de savoir quels sont les fréquences qui représentent le défaut créé sur la base des fréquences de la signature de la machine.

## II.4 Présentations des signaux temporel

Pour présenter les résultats, nous avons créé un programme MATLAB, qui est référencé en annexe 1.

Les figures (II-6 à II-8) montrent L'accélération en fonction du temps.

### II.4.1 Signaux de test machine à l'arrêt

La figure II 6 représente un signal temporel avec les paramètres de configuration listés dans le tableau II-2 avec une fréquence d'échantillonnage de 64 kHz et un temps d'observation de 0,2 seconde.

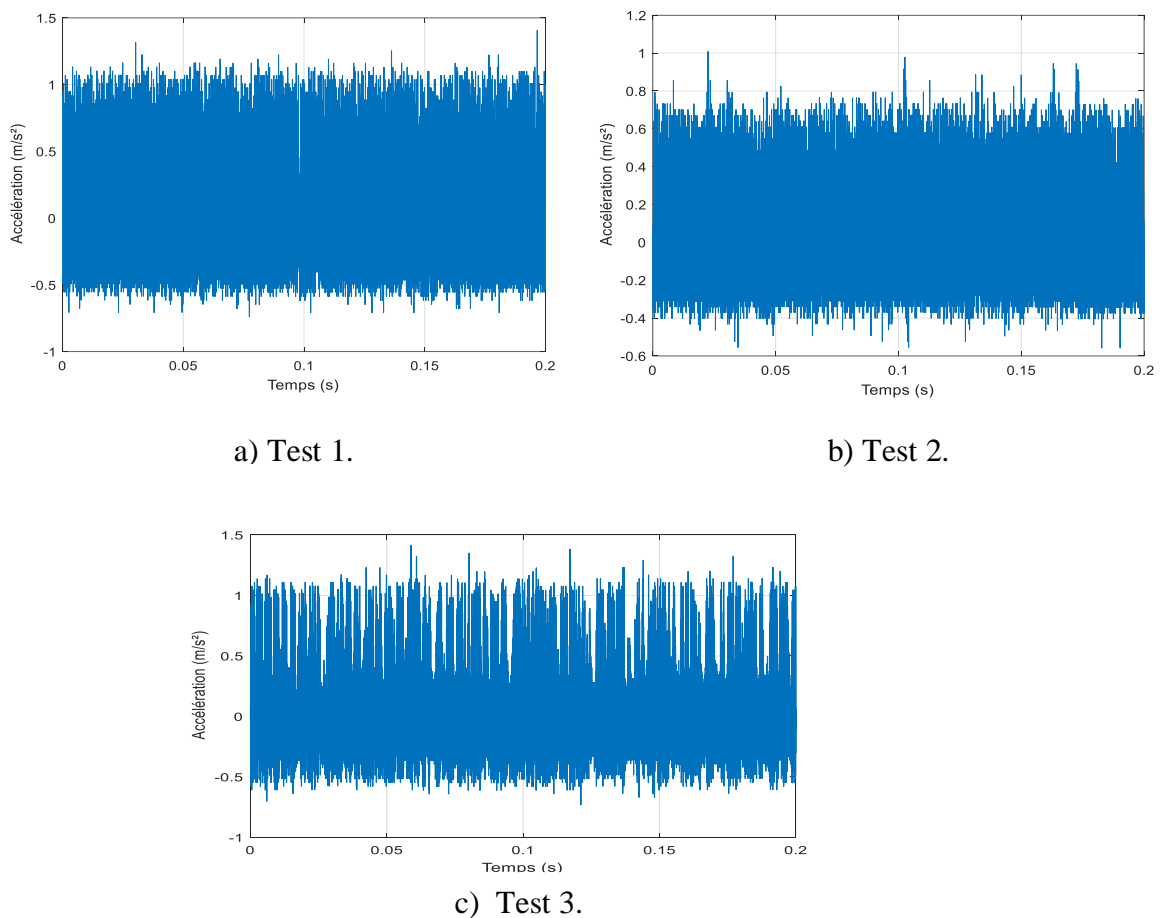
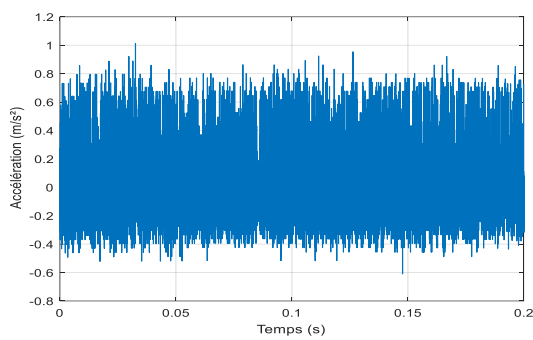


Figure II-6: Signal temporel d'une machine à l'arrêt pour différents cas, a) test 1 (1 ère Journée), b) test2 (2 ème Journée), c) test3 (3 ème Journée).

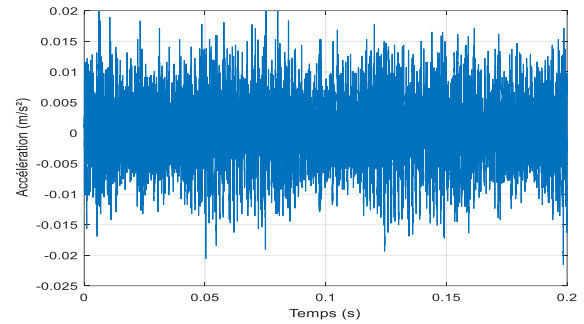
D'après ces figures, elles montrent divers perturbations enregistrées même lorsque le moteur est à l'arrêt, ces perturbations sont causées par le bruit aux abords de l'atelier et notamment par le bruit des véhicules du parc de la faculté.

