



Université Mohamed Khider de Biskra  
Faculté des Lettres et des Langues  
Département de Génie Electrique

# MÉMOIRE DE MASTER

**Sciences et Technologie**  
Filière : Électromécanique  
Spécialité : Électromécanique

---

Présenté et soutenu par :  
Boukhelkhal Mohammed Kamel/LounisWail

## Comparaison entre deux appareilles de diagnostic vibratoire : défauts de roulements

---

### Jury :

M <sup>er</sup>	<b>Ghoggal Adel</b>	Pr	Université de Biskra	Président
M <sup>er</sup>	<b>Zouzou Salah Eddine</b>	Pr	Université de Biskra	Rapporteur
M <sup>er</sup>	<b>Cheriet Ahmed</b>	Pr	Université de Biskra	Examineur



Université Mohamed Khider de Biskra  
Faculté des Sciences et de la Technologie  
Département de génie électrique

## MÉMOIRE DE MASTER

Sciences et Technologies  
Électromécanique  
Électromécanique

Réf. : Entrez la référence du document

---

# Comparaison entre deux appareils de diagnostic vibratoire : défauts de roulements

Le : .....

**Présenté par : Avis favorable de l'encadreur :**

**Boukhelkhal Mohammed Kamel**

**LounisWail**

**Signature Avis favorable du Président du Jury**

**Cachet et signature**



Université Mohamed Khider de Biskra  
Faculté des Lettres et des Langues  
Département de Génie Electrique

# MÉMOIRE DE MASTER

Sciences et Technologie  
Filière : Électromécanique  
Spécialité : Électromécanique

## RESUMES

Parce qu'il est de haute qualité, la machine asynchrone est la nécessité de base dans toutes les industries et les entreprises. Cependant, il peut avoir de nombreux défauts qui conduisent à sa défaillance. Les chercheurs utilisent le diagnostic simultané de l'équipement pour détecter ces problèmes. Nous avons examiné deux méthodes de percevoir les vibrations (la carte NI 9234 et SCHENCK) dans ce gardien pour trouver la meilleure méthode efficace dans la période de temps la plus courte.

## ملخص

نظرًا لأنها ذات جودة عالية ، فإن الآلة غير المتزامنة هي الضرورة الأساسية في جميع الصناعات والشركات. ومع ذلك ، قد يكون بها العديد من العيوب التي تؤدي إلى فشلها. يستخدم الباحثون تشخيصًا متزامنًا للمعدات لاكتشاف هذه المشكلات. قمنا بفحص طريقتين لاستشعار الاهتزازات في هذه المدكرة للعثور على أفضل طريقة فعالة في أقصر فترة زمنية.

# *Dédicace*

*Je dédie ce mémoire*

*A la mémoire de mon papa qui est toujours présent dans mon cœur et que dieu le garde dans son vaste paradis.*

*Inchallah.*

*A ma très chère maman qui m'a soutenu pendant tout mon cursus d'études*

*A mes très chers frères Idatou Bakar Bichou Mohe et Mahmoud.*

*A mes chères sœurs Bouka et Sabah.*

*A mon binôme Wail*

*A mes très chères amies Hmid Aymen Zouka Lahlouh Omar Abd Nour Adlan Houssam Halim Aïssa Hama Beskri Yousri Ihab Himo Walid Tayeb Fathallah.*

*Aladin et Ramzi.*

*Tous ceux qui j'ai connu durant mon cycle d'étude*

*Kimou*

# *Dédicace*

*J'ai l'honneur de dédier ce travail à mes chers parents, pour leur aide et leurs soutient continuel.*

*Ma mère, la lumière des yeux et source de ma volonté.*

*A mes très chers frères Mounib Monsefiyad.*

*A mon binôme Kimou*

*A mes très chères amies HmidAymen Zouka  
Lahlouh Omar AbdNour Adlan Houssam Halim  
Aissa Hama Beskri.*

*Aladin et Ramzi.*

*Wail*

# *Remerciement*

*Le plus grand Merci revient à dieu qui lui seul nous a guidé dans le bon sens durant notre vie et qui nous aidé à réaliser ce modeste travail.*

*Nous remercions vivement notre encadreur Mr. Zouzou Salah Eddine. Qui a été présent et très actif tout au long de ce travail, n'hésitant pas à prendre sur son temps pour nous aidons du début jusqu'à la rédaction du mémoire.*

*Nous souhaitons aussi exprimer nos plus sincères remerciements à chacun des membres du jury qui, malgré leurs responsabilités, ont bien voulu nous consacrer du temps*

*Un grand Merci A tous les enseignants de la faculté sciences et technologie de Biskra.*

*Un grand merci à toute notre famille et plus particulièrement nous parents, pour avoir soutenue et aidée tout au long de nos études.*

*Enfin nous remercions toute personne de près ou de loin qui a participé*

*Pour rendre ce travail réalisable et présentable.*

# Table de matière

RESUMES .....	
Dédicace .....	
Dédicace .....	
Remerciement.....	
Table de matière .....	
Liste des figures .....	
Liste des tableaux .....	
Introduction générale .....	1
I) Chapitre I: Etat de l'art de la machine asynchrone .....	2
I-1) Introduction : .....	2
I-2) La machine asynchrone : .....	2
I-3) Constitution de la machine asynchrone : .....	2
I-3-1) Stator : .....	3
I-3-2) Rotor .....	4
I-3-3) Organes mécaniques.....	5
I-4) Etude statistique des défaillances de la machine asynchrone .....	6
I-5) Défauts internes et externes.....	8
I-5-1) Défaillances au stator .....	9
I-5-2) Défauts de rotor : .....	9
I-5-3) Défaillances mécaniques : .....	9
I-5-3-1) Défauts des roulements : .....	9
I-5-3-2) Autres défaillances mécaniques .....	10
I-6) Conclusion : .....	11
II) CHAPITRE II :Les méthodes de diagnostic d`analyse vibratoire .....	12
II-1) INTRODUCTION .....	12
II-2) La maintenance .....	12
II-2-1) Définition de la maintenance.....	12
II-2-2) Objectifs de la maintenance .....	12
II-2-2-1) Objectifs de coût .....	12
II-2-2-2) Objectifs opérationnels .....	12

II-2-3) ORGANIGRAMME DE LA POLITIQUE DE MAINTENANCE.....	13
II-2-3-1) MAINTENANCE PREVENTIVE .....	13
II-2-3-2) MAINTENANCE CORRECTIVE.....	14
II-3) Analyse vibratoire.....	14
II-4) Analyse de fréquences des défauts de roulements .....	15
II-4-1) Equation théorique (analytique).....	15
II-4-2) Modulation de la fréquence du signal .....	16
II-4-3) Règles empiriques .....	16
II-5) Le choix des méthodes de diagnostic .....	16
II-6) Les Analyseurs de vibration .....	16
II-7) Conclusion .....	17
III) Chapitre III Analyses vibratoires de défaut de roulement de la MAS .....	18
III-1) INTRODUCTION.....	18
III-2) Principe de travail :.....	18
III-3) Les obstacles de travail :.....	19
III-4) Matériels utilisés :.....	19
III-4-1) Première méthode : Méthode de la carte NI 9234 .....	19
III-4-1-1) Programme Matlab : .....	20
III-4-2) Deuxième méthode : SCHENCK.....	20
III-5) Les résultats obtenus : .....	21
III-5-1) Les résultats de signal temporel :.....	21
III-5-1-1) Dans l'état sain :.....	21
III-5-1-2) Dans le défaut de roulement (Bille et Cage) :.....	23
III-5-2) Les résultats de FFT .....	25
III-5-2-1) Dans l'état sain :.....	25
III-5-2-2) Les résultats de FFT dans le défaut de roulement (bille et cage) : .....	27
III-6) Comparaison entre état sain et le défaut de roulement (Bille et Cage) par la méthode de MVSA :.....	31
III-6-1) Signal temporel vibratoire axial :.....	31
III-6-2) Signal temporel vibratoire radial : .....	31



III-6-3) Signal axial de FFT :.....	32
III-6-4) Signal radial de FFT :.....	34
III-7) Conclusion :.....	37
Conclusion générale.....	38
Bibliographe.....	39

## Liste des figures

<b>Figure I-1</b> : Machine asynchrone .....	3
<b>Figure I-2</b> : Vue schématique en perspective du stator . .....	4
<b>Figure I-3</b> : Vue schématique en perspective du rotor .....	5
<b>Figure I-4</b> : Proportion des défauts .....	6
<b>Figure I-5</b> : Répartition des pannes sur les machines de faibles et moyennes puissances .....	7
<b>Figure I-6</b> : Répartition des pannes sur les machines de fortes puissances .....	7
<b>Figure I-7</b> : Causes internes de défauts de la machine asynchrone triphasée à cage .....	8
<b>Figure I-8</b> : Causes externes de défauts de la machine asynchrone triphasée à cage .....	8
<b>Figure II.1</b> : Organigramme de politique de maintenance.....	13
<b>Figure II-2</b> : les Analyseurs de vibration utilisés .....	17
<b>Figure III-1</b> : Photo du banc d'essai dédié à l'analyse vibratoire . .....	19
<b>Figure III-2</b> : programme Matlab .....	20
<b>Figure III-3</b> : appareille de SCHENCK et le capture de vibration .....	20
<b>Figure III-4</b> : état sain axial avec MVSA .....	21
<b>Figure III-5</b> : état sain axial avec SCHENCK.....	21
<b>Figure III-6</b> : état sain radial avec MVSA.....	22
<b>Figure III-7</b> : état sain radial avec SCHENCK.....	22
<b>Figure III-8</b> : Bille et Cage axial avec MVSA .....	23
<b>Figure III-9</b> : Bille et Cage axial avec SCHENCK .....	23
<b>Figure III-10</b> : Bille et Cage radial avec MVSA .....	24
<b>Figure III-11</b> : Bille et Cage radial avec SCHENCK.....	24
<b>Figure III-12</b> : état sain axial avec MVSA .....	25
<b>Figure III-13</b> : état sain axial avec SCHENCK.....	25
<b>Figure III-14</b> : état sain radial avec MVSA.....	26
<b>Figure III-15</b> : état sain radial avec SCHENCK.....	26
<b>Figure III-16</b> : Spectre d'un signal FFTBille et Cage axial avec MVSA .....	28
<b>Figure III-17</b> : Bille et Cage axial avec SCHENCK .....	28
<b>Figure III-18</b> : Spectre d'un signal FFTBille et Cage radial avec MVSA .....	29
<b>Figure III-19</b> : Bille et Cage radial avec SCHENCK.....	30
<b>Figure III-20</b> : Signal vibratoire axial en fonction du temps pour un MAS défectueux .....	31
<b>Figure III-21</b> : Signal vibratoire radial en fonction du temps pour un MAS défectueux .....	31

**Figure III-22** : signal tt axial en fonction de fréquence de MAS défectueux ..... 33  
**Figure III-23** : signal FFT radial en fonction de fréquence de MAS défectueux . 35

## Liste des tableaux

**Tableau III-1** : comparaison d`amplitude de fréquence axial ..... 34  
**Tableau III-1** : comparaison d`amplitude de fréquence radial ..... 36

# **Introduction générale**

## **Introduction générale**

Les travailleurs de l'entreprise et de l'usine apprécient la cage asynchrone pour sa dureté et l'absence de toute perturbation car elle est moins chère que les autres machines et donc elle est devenue le premier utilisateur dans toutes les affaires avec des vitesses variables. Si ce n'est pas pour de nombreuses raisons, y compris la durée de vie de la machine, la mauvaise grosseur et le problème de fabrication, les travailleurs de maintenance travaillent pour faire un diagnostic précoce de la machine pour éviter de tomber dans les vacances. Un de ces travaux est l'analyse des vibrations, qui a évité la plupart des problèmes qui auraient menacé la machine et l'utilisateur

En général, les défauts internes et externes sont soit électriques, soit mécaniques. Pour découvrir ces défauts avant qu'ils ne se produisent, les travailleurs de maintenance utilisent le diagnostic des vibrations de manière précise pour obtenir des informations qui leur permettent de savoir où sont les vacances sans avoir à ouvrir la machine. L'une de ces méthodes que nous avons expérimentées est la conversion rapide de Frei MVSA. Il existe des appareils portables de mesure des vibrations en réglant un capteur et le nom de cet appareil est SCHENCK.

Le plan du mémoire est résumé en 3 chapitres :

Dans le premier chapitre, nous parlons en générale de la machine asynchrone son composants et les statiques des défauts de la machine

Le contenu du deuxième chapitre est la maintenance en générale et aussi le défaut de roulement de la machine asynchrone, en fin définition des méthodes d'analyse vibratoire.

Dans le troisième chapitre, nous nous intéresserons à comparée entre les deux méthodes d'analyse vibratoire et entre l'état sain de la machine asynchrone et le défaut de roulement (machine avide).

# **Chapitre I**

## **Etat de l'art de la machine asynchrone**

## I) Chapitre I :Etat de l'art de la machine asynchrone

### I-1) Introduction :

L'un des composants les plus importants d'un module de surveillance est le diagnostic. Il s'agit de déterminer le mode de fonctionnement du système à un moment donné. Il repose sur une connaissance a priori des modes de fonctionnement ainsi que sur une connaissance instantanée basée sur une nouvelle observation de l'état du système. Il existe plusieurs méthodes pour effectuer un diagnostic, et la méthode utilisée est déterminée par la manière de représentation des connaissances.

La première section de ce chapitre traite des nombreuses sources (électriques, mécaniques, etc.) de défaillances qui peuvent se produire sur un système asynchrone. Commence par un rappel sur la construction des machines électriques, en particulier la machine asynchrone avec une cage de sécurité. [1]

### I-2) La machine asynchrone :

Le moteur asynchrone est la machine la plus utilisée dans la gamme de puissance sur quelques kilowatts parce qu'il offre de nombreux avantages tels que la haute puissance de crête, la robustesse, la facilité d'installation, le faible coût, et ainsi de suite... L'introduction de variateurs dans les années 1980 qui ont permis la variation de la fréquence de rotation sur une large gamme a contribué à sa croissance. En effet, il est impliqué dans la conception de plusieurs procédés industriels impliquant des convertisseurs statiques et des machines électriques (traction électrique, laminoirs, levage, pompage, etc....).

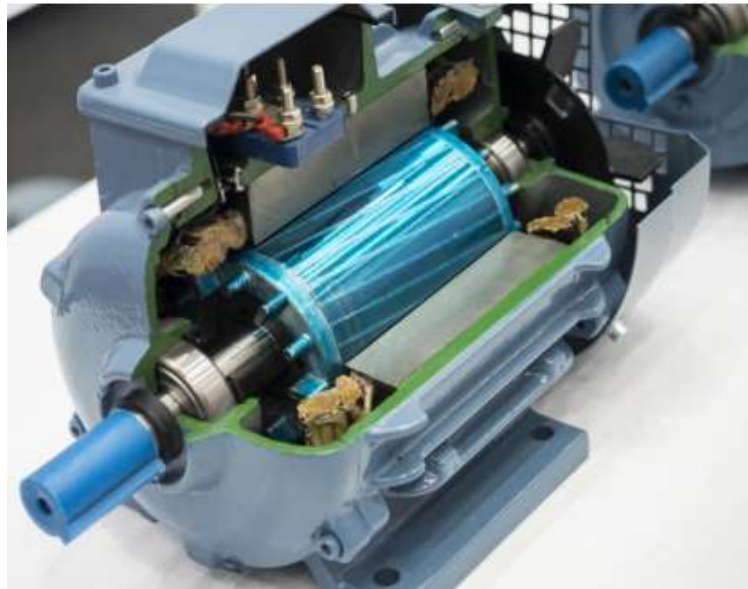
Même si la machine asynchrone a la réputation d'être résistante, elle peut souffrir de défauts électriques ou mécaniques, comme tout autre équipement.

En raison des conséquences importantes et coûteuses que l'apparition d'un défaut peut avoir sur les processus industriels, le diagnostic des défauts a fait l'objet d'un empîement soutenu au cours des deux dernières décennies [2], [3].

### I-3) Constitution de la machine asynchrone :

La machine asynchrone, également connue sous le nom de moteur à induction, se compose d'un stator et d'un rotor, tous deux en alliage de silicium-aluminium et ont des encoches dans lesquelles les enroulements sont placés. Le stator est fixe, et les enchevêtrements liés à la source

peuvent y être trouvés. Le rotor est monté sur un axe rotatif. Il existe deux sortes de rotors : bobiné et à cage d'écureuil, selon que les enroulements du rotor sont accessibles de l'extérieur ou fixés en permanence sur eux-mêmes. Cependant, nous notons que sa construction est électriquement équivalente à celle d'un rotor bobiné avec enroulements en circuit fermé [4].

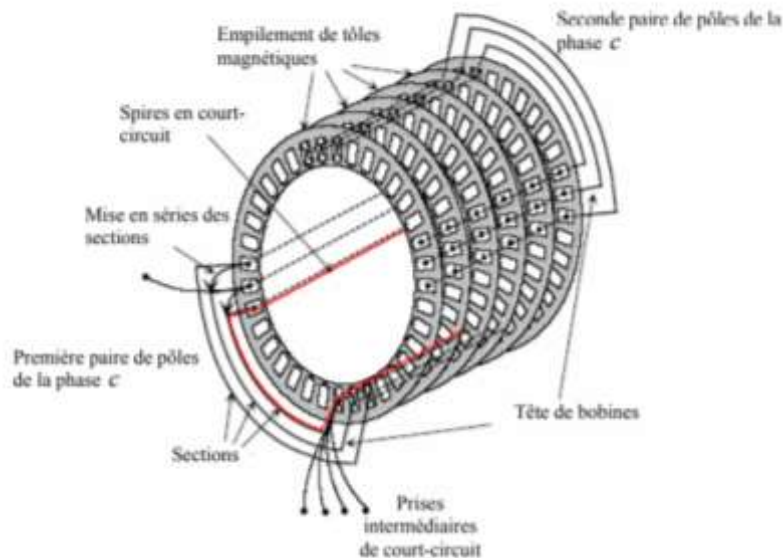


**Figure I-1** : Machine asynchrone

### **I-3-1) Stator:**

Il est constitué d'un enroulement bobiné qui est distribué dans les encoches du circuit magnétique. Ce circuit magnétique est constitué d'un réseau de tôles dans lesquelles sont formés des encoches parallèles à l'axe de la machine (figure I.2). Le bobinage statorisé peut être divisé en deux parties : les conducteurs d'encoche et les têtes de bobine [3]. Les conducteurs des encoches permettent la création d'un champ magnétique au centre de l'encoche, qui est la source de la conversion électromagnétique. Les têtes de bobines permettent la fermeture des circuits par une circulation judicieuse des courants d'un conducteur à l'autre. L'objectif est d'obtenir la distribution de courant la plus sinusoïdale possible à la surface de l'interconnexion, limitant ainsi les ondulations de la paire électromagnétique.





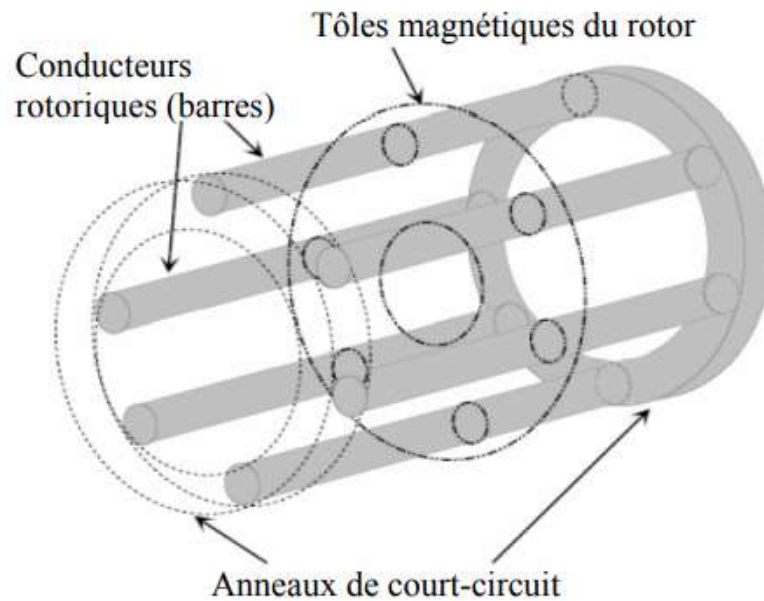
**Figure I-2 :** Vue schématique en perspective du stator [4].

## I-3-2) Rotor

Le rotor est constitué du même matériau que le stator, qui est constitué de tôles empilées. Les tôles sont démontées en une seule pièce et assemblées sur un arbre en petits moteurs. Chaque laminage dans des moteurs plus grands est composé de plusieurs pièces qui sont montées sur un moyeu.

Les encoches des rotors avec cage de sécurité peuvent être semi-ouvertes ou fermées. Les enroulements sont constitués de barres de court-circuit reliées par un anneau terminal aux extrémités de chaque rotor. Les conducteurs sont généralement faits de coulage d'aluminium, de grandes barres de cuivre ou, en de rares occasions, de laiton préformé et fretté dans les tôles durotor. Il n'y a généralement pas ou très peu de séparation entre les barres du rotor et les tôles.

Magnétiques. Leur résistance est suffisamment faible pour que les courants ne circulent pas dans les tôles à moins qu'il n'y ait une rupture dans la barrière [14].



**Figure I-3 :** Vue schématique en perspective du rotor [13].

### I-3-3) Organes mécaniques

La carcasse servira de support. Elle sert d'enveloppe et de protection contre l'environnement extérieur. L'arbre est un organe de transmission. Il se compose d'un support central pour le corps du rotor et d'une branche d'arbre sur laquelle est monté un désengorgement. Dans la plupart des cas, il est fait d'acier fondu ou forgé. Son élargissement est le résultat de plusieurs efforts :

- Efforts de flexion (force centrifuge qui s'exerce sur lui, attraction magnétique radiale, ...etc.).
- Efforts radiaux et tangentiels dus aux forces centrifuges.
- Efforts de torsion (transmission électromagnétique dans un état permanent et transitoire). Il est soutenu par un ou plusieurs paliers. Ces roulements soutiennent le rotor et assurent une rotation libre. Le deuxième palier est sans restriction pour assurer les dilatations thermiques de l'arbre. Une isolation électrique de l'un des paliers assure l'élimination des courants dans l'arbre en raison des dissymétries des réticences du circuit magnétique. Ce sont généralement des roulements pour des machines de petite et moyenne puissance [6].

De nombreuses machines sont reliées à un convertisseur afin d'assurer non seulement la modification de la vitesse des moteurs électriques, mais aussi la conversion de l'énergie. En conséquence, on peut maintenant trouver des connexions entre les convertisseurs statiques et les machines électriques (pompage, levage, etc.) dans un large éventail de processus industriels.

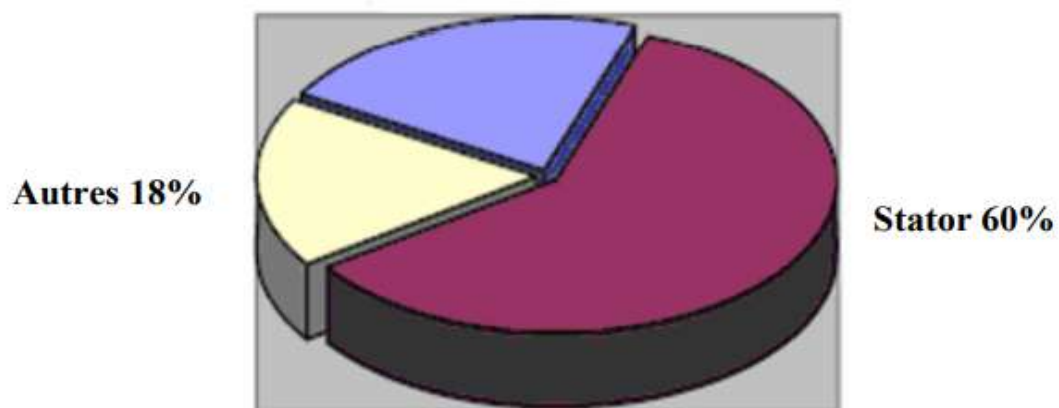
Cela permet aux moteurs d'être alimentés avec diverses tensions et courants de fréquence pour contrôler la machine en paire ou à vitesse [6].