### II.4.2 Les signaux pour test machine neuve et à vide

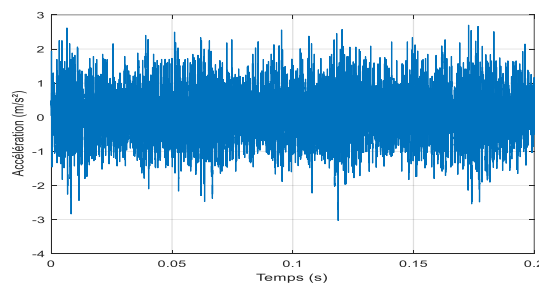
La figure suivante représente le signal temporel obtenu par la voie 1 de notre appareil avec trois vitesses différentes et avec les paramètres de configuration cités dans les tableaux (II-3) (II-4) et (II-5) avec une fréquence d'échantillonnage de 64 kHz et un temps d'observation de 0,2 seconde.



a) Test 1.



b) Test 2.



c) Test 3.

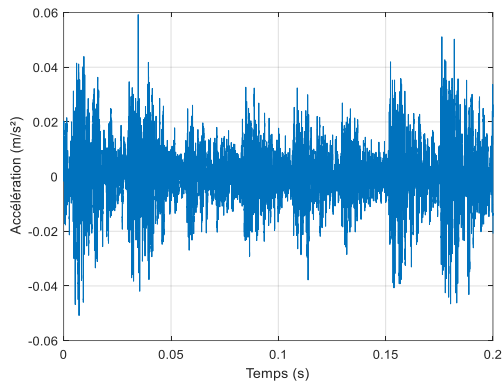
Figure II-7: Signal temporel pour machine neuve du canal 1 pour différentes vitesses,

a)  $n=200$ tr/mn, b)  $n=820$ tr/mn, c)  $n=1094$ tr/mn.

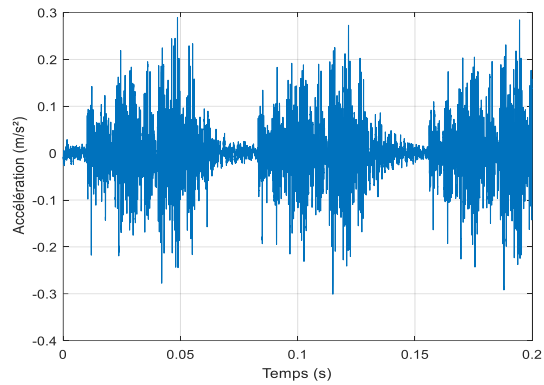
Ces figures montrent des signaux oscillatoires pour un moteur sain et nous remarquons clairement lors de la variation de la vitesse, l'oscillation du moteur augmentent avec la vitesse.

### II.4.1 Les signaux pour test machine à vide et avec défaut

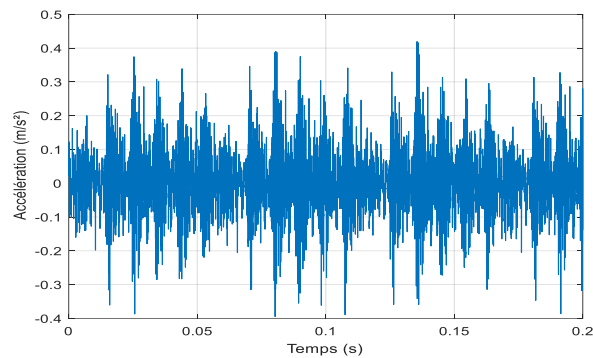
La figure (II-8) représente le signal temporel obtenu par la voie 1 de notre appareil avec trois vitesses différentes et avec les paramètres de configuration cités dans les tableaux (II-6) (II-7) et (II-8) avec une fréquence d'échantillonnage de 64 kHz et un temps d'observation de 0,2seconde.



a) Test 1



a) Test 2



a) Test 3

Figure II-8: Signal temporel pour machine avec défaut du canal1 pour différents vitesse,

a)  $n=200\text{tr/mn}$ , b)  $n=820\text{tr/mn}$ , c)  $n=1094\text{tr/mn}$ .

D'après l'analyse temporelle des signaux, nous constatons une différence entre le moteur sain et avec défaut. Cette différence est remarquable par l'amplitude et la variation de leur oscillation.

## II.5 Conclusion

A partir de nos essais effectués sur le banc d'essais réalisé et à l'aide de la chaîne de mesure, nous avons enregistré nos signaux vibratoires de notre machine à l'arrêt, sain et avec défauts. L'analyse de ces signaux temporelle montre la différence entre les différents états du moteur (sain ou en défaut) par rapport à leur amplitude et ses oscillations. C'est pour cette raison nous devons recourir à l'analyse spectrale, c'est le but du chapitre suivant.