### I-4) Etude statistique des défaillances de la machine asynchrone

Les défaillances peuvent provenir de diverses sources, y compris les défaillances électriques, mécaniques, thermiques et même magnétiques. Leurs causes sont nombreuses et peuvent être divisées en trois catégories. [12] :

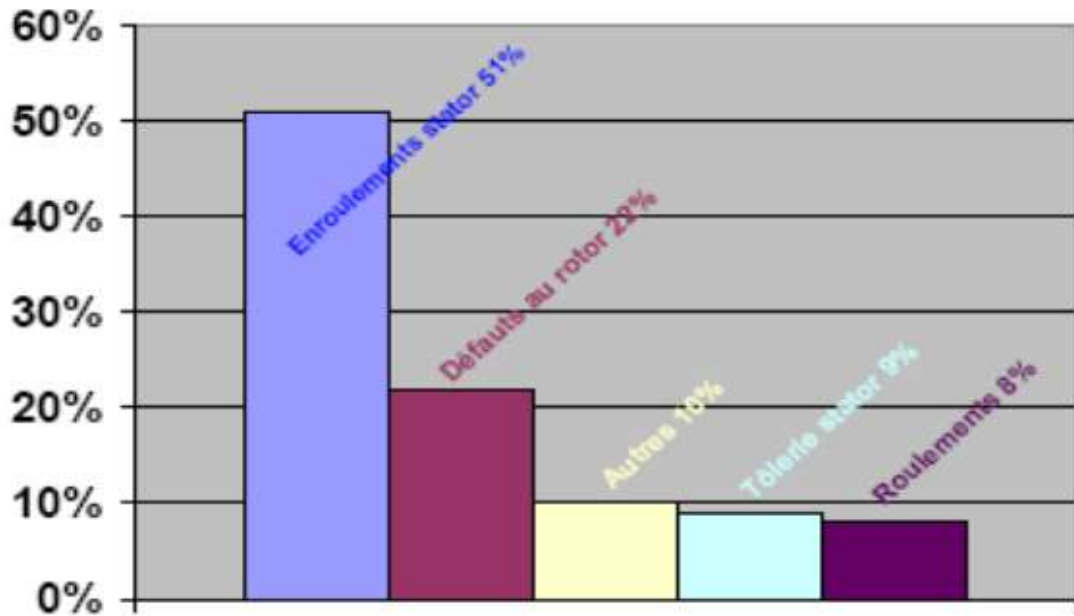
- Le chauffage du moteur, le défaut électrique (court-circuit), la surtension de l'alimentation, le problème d'isolation électrique, la panne mécanique (roulements à billes), la panne de fixation, etc., sont des exemples de pannes ou d'initiateurs de panne.
- Deficiency amplifiers include frequent charging, mechanical vibrations, a humid environment, constant heating, poor graissage, aging, and so forth.
- Vices ou défauts de fabrication, ainsi que des erreurs humaines : défauts de fabrication, composants défectueux, protection inadéquate, mauvais dimensionnement de la machine, et ainsi de suite.

Voici les résultats d'une étude statistique réalisée en 1988 par une compagnie allemande d'assurance des systèmes industriels sur les pannes de machines asynchrones de puissance moyenne (de 50 [kW] à 200 [kW]) (Figure I-4) [6] - [11] :



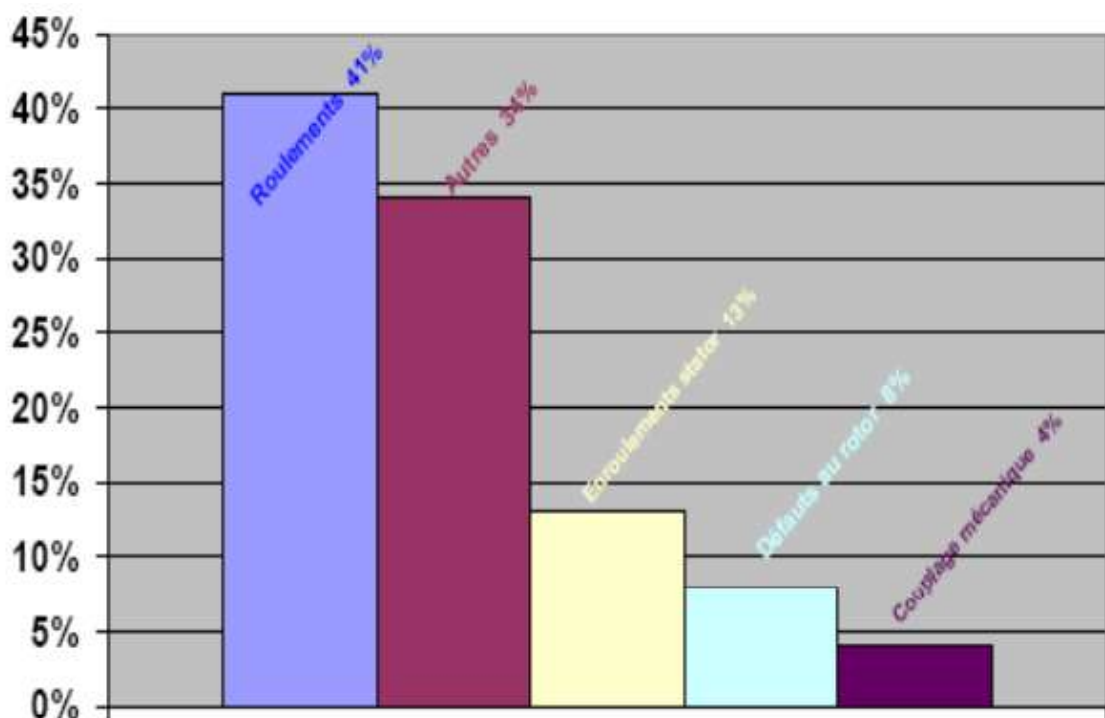
**Figure I-4 :** Proportion des défauts [6]

La répartition des pannes dans les différentes parties du moteur est présentée sur la figure I-5.



**Figure I-5 :** Répartition des pannes sur les machines de faibles et moyennes puissances [6]

Une autre étude statistique faite sur des machines de grande puissance (de 100 [KW] à 1 [MW]) donne des résultats qui sont présentés sur la figure I-6 [10].

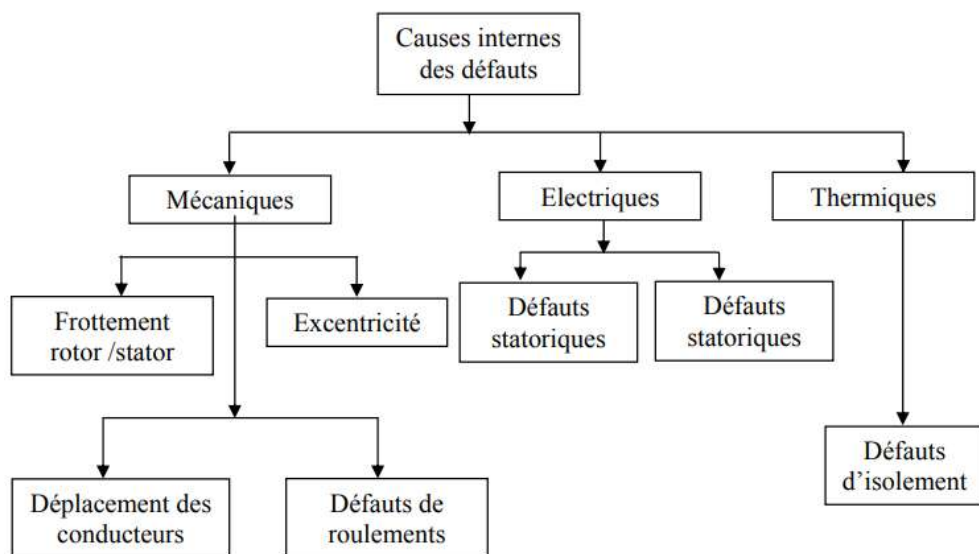


**Figure I-6 :** Répartition des pannes sur les machines de fortes puissances [6].

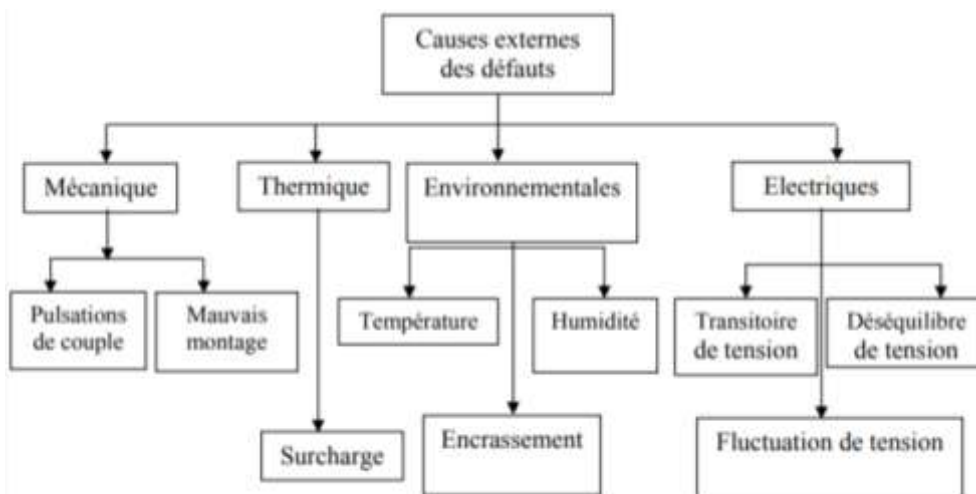
Pour ces types d'appareils, les contraintes mécaniques sont plus sévères. Ceci explique le taux élevé de pannes dû aux roulements. Cela nécessite un entretien mécanique continu.

## I-5) Défauts internes et externes

Il y a deux catégories de défauts majeurs : interne et externe. Les causes de ces défauts sont brièvement et séparément décrites dans les organigrammes des figures I-7 et I-8 [15]. En conséquence, nous pouvons voir que les défauts internes de la machine sont causés par les constituants de la machine (circuits magnétiques du rotor et du stator, bobinages du stator, entrefer mécanique, cage du rotor, etc.). Les défauts externes, en revanche, sont causés par une variété de facteurs, y compris l'alimentation et la charge mécanique, ainsi que l'environnement de fonctionnement de la machine.



**Figure I-7** : Causes internes de défauts de la machine asynchrone triphasée à cage



**Figure I-8** : Causes externes de défauts de la machine asynchrone triphasée à cage

## I-5-1) Défaillances au stator

Les défaillances du stator sont principalement liées à des problèmes thermiques (surcharge), électriques (diélectrique), mécaniques (bobinage) et environnementaux (agression, etc.). Les défaillances les plus courantes, qui se situent au niveau du stator, peuvent être définies comme suit [2].

- Défauts d'isolant dans un enroulement.
- Court-circuit entre spires :
- Court-circuit entre phases-bâti :
- Court-circuit phase-bâti :

## I-5-2) Défauts de rotor :

Ces défauts sont causés, dans la grande majorité des cas, par une dissymétrie du rotor au niveau de fonctionnement de la machine, qui, à son tour, peut exacerber des problèmes tels que thermique (surcharge), électromagnétique (excentricité), résiduel (déformation), dynamique (transmission arbre), et mécanique (roulement). Les défauts les plus courants liés au rotor peuvent être classés comme suit :

- Ruptures de barres
- Ruptures d'anneaux
- Excentricité statique et dynamique

## I-5-3) Défaillances mécaniques :

### I-5-3-1) Défauts des roulements :

Les roulements de billettes servent de contact électromécanique entre le stator et le rotor. En outre, ils servent de composant de maintenance d'axe de la machine, assurant que le rotor tourne librement. Dans son document [5], l'auteur discute de la majorité des défauts trouvés dans les rotors à moteur à induction, ainsi que les raisons de leur vieillissement. Ce type de défaillance est le plus courant sur les machines de grande capacité. Il est généralement lié à un échec de roulement et, plus précisément, une dégradation des billets ou une bande de roulement.

Il y a beaucoup de défauts qui pourraient avoir une incidence sur le roulement, et nous en examinerons quelques-uns dans cette section :

- L'usure
- Le piquetage.
- Le grippage
- Jeu de roulement
- La corrosion
- Les contraintes mécaniques
- La lubrification.

. Les causes possibles sont :

- /.

Les conséquences directes de cette défaillance sur les roulements sont :

- Des trous dans les gorges de roulement intérieures et extérieures.
- L'ondulation de leur surface de roulement.
- L'attaque des billes.
- La corrosion due à l'eau.
- Défaut de graissage, problème dû à la température.
- Décollement, effritement de surface provoqué par une surcharge.

### **I-5-3-2) Autres défaillances mécaniques**

Comme il n'y a pas de pièces mobiles sur le stator, les défaillances mécaniques sont peu probables. Cependant, il peut y avoir des phénomènes d'oxydation liés à l'environnement de la machine, en particulier le niveau de salinité, qui affecte l'étanchéité et les contacteurs [6].

### **I-6) Conclusion :**

Dans ce chapitre, nous avons présenté la machine asynchrone, leurs défaut externe et interne avec ses causes et conséquences et aussi ces constitutions.



# **Chapitre II**

## **Les méthodes de diagnostic d`analyse vibratoire**

### II) CHAPITRE II :Les méthodes de diagnostic d`analyse vibratoire

#### II-1) INTRODUCTION

La surveillance des machines a considérablement changé ces dernières années, avec l'apparition initiale de machines conçues pour arrêter une machine avant qu'elle ne soit éteinte, avec une alarme ou un arrêt si le taux de vibration dépasse la limite opérationnelle autorisée. L'entretien préventif est désormais la clé du maintien de l'intégrité de la machine par la détection précoce des défauts et le suivi de leur progression dans le temps. Dans ce chapitre nous étudions la maintenance en général et le défaut de roulement et ces équations

#### II-2) La maintenance

##### II-2-1) Définition de la maintenance

« Ensemble de toutes les actions techniques, administratives et de management durant le cycle de vie d'un bien, destinées à le maintenir ou à le rétablir dans un état dans lequel il peut accomplir la fonction requise ». (Norme AFNOR X 60-010). [7].

##### II-2-2) Objectifs de la maintenance

###### II-2-2-1) Objectifs de coût [8]

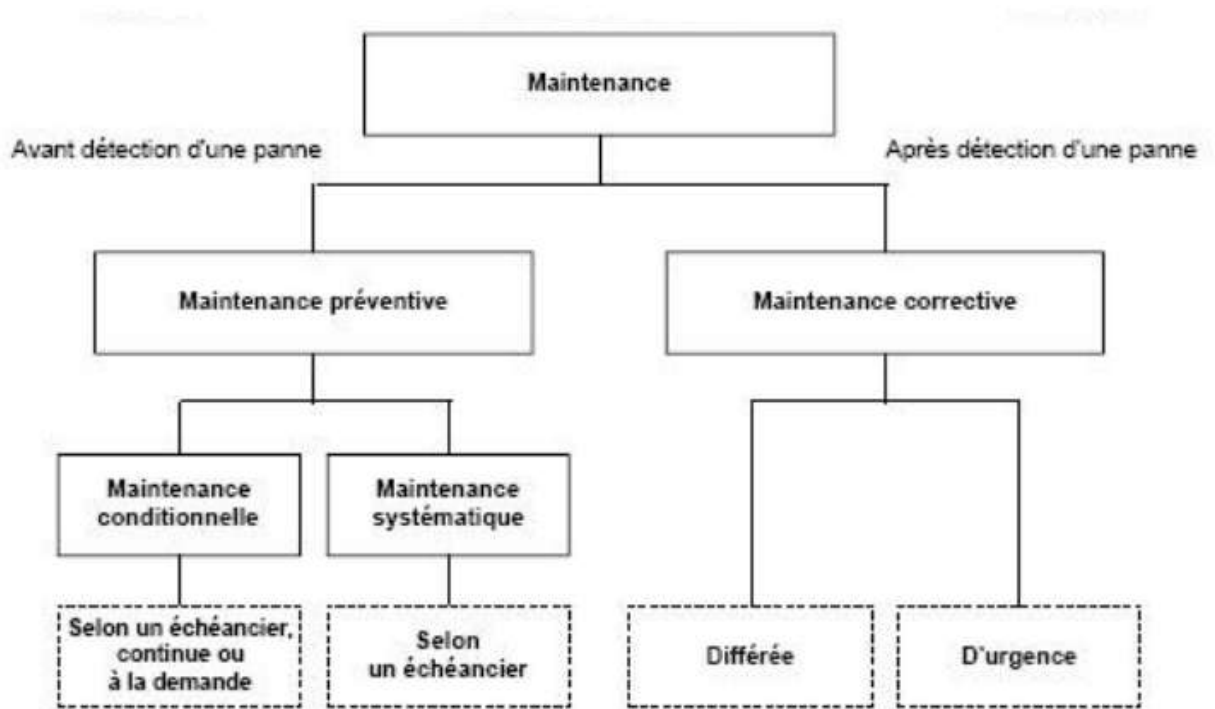
- Minimiser les dépenses de maintenance.
- Assurer la maintenance dans les limites d'un budget.
- Avoir des dépenses de maintenance portant sur le service exigé par l'installation en fonction de leur âge et de leur taux d'utilisation.
- Tolérer à la discrétion du responsable de la maintenance une certaine qu'a dépense imprévue

###### II-2-2-2) Objectifs opérationnels [8]

- Maintenir le bien durable :
  - Dans un état acceptable
  - Dans des meilleures conditions
- Assure la disponibilité maximale à un coût raisonnable.
- Eliminer les pannes à tout moment et au meilleur cout.
- Maximiser la durée de vie de bien.
- Remplacer le bien à des périodes prédéterminées.

- Assurer au bien des performances de haute qualité.
- Assurer au bien un fonctionnement sûr et efficace.
- Obtenir de l`investissement un rendement maximum.
- Garder au bien une présentation suffisamment satisfaisante.
- Maintenir le bien dans un état de propreté absolue.

### II-2-3) ORGANIGRAMME DE LAPOLITIQUE DE MAINTENANCE



FigureII.1 : Organigramme de politique de maintenance

#### II-2-3-1) MAINTENANCE PREVENTIVE

Maintenance ayant pour objet de réduire la probabilité de défaillance ou de dégradation d'un bien ou d'un service rendu. Les activités correspondantes sont déclenchées selon un échéancier établi à partir d'un nombre prédéterminé d'unités d'usage (maintenancesystématique), et/ou des critères prédéterminés significatifs de l'état de dégradation du bien ou du service (maintenance conditionnelle). [9]

#### Différents types de maintenance préventive

- Maintenance préventive systématique
- Maintenance préventive conditionnelle

- Maintenance préventive prévisionnelle

### II-2-3-2) MAINTENANCECORRECTIVE

Ensemble des activités réalisées après la défaillance d'un bien, ou la dégradation de sa fonction pour lui permettre d'accomplir une fonction requise, au moins provisoirement : ces activités comportent notamment la localisation de la défaillance et son diagnostic, le remise en état avec ou sans modification, le contrôle du bon fonctionnement. [5]

#### Différents types de maintenance corrective

- Maintenance palliative
- Maintenance curative : Maintenance corrective débouche sur 2 types d'interventions
  - ❖ Dépannage
  - ❖ Réparation

### II-3) Analyse vibratoire

Actuellement, les approches d'analyse vibratoire sont parmi les plus connues dans le domaine de la détection des défaillances des machines [21], [20].

En général, il existe trois types d'approches de traitement du signal pour détecter les défauts de la machine : les méthodes temporelles, fréquentielles et temporelles.

Pour le domaine temporel, il y a plusieurs méthodologies à considérer, y compris le facteur de crête, la valeur efficace, la kurtosis et l'analyse d'enveloppe. Les approches utilisées dans le domaine fréquentiel sont basées sur l'analyse spectrale. STFT (transformée de Fourier à court terme), WVD (distribution de Wigner-Ville), WT (transformée en ondelettes) et l'analyse HHT sont les techniques d'analyse temps-fréquence les plus utilisées (transformée de Hilbert-Huang). L'analyse des vibrations est l'un des types d'essais les plus importants pour déterminer l'état d'une machine. Le niveau et le comportement du signal vibratoire sont déterminés par les circonstances internes de la machine rotative. La comparaison avec une valeur de référence est utilisée pour effectuer l'analyse.

### II-4) Analyse de fréquences des défauts de roulements

On trouve pour les formules des fréquences caractéristiques des défauts de roulement des formules théoriques et autres approximatives, ces formules sont expliquées en détail dans cette partie.[19]

#### II-4-1) Equation théorique (analytique) [19]

- **Défaut de la bague extérieure :**

$$f_{be} = \frac{f_r N_b}{2} \left(1 - \frac{D_b}{D_m} \cos(\alpha)\right) \text{(II-1)}$$

- **Défaut de la bague intérieure :**

$$f_{bi} = \frac{f_r N_b}{2} \left(1 + \frac{D_b}{D_m} \cos(\alpha)\right) \text{(II-2)}$$

- **Défaut de la cage :**

$$f_c = \frac{f_r N_b}{2} \left(1 - \frac{D_b}{D_m} \cos(\alpha)\right) \text{(II-3)}$$

- **Défaut de la bille :**

$$f_{bille} = \frac{f_r D_m}{2 D_b} \left(1 - \left(\frac{D_b}{D_m} \cos(\alpha)\right)^2\right) \text{(II-4)}$$

- $f_e$  : la fréquence caractéristique de la bague extérieure ;
- $f_{bi}$  : la fréquence caractéristique de la bague interne ;
- $f_r$  : la fréquence de rotation de la cage ;
- $f_{bille}$  : la fréquence caractéristique de rotation des billes ;
- $N_b$  : le nombre de billes ;
- $D_b$  : le diamètre de la bille ;
- $D_m$  : le diamètre du centre des billes (diamètre moyen =  $D_m = \frac{D_{bag-ext} + D_{bag-int}}{2}$ ) ;

- $\alpha$  : l'angle de contact (le roulement oblique possède les valeurs de  $\alpha=15^0$ ,  $25^0$  ou  $40^0$  et pour un roulement à gorge profonde, il présente une charge purement radiale  $\alpha=0^0$ ).

Les autres relations entre ces fréquences sont les suivantes :

$$f_{be} + f_{bi} = N_b \cdot f_r \text{ et } f_{be} = N_b \cdot f_c \text{ (II-5)}$$

### II-4-2) Modulation de la fréquence du signal [19]

- Défaut sur la bague intérieure :

$$f_{bi-Mod} = \frac{f_r N_b}{2} \left(1 + \frac{D_b}{D_m} \cos(\alpha)\right) \pm f_m \text{ (II-6)}$$

- Défaut sur la bille :

$$f_{bille} = \frac{f_r D_m}{2 D_b} \left(1 - \left(\frac{D_b}{D_m} \cos(\alpha)\right)^2\right) \pm f_m \text{ (II-7)}$$

### II-4-3) Règles empiriques[19]

- Bague extérieure :

$$f_{be} = 0,4 \cdot N_b \cdot f_r \text{ (II-8)}$$

- Bague intérieure :

$$f_{bi} = 0,6 \cdot N_b \cdot f_r \text{ (II-9)}$$

- Cage :

$$f_c = 0,4 \cdot f_r \text{ (II-10)}$$

### II-5) Le choix des méthodes de diagnostic

- Analyse des signaux vibratoires (MVSA).

### II-6) Les Analyseurs de vibration

Les équipements plus utilisés sont (**figure II-2**) :

- Analyseur de vibration portable de marque EMERSON,

- Analyseur de vibration portable SCHENCK Smart Balancer.