# **Chapitre III**

## **Analyse des résultats expérimentaux**

## III.1 Introduction

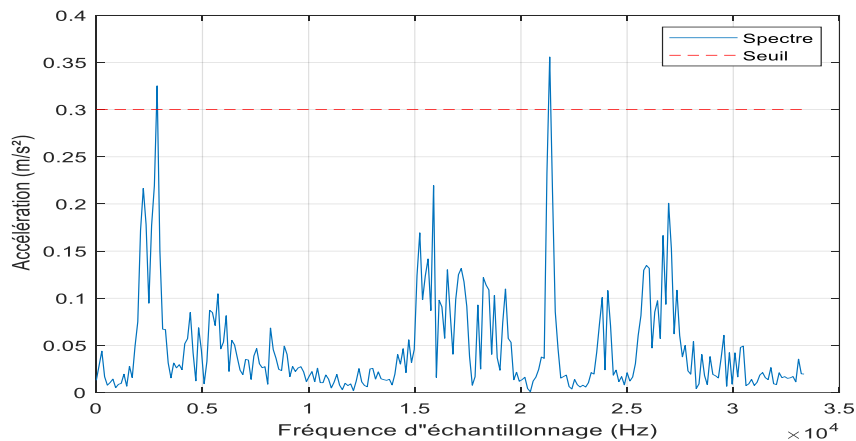
L'analyse dans le domaine fréquentiel est une technique fiable et très souvent utilisée lors de diagnostic et localisation des défauts dans les machines tournantes [13].

Dans ce chapitre nous développerons un programme en MATLAB qui permet de faire une analyse spectrale pour différents états du moteur ; ces derniers sont représentés par notre base de données appelée DATA composée de 198 fichiers.

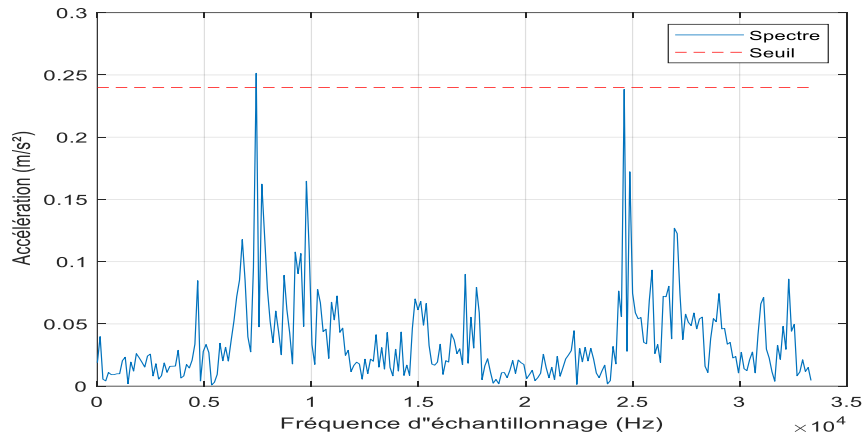
## III.2 Résultats et analyses

### III.2.1 Cas avec machine à l'arrêt

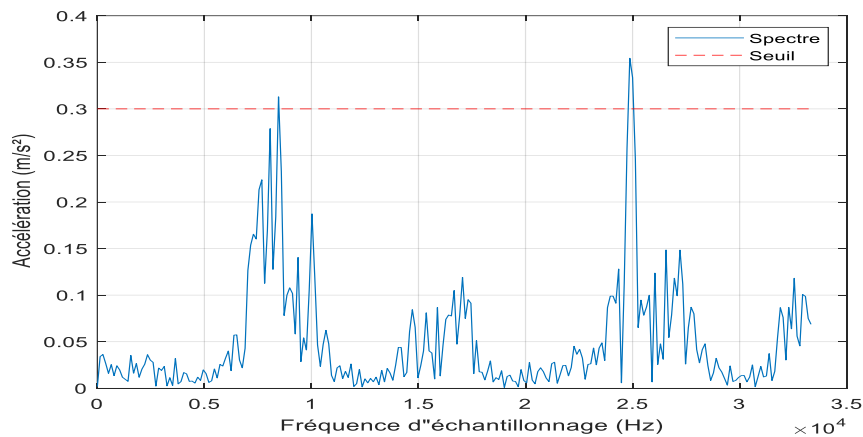
La figure III-1 représente le spectre fréquentiel pour les trois tests (tableau II-2).



a)



b)



c)

Figure III-1: Spectre du signal de la machine à l'arrêt pour différents cas avec fréquence de balayage 64k/s, a) test 1 (1<sup>ère</sup> Journée), b) test2 (2<sup>ème</sup> Journée), c) test3 (3<sup>ème</sup> Journée).

Durant ces tests, nous avons remarqué que les signaux contenaient des bruits bien que la machine était à l'arrêt, ces bruits parviennent de l'environnement externe de la machine, donc, c'est dû à une vibration provoquée par un mouvement externe.

L'objectif de ces spectres est pour déterminer le seuil de référence par rapport aux tests machine à vide et en défaut. Le seuil est la valeur maximale de l'amplitude des différents tests.

Le tableau suivant regroupe les maximums des amplitudes des tests à l'arrêt qui contient 66 fichiers

Tableau III-1:Maximum de spectre de la machine à l'arrêt.