Figure II-2 : les Analyseurs de vibration utilisés [18]

### II-7) Conclusion

Dans ce chapitre nous étudions la maintenance le défaut de roulement et les méthodes des analysées de défaut vibratoire de la machine asynchrone, donnée les équations de fréquence de défaut de roulement et les appareils d`analyses vibratoire

## **Chapitre III**

# **Analyses vibratoires de défaut de roulement de la MAS**



### III) Chapitre III Analyses vibratoires de défaut de roulement de la MAS

#### III-1) INTRODUCTION

Il est difficile d'envisager un monde sans moteurs électriques de nos jours. L'utilisation continue et l'application généralisée des moteurs électriques dans une variété de domaines assure leur existence continue. Nous devenons de plus en plus exigeants quant à la qualité acoustique de ces moteurs. Les fabricants de moteurs et d'autres équipements sont de plus en plus tenus d'avoir une expertise étendue dans le traitement des vibrations et du bruit [16]. En conséquence, la concurrence du marché a pour but de développer un tel savoir-faire silencieux.

Il n'y a pas eu de percée dans l'analyse et l'élimination permanente des vibrations et des bruits jusqu'à maintenant. La vibration est considérée comme l'une des sources de surveillance les plus importantes [17].

L'analyse des vibrations des équipements rotatifs est maintenant largement utilisée par l'industrie pour diagnostiquer les défauts. Avant la panne de la machine, la découverte du problème permet de prendre des mesures correctives telles qu'un réétalonnage ou le remplacement d'un composant défectueux. L'analyse des signatures de vibrations électriques (ASVM), souvent appelée MVSA (Moteur Vibration Signature Analyses) en anglais, est l'une des méthodes utilisées pour surveiller l'état des machines en marche.

Notre but est d'enquêter sur le diagnostic d'un défaut de roulement en utilisant la carte NI 9234 et l'appareil SMART BALANCER SCHENCK, c'est-à-dire en analysant les images vibratoires causées par ces défauts. La compréhension de ces visuels palpitants.

**Remarque :** Dans ce chapitre, tout ce qui est simulé en bleu désigne l'état sain et tout ce qui est en rouge désigne défaut de roulement.

#### III-2) Principe de travail :

Dans ce travail nous mesurons la vibration de moteur asynchrone avec deux méthodes dans le cas état sain et après nous faisons un défaut de roulement (Bille et Cage) et mesure les résultats et comparée entre les méthodes.

### III-3) Les obstacles de travail :

Pendant le travail, nous avons rencontré des problèmes qui ont affecté négativement sur les résultats et donne des résultats fautes et ces problèmes sont :

- ✚ Problème de module
- ✚ Défaut de capture
- ✚ SCHENCK ne travaille pas dans le régime normal quand le moteur mois que 15KW
- ✚ Nombre d'harmonique
- ✚ Temps d'acquisition
- ✚ Placement de capture
- ✚ Défaut électrique (équilibrage de moteur après faire le défaut)
- ✚ SCHNECK perde plus de temps et plus d'information

### III-4) Matériels utilisés :

#### III-4-1) Première méthode : Méthode de la carte NI 9234

- Alimentation alternative 380 V
- Moteur asynchrone
- Capture de vibration
- La carte d'acquisition NI 9234
- Programme LabVIEW



Figure III-1 : Photo du banc d'essai dédié à l'analyse vibratoire [18].

## III-4-1-1) Programme Matlab :

```
1
2 - load ('C:\dossier\');
3 - t=data(1:6400,1);
4 - ay=data(1:6400,2);
5 - tail_fft= 6400; %modifier cette valeur selon le nombre de points du signal
6
7 - tail_fenetre=tail_fft; %taille de la fenetre.
8
9 - fe=12800 ; %fréquence d'échantillonnage.
10
11 %Le spectre du courant:
12 - [B,F,T]=specgram(ay,tail_fft,fe,hanning(tail_fenetre),1);
13 - ab=abs(B); %L'amplitude de la FFT
14 - plot(t,ay);
15 - plot(F,ab,'r');hold on
16
```

Figure III-2 : programme Matlab

## III-4-2) Deuxième méthode : SCHENCK

Capture de vibration

L'appareille de SCHENCK



Figure III-3 : appareille de SCHENCK et le capture de vibration [18]

## III-5) Les résultats obtenus :

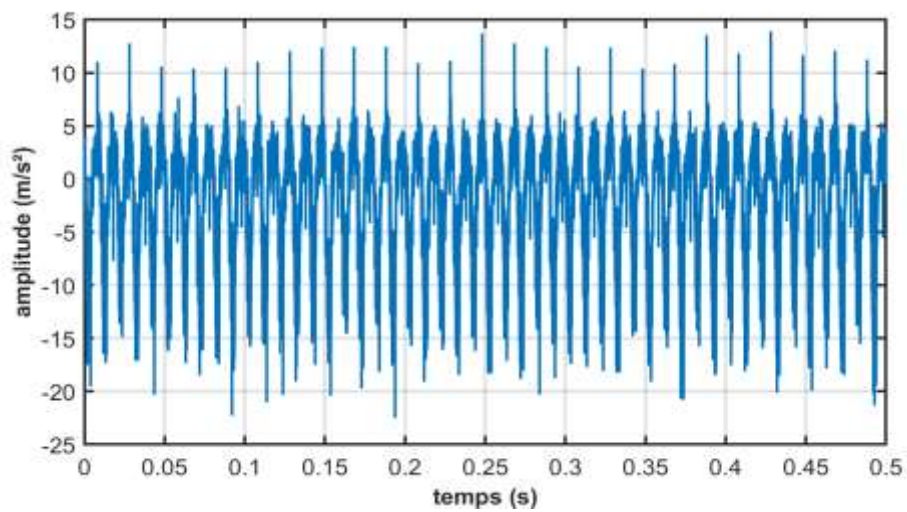
Dans les deux méthodes nous faisons deux essais de mesure :

- ❖ État sain
- ❖ Défaut de roulement (bille et cage)

### III-5-1) Les résultats de signal temporel :

#### III-5-1-1) Dans l'état sain:

#### III-5-1-2) La carte NI 9234 :



14 Figure III-4 : état sain axial avec la carte NI 9234

#### Appareille de SCHENCK :

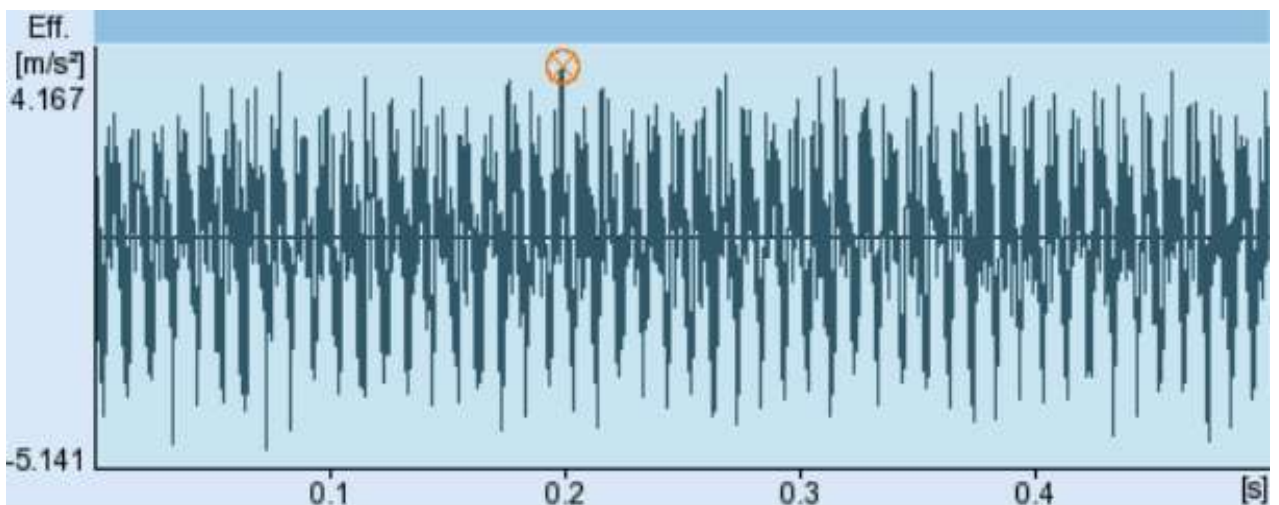


Figure III-5 : état sain axial avec SCHENCK

La carte NI 9234 :

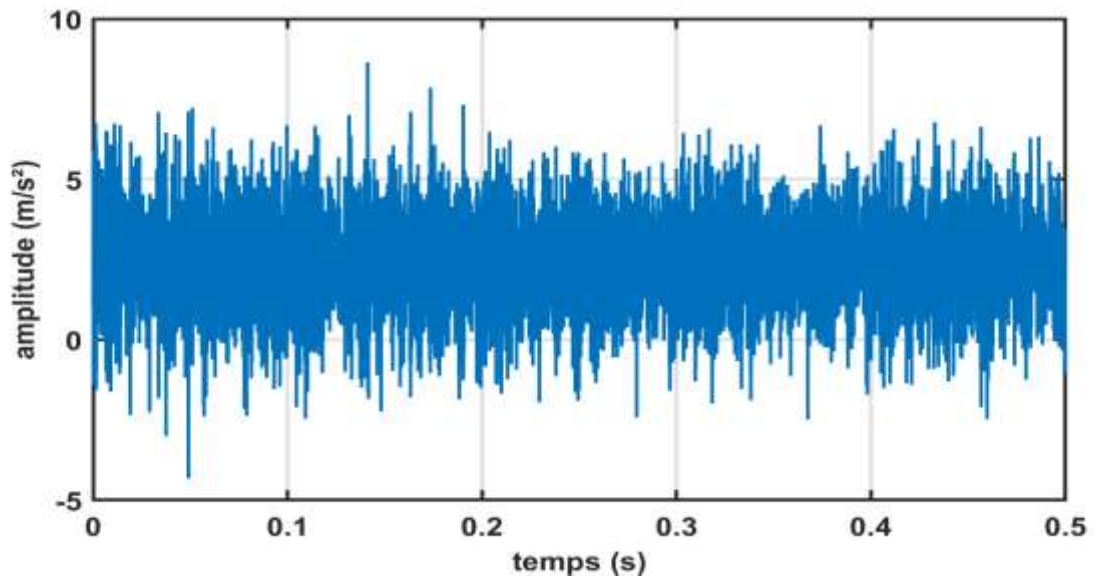


Figure III-6 : état sain radial avec lacarte NI 9234

Appareille de SCHENCK :

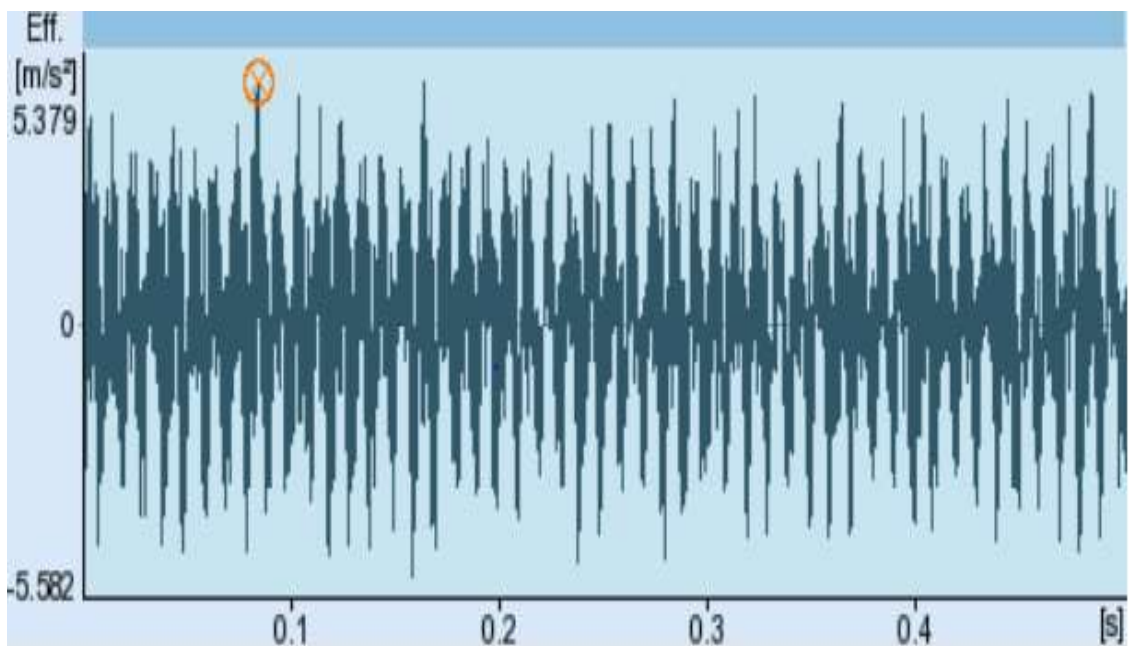


Figure III-7 : état sain radial avec SCHENCK

### Interprétation :

- Le signal temporel dans l'axe axial augmente à  $14 \text{ m/s}^2$  dans la carte NI 9234 mais le signal augmente juste à  $4,5 \text{ m/s}^2$  dans l'appareille de SCHENCK
- Le signal temporel dans l'axe radial augmente à  $9 \text{ m/s}^2$  dans la carte NI 9234 mais le signal augmente juste à  $5,5 \text{ m/s}^2$  dans l'appareille de SCHENCK.