Test machine à l'arrêt	Fréquence de balayage (k/s)	Accélération (m/s <sup>2</sup> )
Test 01	C2_64_1S	0,325
		0,355
Test 02	C1_64K_1S	0,295
Test 03	C2_64K_1S	0,354
		0,312

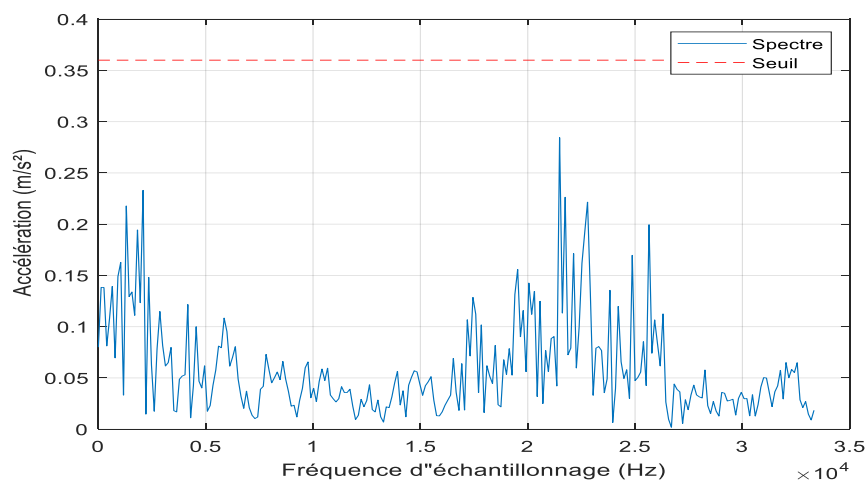
A partir du tableau (III-1) nous remarquerons une valeur maximale d'amplitude  $Th=0,355\text{mm/S}^2$ , en conséquence, le seuil de départ de nos prochains essais sera  $Th=0,36\text{mm/S}^2$ .

### III.2.2 Cas machine neuve à vide

Dans ces conditions, nous avons montré les différents spectres d'amplitudes pour machine neuve à vide avec trois tensions différents.

#### a) Vitesse minimale

La représentation de la figure ci-dessous est le spectre d'amplitude avec vitesse minimale et fréquence de balayage 64k/s.

Figure III-2:Spectre du signal de la machine à vide du canal1 avec  $\eta = 190\text{tr/mn}$ ,  $F_e = 64\text{kHz}$ .

Nous constatons que le spectre ne dépasse pas notre seuil, donc nous ne pouvons pas obtenir les signatures de la machine dans une vitesse minimale

### b) Vitesse moyenne

Les figures [III-3, III-4] suivantes représentent spectre d'amplitude avec vitesse moyenne et différents fréquence de balayage.

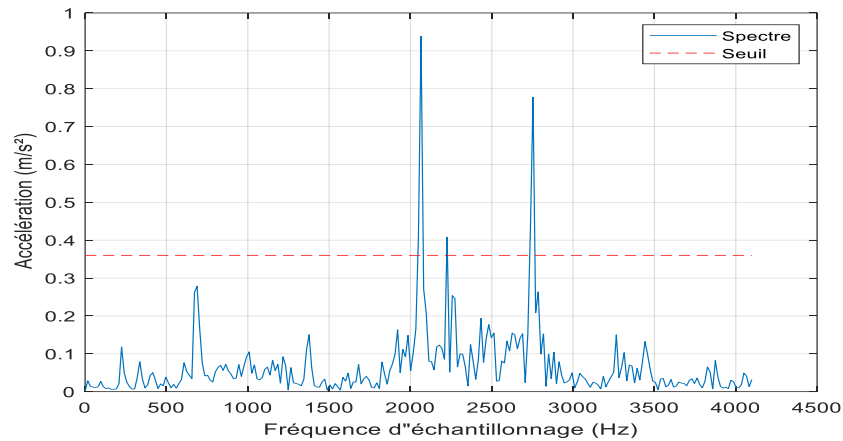


Figure III-3 : Spectre du signal de la machine à vide du canal1 avec  $v=820\text{tr/mn}$ ,  $F_e= 8\text{ kHz}$ .

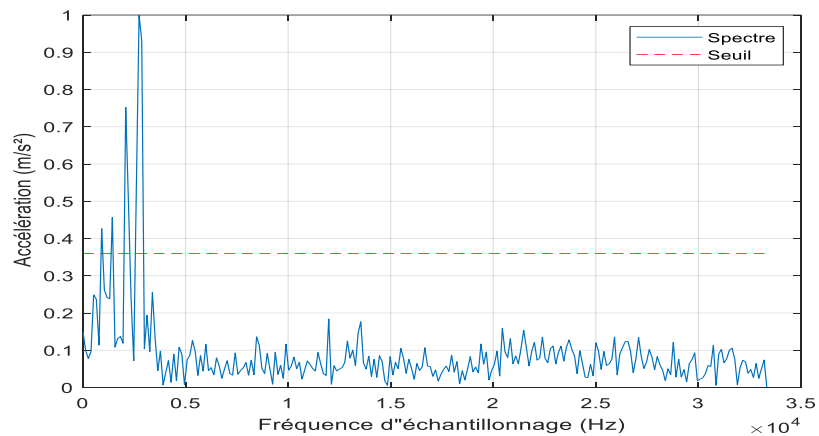


Figure III-4: Spectre du signal de la machine à vide du canal2 avec  $\eta =820\text{/mn}$ ,  $F_e= 64\text{ kHz}$ .

### c) Vitesse maximale

Les figures [III-5\_III-7] suivantes représentent le spectre d'amplitude avec vitesse moyenne et différents fréquence de balayage.

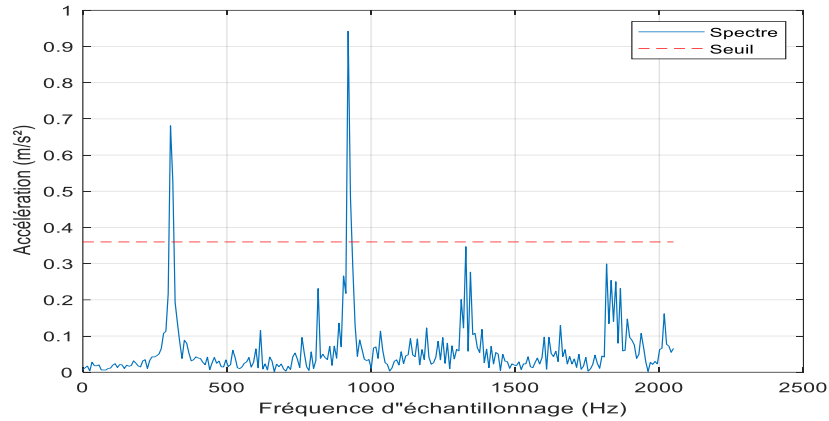


Figure III-5: Spectre du signal de la machine à vide du canal2 avec  $\eta = 1094\text{tr/mn}$ ,  $F_e = 4\text{ kHz}$ .

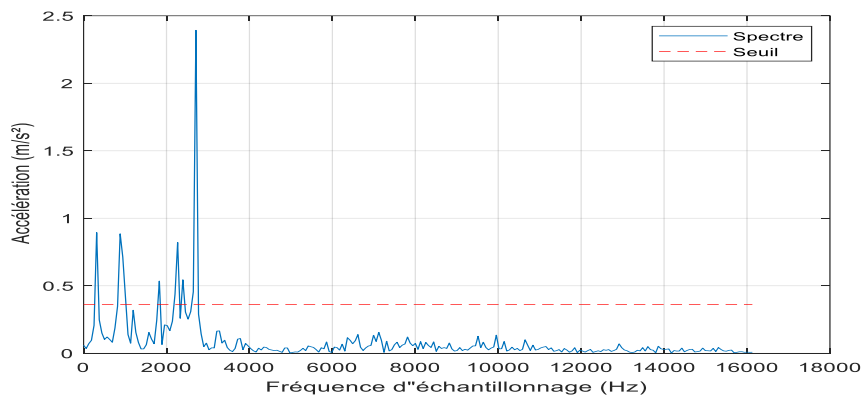


Figure III-6: Spectre du signal de la machine à vide du canal1 avec  $\eta = 1094\text{tr/mn}$ ,  $F_e = 32\text{ kHz}$ .

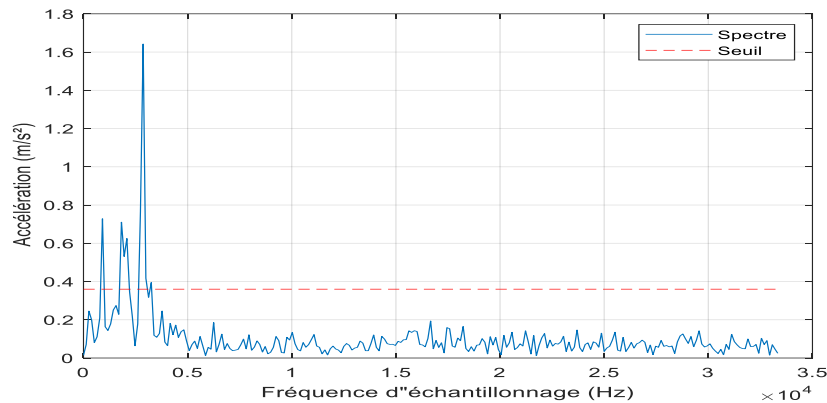


Figure III-7: Spectre du signal de la machine à vide du canal2 avec  $\eta = 1094\text{tr/mn}$ ,  $F_e = 64\text{ kHz}$ .

À partir des figures [III-3\_III-7], nous avons remarqué l'apparition de fréquences qui dépassent le seuil de départ, donc nous déduisons que ces fréquences sont la signature de notre machine.

Les tableaux ci-dessous représentent quelque fréquence de notre machine.

Tableau III-2:Fréquences de la signature de notre machine avec vitesse 820tr/min.

Fréquence de balayage (k/s)	Fréquence de la machine (Hz)
8k1s Ch1	2225,3
16k1s Ch1, Ch2	2081,2
32k1s Ch1	2079,1
64k1s Ch1	2343,8
	3385,4
64k1s Ch2	911.4583
	1432,3

Tableau III-3:Fréquences de la signature de notre machine avec vitesse 1090tr/min.

Fréquence de balayage (k/s)	Fréquence de la machine (Hz)
4k/1s Ch1	304.1752
4k/1s Ch2	920.5302
8k/1s Ch1	2081,2
16k/1s Ch1	320.1844
	2689,5
16k/1s Ch2, 8k1s Ch1	2081,2
32k/1s Ch1	882.0565
32k/1s Ch2	1827,1
	2079,1
64k/1s Ch1	911.4583
64k/1s Ch2	1822,9
	3255,2

### III.2.3 Cas machine avec défaut

Dans ce cas nous avons présenté les différents spectres d'amplitudes pour machine avec défaut avec trois tensions différentes.

#### a) Vitesse minimale

La représentation de la figure ci-dessous est le spectre d'amplitude avec vitesse minimale et fréquence de balayage 64k/s.