### III-5-1-3) Dans le défaut de roulement (Bille et Cage) :

#### La carte NI 9234 :

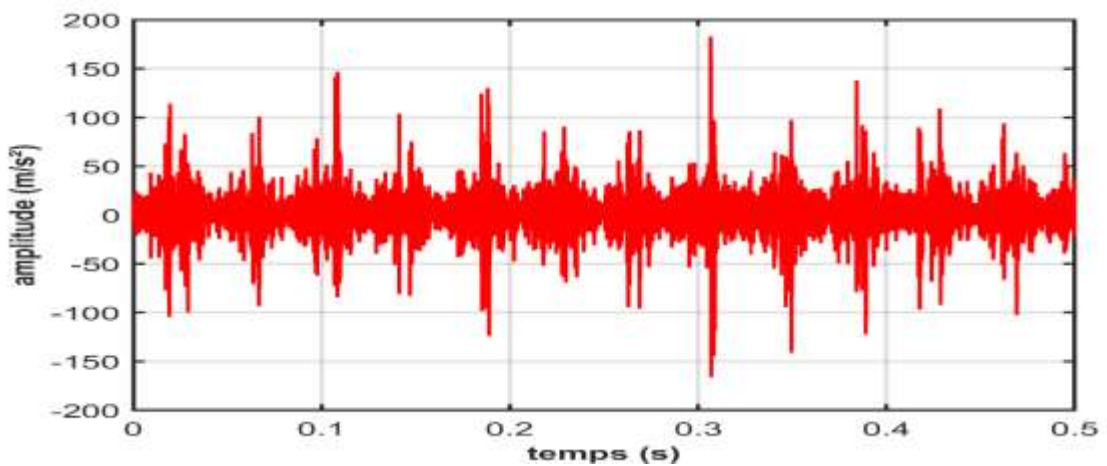


Figure III-8 : Bille et Cage axial avec la carte NI 9234

#### Appareille de SCHENCK :

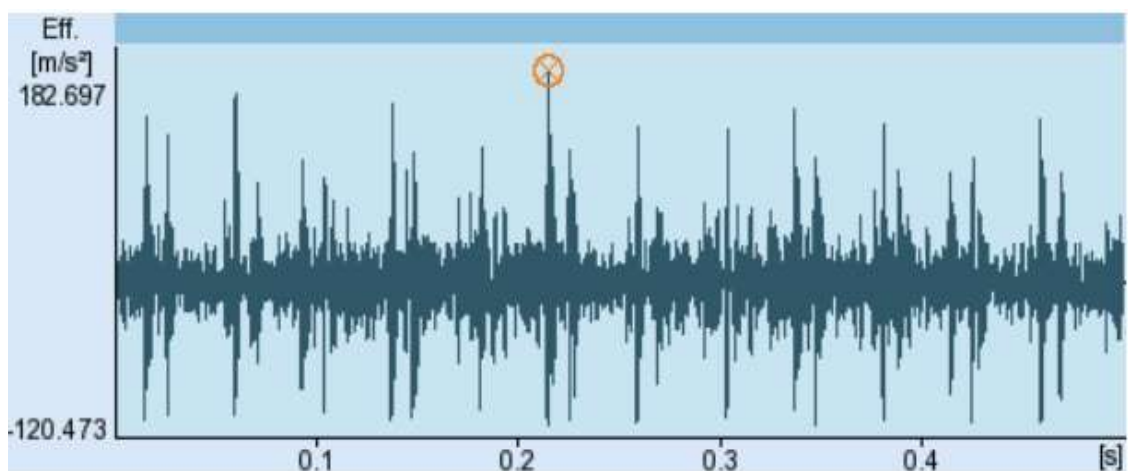


Figure III-9 : Bille et Cage axial avec SCHENCK



La carte NI 9234 :

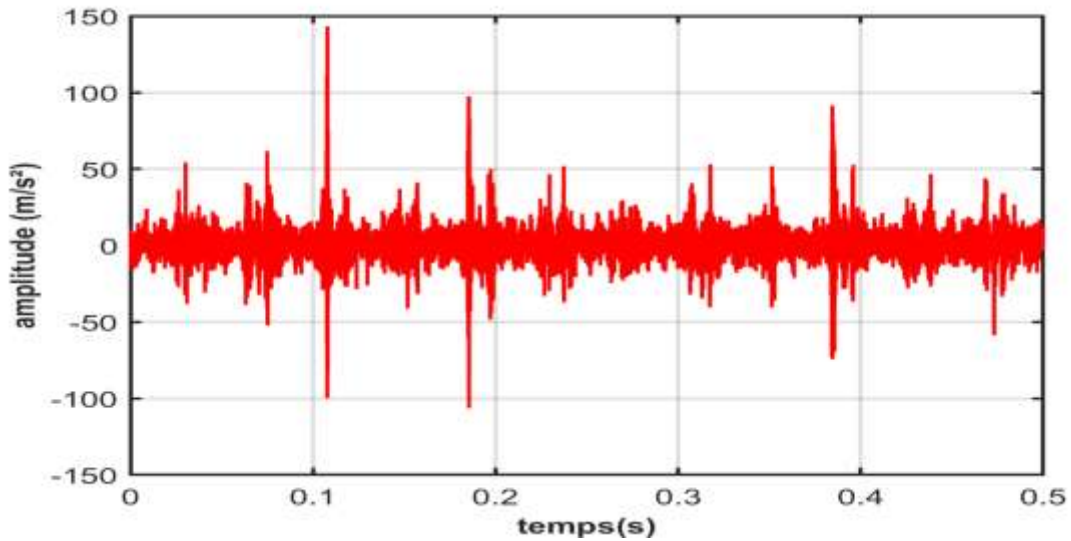


Figure III-10 : Bille et Cage radial avec la carte NI 9234

Appareille de SCHENCK :

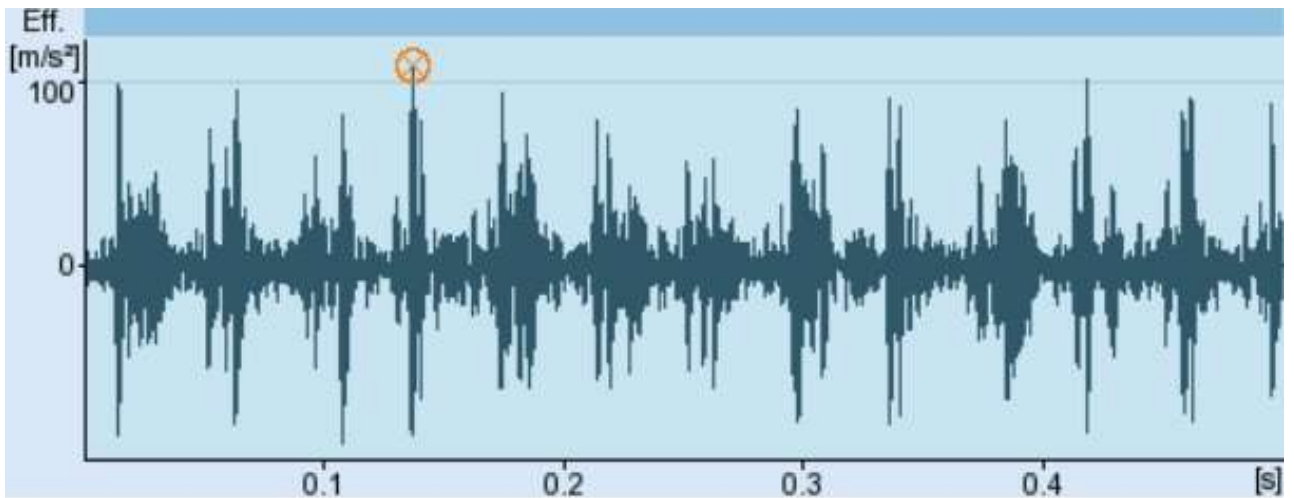


Figure III-11 : Bille et Cage radial avec SCHENCK

Interprétation :

- Le signal temporel dans l'axe axial augmente à  $190\text{m/s}^2$  dans la carte NI 9234 mais le signal augmente juste à  $182,6\text{ m/s}^2$  dans l'appareille de SCHENCK
- Le signal temporel dans l'axe radial augmente à  $140\text{m/s}^2$  dans la carte NI 9234 mais le signal augmente juste à  $100\text{ m/s}^2$  dans l'appareille de SCHENCK

III-5-2) Les résultats de FFT

III-5-2-1) Dans l'état sain :

La carte NI 9234 :

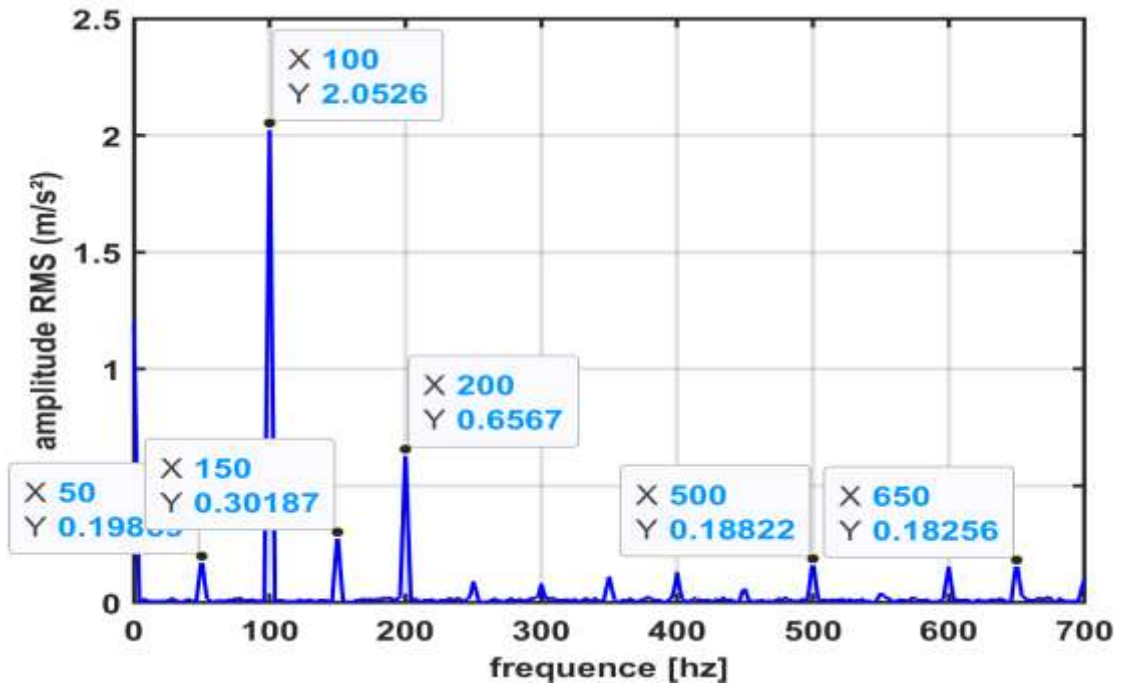


Figure III-12 : état sain axial avec la carte NI 9234

Appareille SCHENCK :