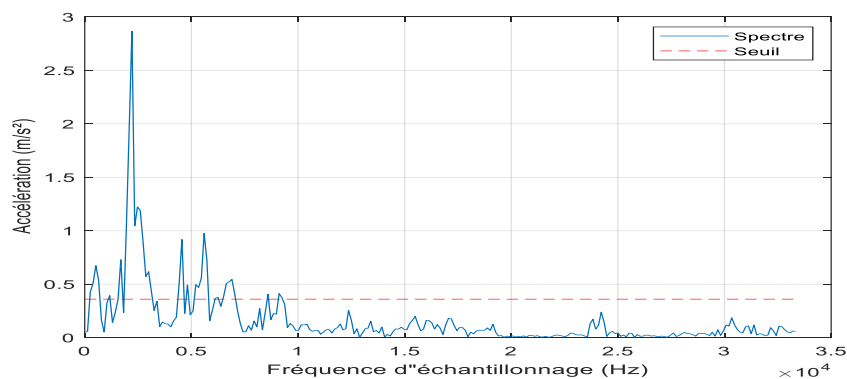


Figure III-8:Spectre du signal de la machine avec défaut du canal2 avec v=190tr/mn, Fe= 64 kHz.

**b) Vitesse moyenne**

Les figures [II-9, II-10] suivantes représentent spectre d'amplitude avec vitesse moyenne et différents fréquence de balayage.

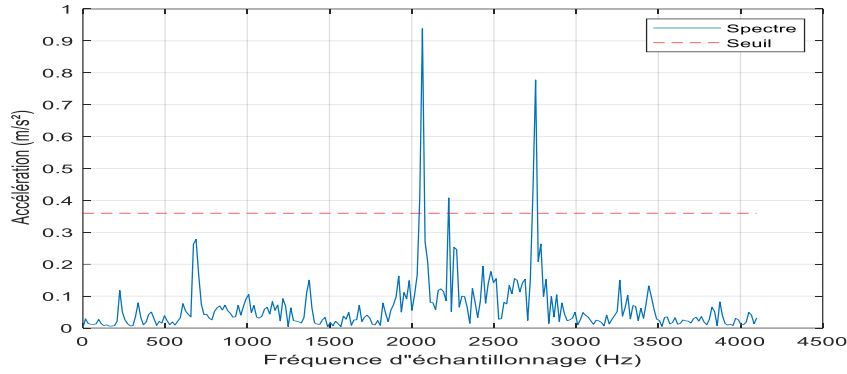


Figure III-9: Spectre du signal de la machine avec défaut du canal1 avec  $v=820\text{tr/mn}$ ,  $F_e= 8\text{ kHz}$ .

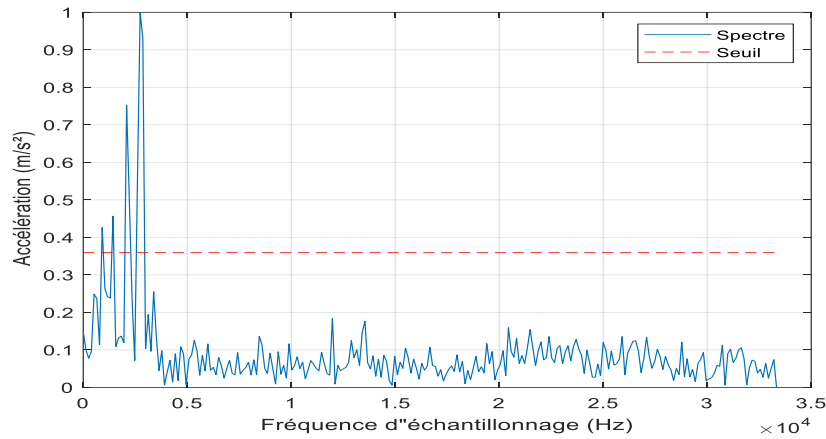


Figure III-10: Spectre du signal de la machine avec défaut du canal2 avec  $v=820\text{tr/mn}$ ,  $F_e= 64\text{ kHz}$ .

**c) Vitesse maximale**

Les figures [III-11\_III-13] suivantes représentent spectre d'amplitude avec vitesse moyenne et différents fréquence de balayage.

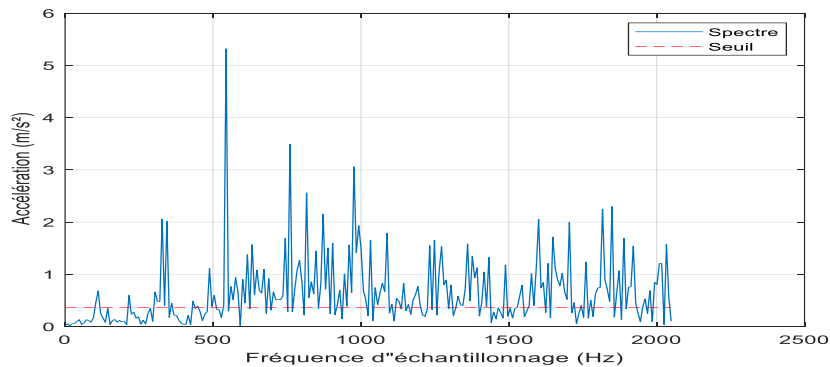


Figure III-11: Spectre du signal de la machine avec défaut du canal1 avec  $v=1094\text{tr/mn}$ ,  $F_e= 4\text{ kHz}$ .