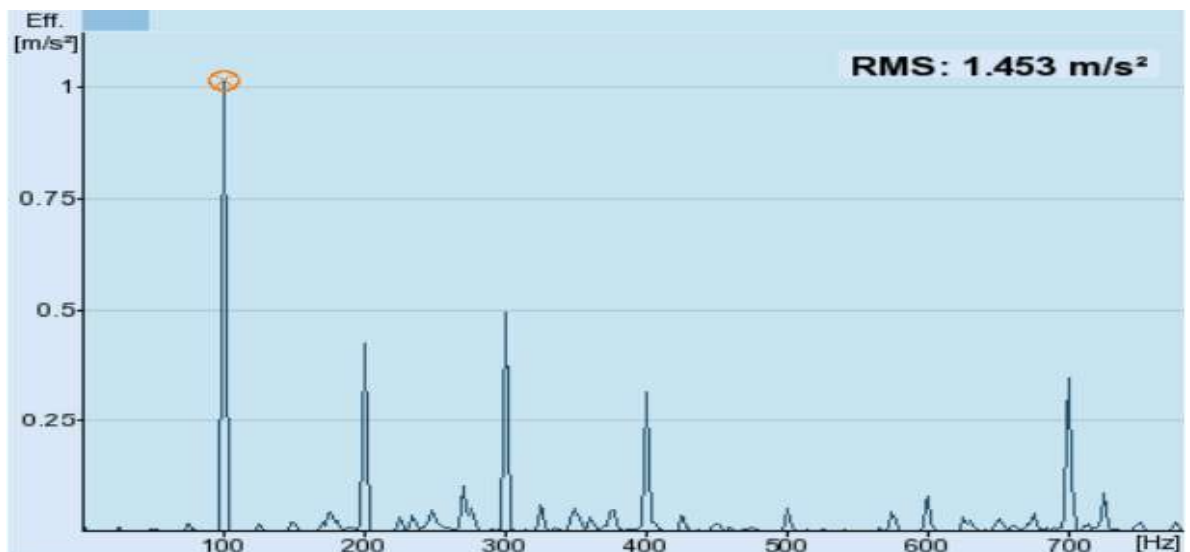


Figure III-13 : état sain axial avec SCHENCK



La carte NI 9234:

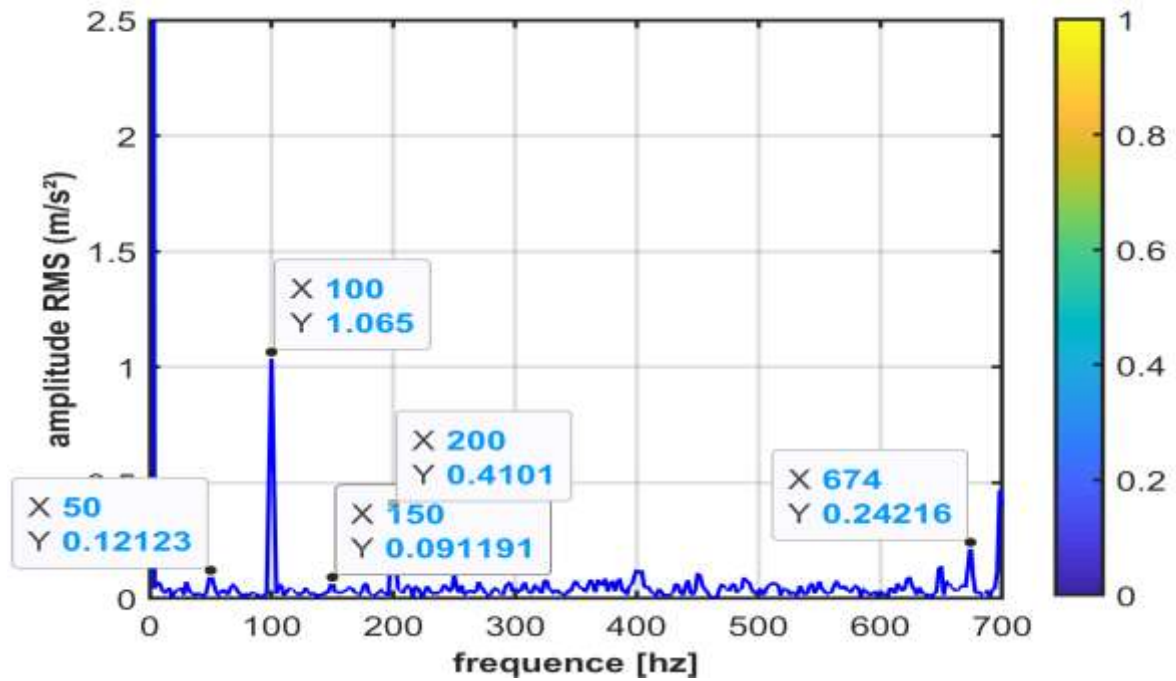


Figure III-14 : état sain radial avec la carte NI 9234

Appareille de SCHENCK :

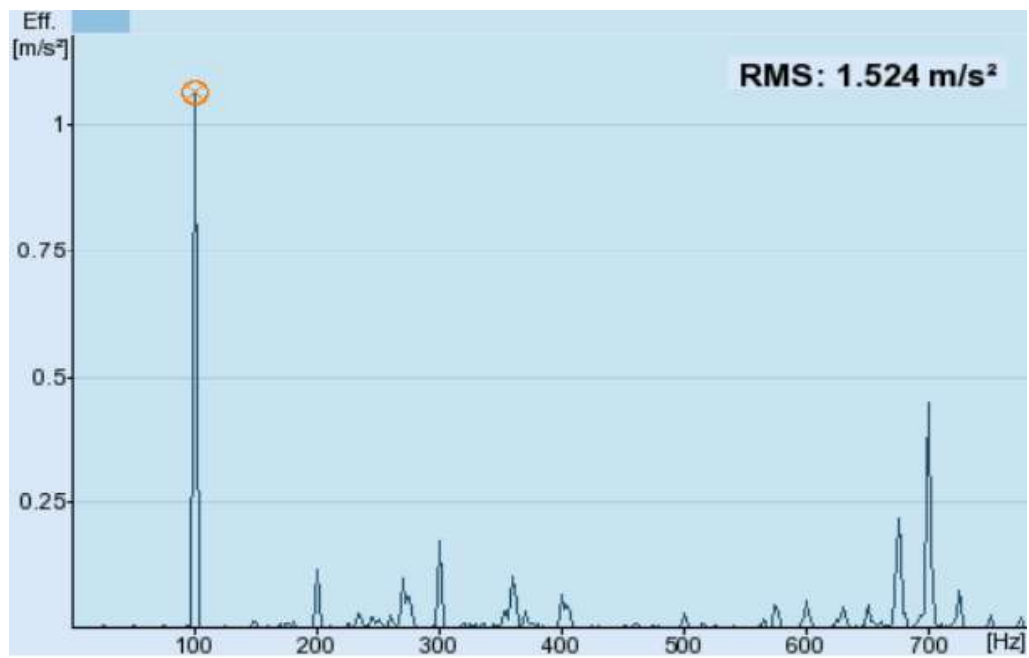


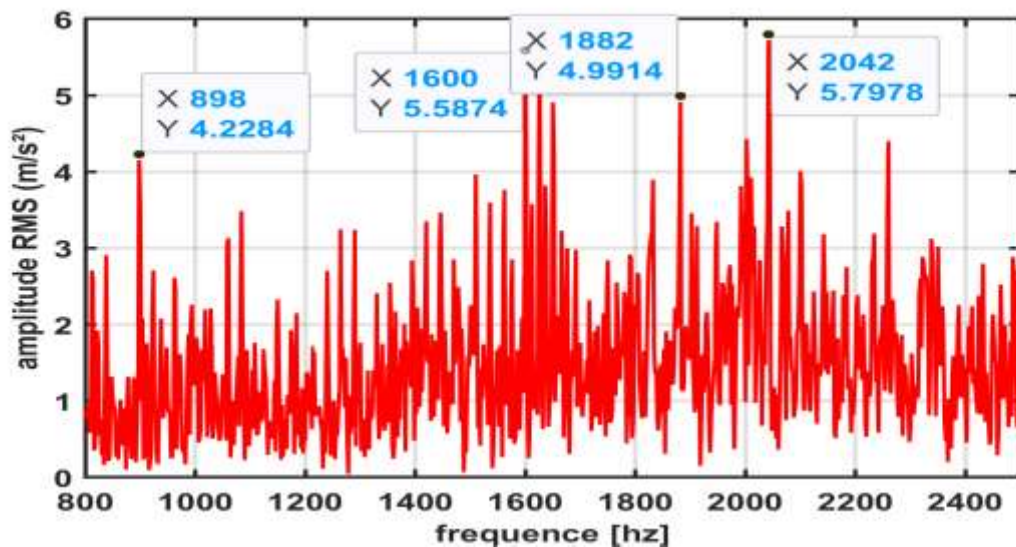
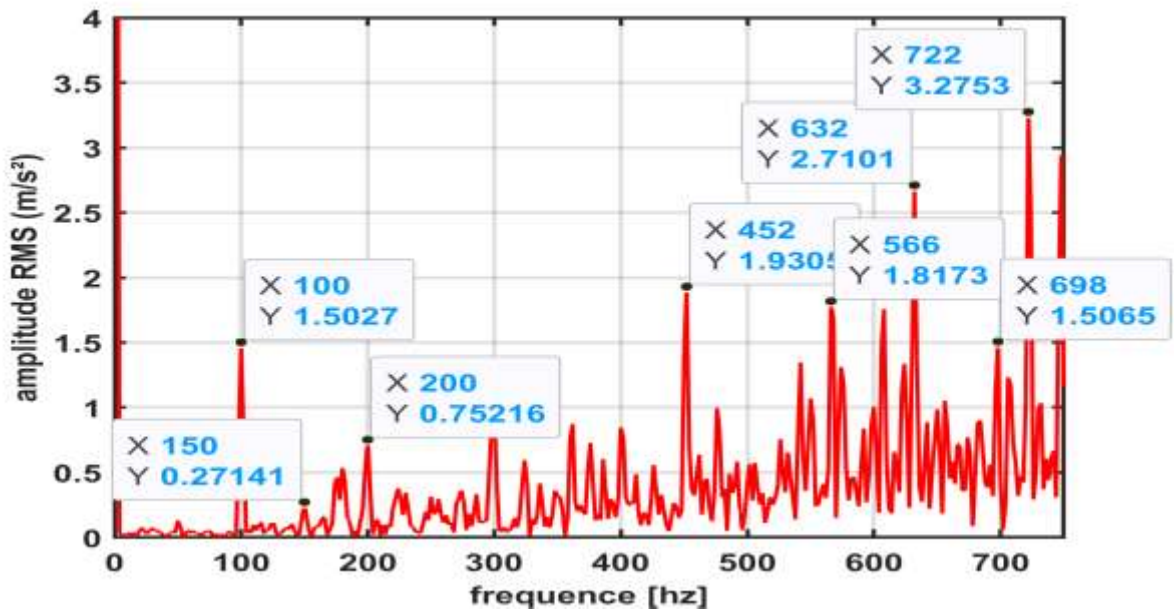
Figure III-15 : état sain radial avec SCHENCK

## Interprétation :

- Dans les figures IV-4 IV-5 IV-6 IV-7 nous pouvons voir que les harmoniques dans la méthode de SCHENCK et plein que la méthode de la carte NI 9234.
- Depuis la fréquence 200 jusqu'à 700 et dépareillé.