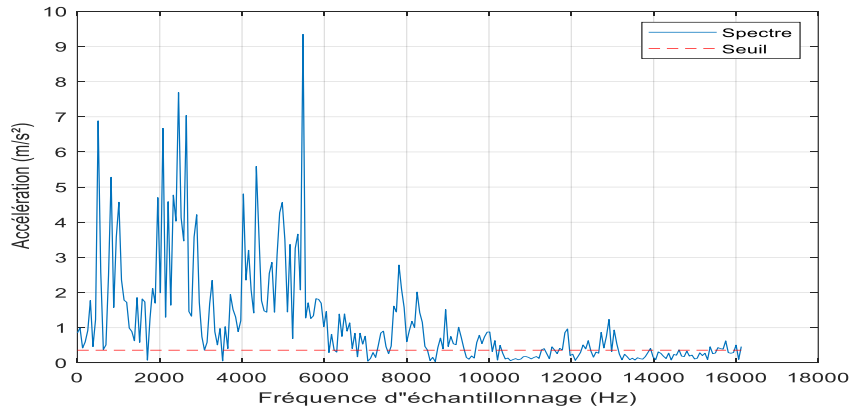


Figure III-12: Spectre du signal de la machine avec défaut du canal1 avec  $v=1094\text{tr/mn}$ ,  $F_e= 32\text{ kHz}$ .

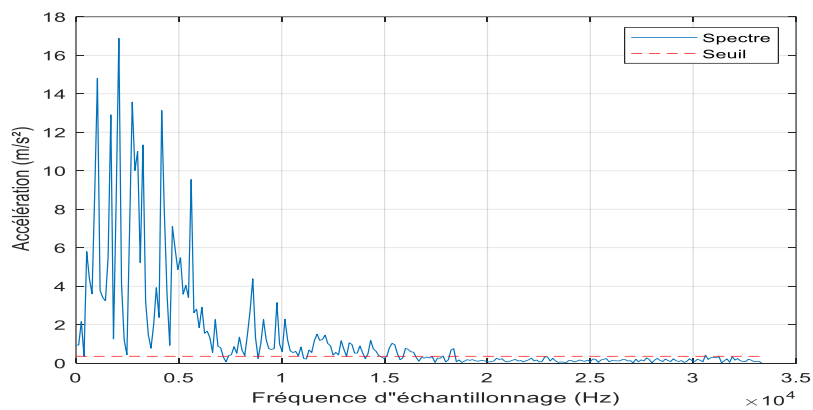


Figure III-13: Spectre du signal de la machine avec défaut du canal2 avec  $v=1094\text{tr/mn}$ ,  $F_e= 64\text{ kHz}$ .

Nous avons remarqué une grande augmentation de l'amplitude du spectre de la machine avec défaut par rapport au spectre de la machine neuve avec les trois vitesses différentes.

Ce que nous avons vu dans le tableau Excel, c'est que certaines fréquences se sont répétées et ont été identifiées dans la signature de notre machine.

Par conséquent, nous pouvons dire que toutes les fréquences restantes représentent le défaut que nous avons créé.

Les tableaux ci-dessous [III-4 & III-5] montrent les fréquences récurrentes de la machine en marche parmi les fréquences de signature citées dans les tableaux précédents [III-2 & III-3].

Tableau III-4: Les fréquences ceux qui sont apparus dans le défaut, mais qui représentent la signature de notre machine avec vitesse moyenne.

Fréquence de balayage (k/S)	Fréquence (Hz)
C1_16k_1s	2081,2
C1_32k_1s	2079,1
C2_16k_1s	2081,2
C2_64_1s	1432,3

Tableau III-5: Les fréquences ceux qui sont apparus dans le défaut, mais qui représentent la signature de notre machine avec vitesse maximale.

Fréquence de balayage (k/S)	Fréquence (Hz)
C1_16k_1s	320.1844
C1_32k_1s	1827,1
C1_4K_1s	304.1752
C1_64k_1s	911.4583
C2_32k_1s	1827,1
C2_64_1s	3255,2
C2_8k_1s	2081,2

### III.3 Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons extrait et analysé les résultats obtenus sur la base de ce que nous avons mentionné précédemment dans le chapitre précédent, en avons conclu les fréquences qui représentent la signature de notre machine ainsi que les fréquences des défauts que nous avons créés.

Le bon choix de l'environnement et le temps jouent un rôle important pour diagnostiquer la machine tournante

# **Conclusion générale**

## **Conclusion générale**

L'analyse vibratoire est une méthode non destructive qui permet de prévenir les défaillances coûteuses et préjudiciables à l'ensemble du système. Cette méthode est largement utilisée dans l'industrie pour diagnostiquer les défauts, réduire les coûts de maintenance et optimiser la durée de vie des machines tournantes.

En utilisant l'analyse vibratoire, les entreprises peuvent minimiser les temps d'arrêt imprévus, améliorer la fiabilité des machines, et augmenter la sécurité pour les employés. Cependant, il est important de noter que l'analyse vibratoire ne doit pas être utilisée seule, mais doit être combinée avec d'autres méthodes de diagnostic pour une évaluation complète de l'état des machines tournantes.

Après la présente étude, avec nos tests expérimentaux nous avons réalisé notre propre base de donnée et l'acquisition de ces signaux par le banc d'essai, nous avons pu effectuer leur analyse à l'aide de la transformée de Fourier FFT.

Nous avons conclu dans ce projet d'expérimentation les fréquences qui caractérisent la signature de notre machine et nous avons découvert aussi que l'environnement avait un impact décisif sur ces fréquences.

Pour la poursuite du travail, nous soulignons quelques perspectives :

- Améliorer le banc d'essai par des moyens d'isoler les perturbations extérieurs ;
- Réaliser le couplage entre le moteur et la charge ;
- Etudier d'autres défauts et les méthodes de détection.

# **Références Bibliographiques**

## Références Bibliographiques

- [1] MOKHTARI Yaakoub « Diagnostic des défauts mécaniques du moteur asynchrone Par l'analyse vibratoire ». Thèse de Master Université Mohamed Kher de Biskra (2019).
- [2] MASSALA MBOYI, Gilles Yowel. *ANALYSE VIBRATOIRE ET ESTIMATION DE LA DUREE DE VIE RESIDUELLE DES COMPOSANTS MECANIQUES DE GUIDAGE EN ROTATION*. Réseaux et Télécommunications .Mémoire de fin cycle ingénieur.2018.
- [3] BOUCHARREB et AIMANE.M, A. (2020). *Maintenance des machines tournantes par diagnostic vibratoire*. Master, Faculté des Sciences et Technologies, Ghardaïa.
- [4] Abou El Anouar, B., Lamrani, M., Elkihel, B., et Delaunois, F. (2016). Une étude expérimentale comparative de la technique des ultrasons et de l'analyse des vibrations dans la détection des défauts de roulement. *À la 7e Conférence africaine sur les essais non destructifs ACNDT 2016 et à la 5e Conférence internationale sur les CND et l'industrie des matériaux et des alliages*.
- [5] G.BAUDOIN et J.-F. BERCHER, Transformée de Fourier Discrète, Cours, 2001,30p.
- [6] ] Landolsi, F. *Cours de technique de Surveillance* ,33p.
- [7] Panne des moteurs électriques [En ligne].In Formatis.Disponible sur <https://blog.formatis.pro/failures-of-the-electric-motors/> Consulté le (22/04/2023).
- [8] Ghozlane, M. (2013). *Techniques de surveillance des machines tournantes toment 1 analyse vibratoire*.
- [9] A. Boulenger, C. Pachaud, *Surveillance des machines par analyse vibratoire*, Paris, Dunod, 2009.
- [10] Fedala, S. (2021). *Diagnostic des défauts des machines tournantes par reconnaissance des formes* (Doctorat en science). Université Ferhat Abbas Sétif 1.
- [11] Mekhalfia, H et Boutouil, H ,2021. *Diagnostic des défauts des roulements par analyse vibratoire et leur impact sur les machines. Mémoire de master. : UNIVERSITÉ BADJI MOKHTAR- ANNABA*

[12] Nacib, L. (2015). *Diagnostic des défauts dans les machines tournantes par l'analyse vibratoire* Thèse de doctorat. Université Badji Mokhtar, FACULTE DES SCIENCES DE L'INGENIORAT. ANNABA.

[13] Khelf, I., et Laouar, L. (2011). Amélioration du diagnostic d'une machine tournante par la sélection du vecteur d'entrée. In *CFM 2011-20ème Congrès Français de Mécanique*. AFM, Maison de la Mécanique, 39/41 rue Louis Blanc-92400 Courbevoie.

[14] Lalouche, A. (2006). *Diagnostic des machines tournantes, étude numérique et expérimentale*. Mémoire de Magister. , Université M'hamed Bouguerra. Faculté des Sciences de L'ingénieur. Boumerdes.

[15] Bensana, T. (2008). *Diagnostic des défaillances basé sur l'analyse vibratoire d'une turbine à vapeur* .Thèse de doctorat. Université de Badji Mokhtar. Annaba.

# **Annexe**

```

clc; clear
%-----
% Parametre de configuration
%-----
C = 22;                %Temperature
V = 24;                %Voltage (Volt)
Vitesse = 0;          %Vitesse de rotation (Tr/min)
Frequence = 0;        %frequence
%-----
% acquisitions des donnée
%-----
Th = 0.36;
n = 1;
files = dir('*.dat');
for k = 1:length(files)
    FileNames = files(k).name;
    data = load(FileNames);
    t1 = data(:,1);          % Vecteur de temps
    y1 = data(:,2)*10^(-2); % Vecteur d'accélération
    Te = t1(10)- t1(9);     % Temps d'echantillonnage
    Fe = 1/Te;              % Fréquence d'échantillonnage

    % plot(t1,y1,'black')
    % xlim([0 0.2])
    % grid;
    % xlabel('Temps (s)')
    % ylabel(' Accélération (m/s2)')
    % figure

%-----
% Analyse spectrale
%-----

Nfft = 512;                % La longueur de signal frequentiel
Y = fft(y1,Nfft);          % Fast fourier transformation
f = Fe/2*linspace(0,1,Nfft/2+1); % Vecteur de fréquence
Z = abs(Y(1:Nfft/2+1));    % Amplitude normalisée

plot(f,Z,f,Th*ones(1,length(Z)),'r--')
legend('Spectre ','Seuil' )
grid;
xlabel('Fréquence d"échantillonnage (Hz)')
ylabel(' Accélération (m/s2)')
figure

%-----
% Pics d'amplitude en fonction de frequence
%-----

[pk, fre] = findpeaks(Z,f,'MinPeakHeight',Th);
%findpeaks(Z,'MinPeakHeight',Th);

%-----
%save in file
%-----

    T = table (pk, fre');
writetable(T,'Pk.xls','sheet',n)

```

```
n = n+1;  
end
```