## III-5-2-2) Les résultats de FFT dans le défaut de roulement (bille et cage) :

### La carte NI 9234 :



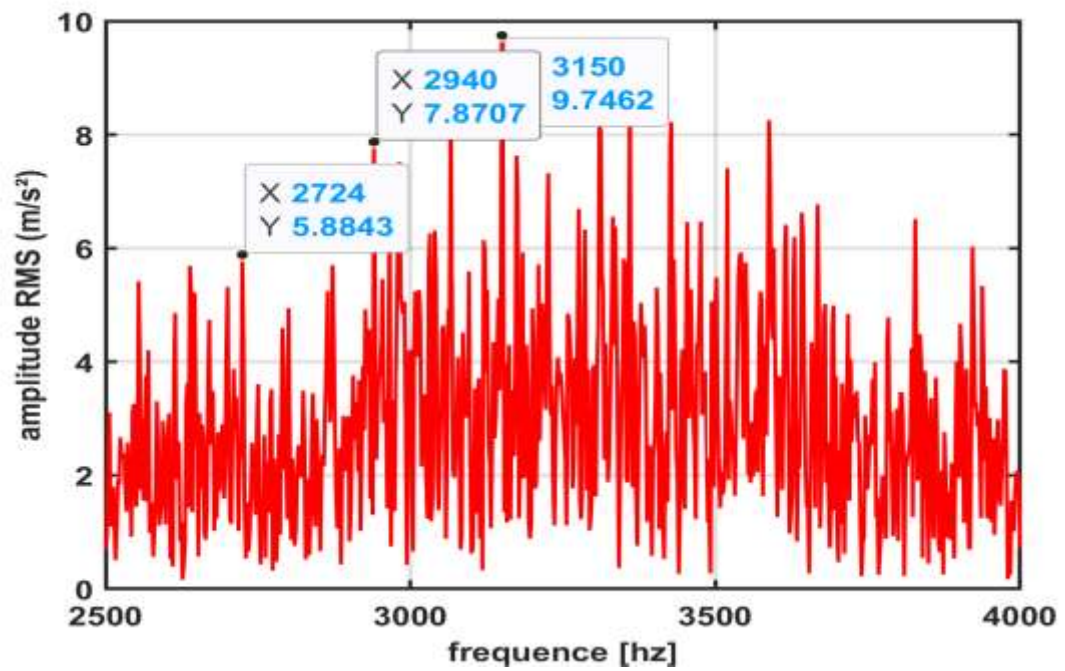


Figure III-16 : Spectre d'un signal FFT Bille et Cage axial avec la carte NI 9234

Appareille de SCHENCK :

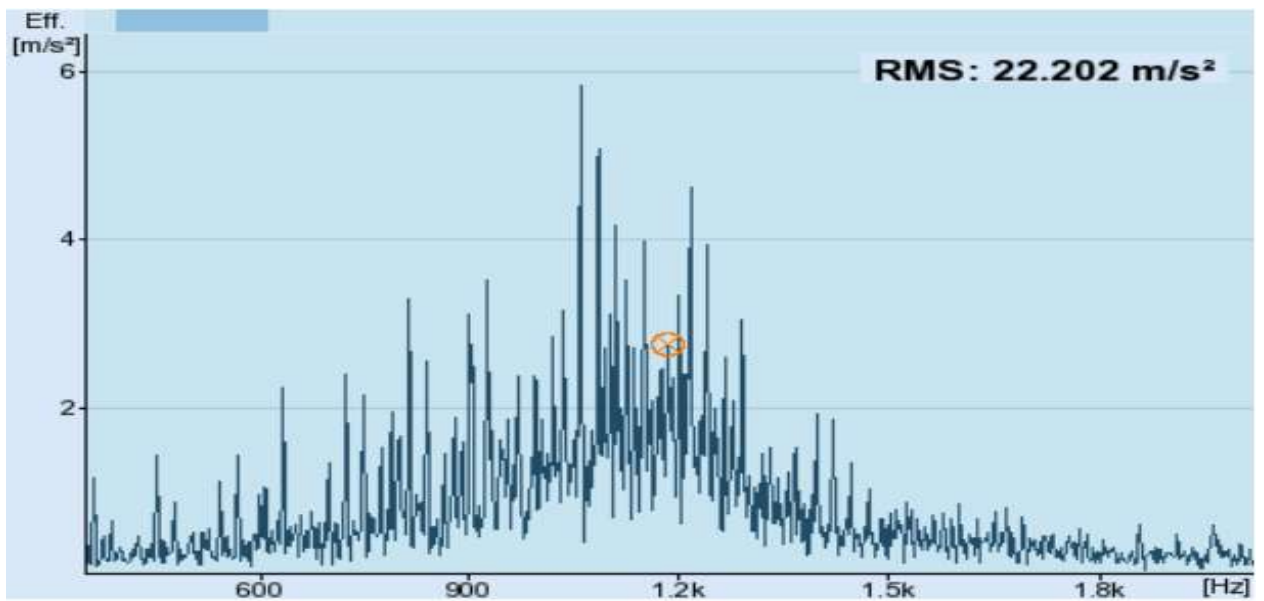


Figure III-17 : Bille et Cage axial avec SCHENCK

La carte NI 9234 :

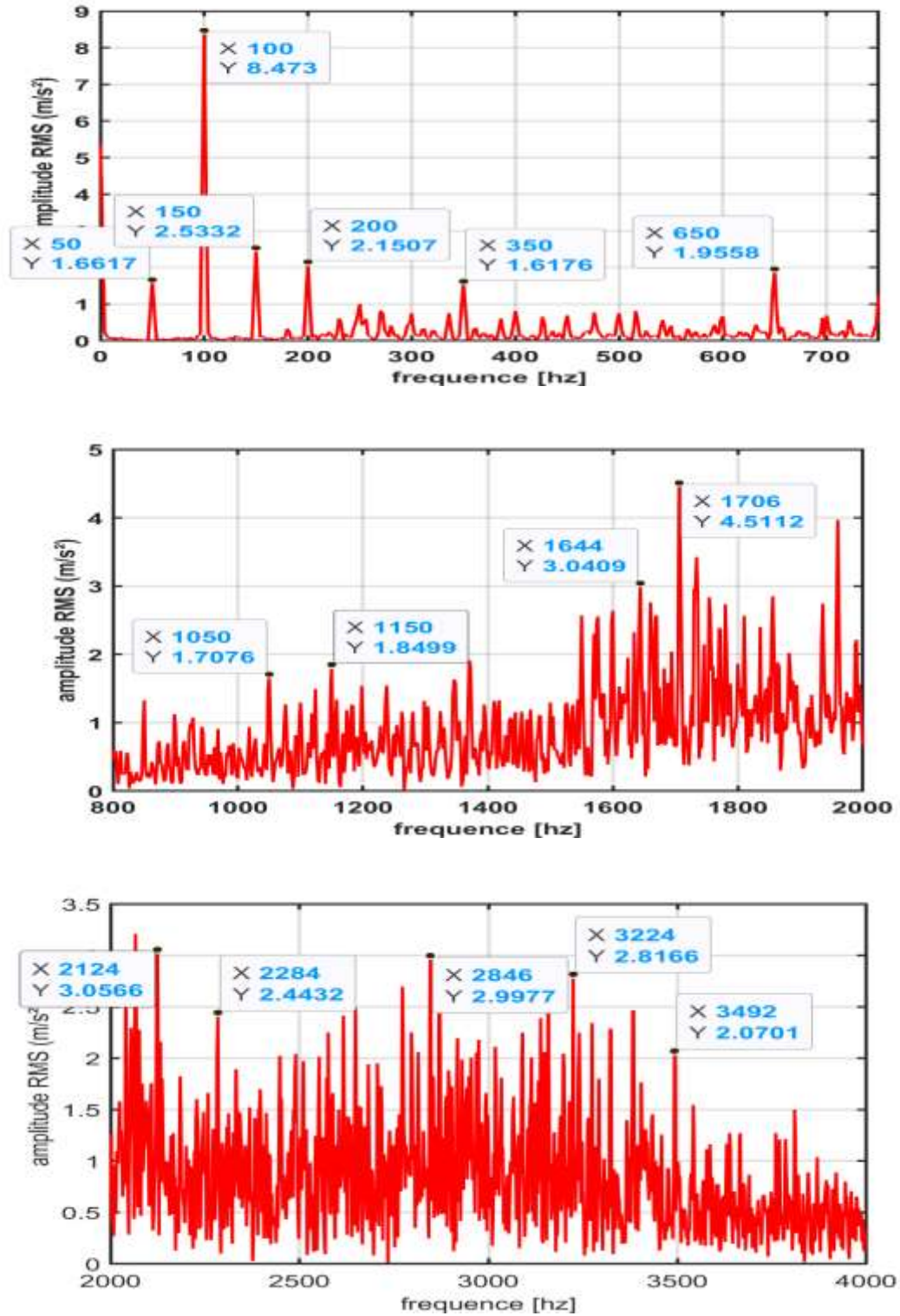


Figure III-18 : Spectre d'un signal FFT Bille et Cage radial avec la carte NI 9234

Appareille de SCHENCK :

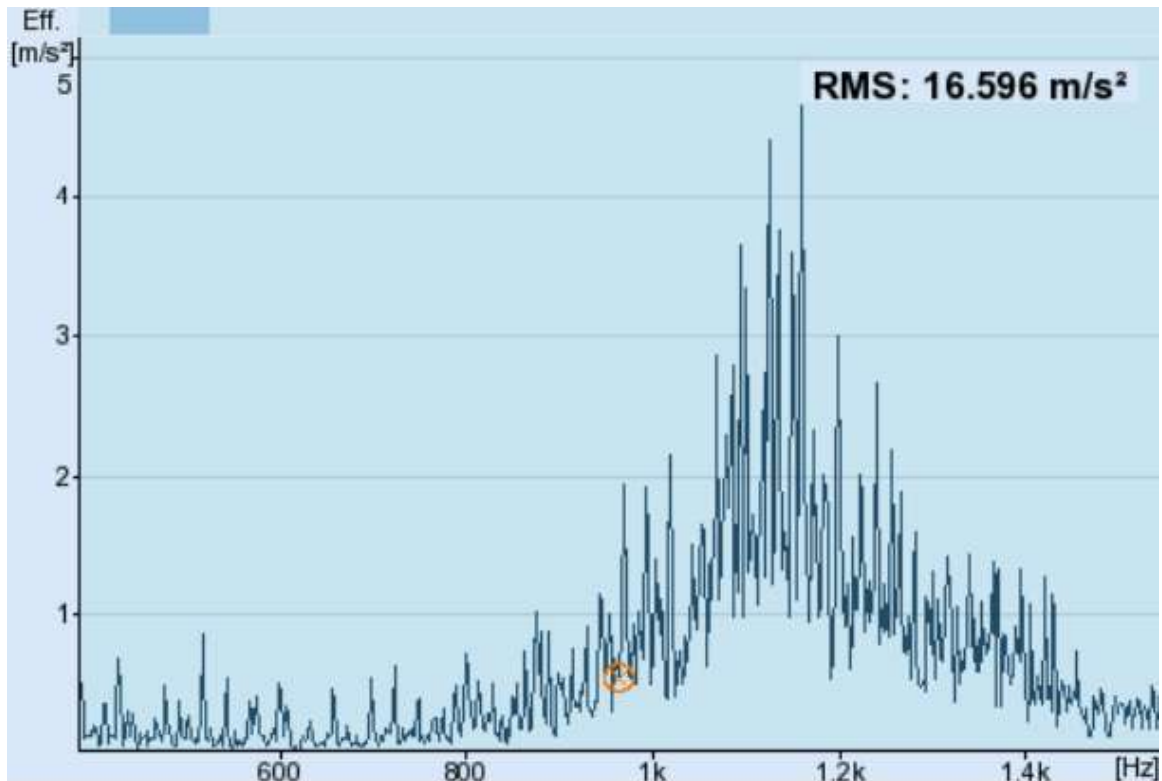


Figure III-19 : Bille et Cage radial avec SCHENCK

**Interprétation :**

- Dans les figures IV-8 IV-9 IV-10 IV-11 nous pouvons voir que les harmoniques dans la méthode de SCHENCK et plein que la méthode de LA CARTE NI 9234.
- Les harmoniques de défauts dans la méthode de SCHENCK apparait après 900 de fréquences mais dans la méthode de la carte NI 9234 apparait après 2500 de fréquence dans l'axe axial.
- Les harmoniques de défauts dans la méthode de SCHENCK apparait après 800 de fréquences mais dans la méthode de lacarte NI 9234 apparait après 1500 de fréquence dans l'axe radial
- Enter le fréquence 0 à 2500 Hz dans la carteNI 9234 et depuis 0 à 900 dans SCHENCK pas des harmoniques de défaut dans l'axe axial
- Enter le fréquence 0 à 1500 Hz dans la carte NI 9234 et depuis 0 à 800 dans SCHENCK pas des harmoniques de défaut dans l'axe radial



### III-6) Comparaison entre état sain et le défaut de roulement (Bille et Cage) par la carte de NI 9234 :

#### III-6-1) Signal temporel vibratoire axial :

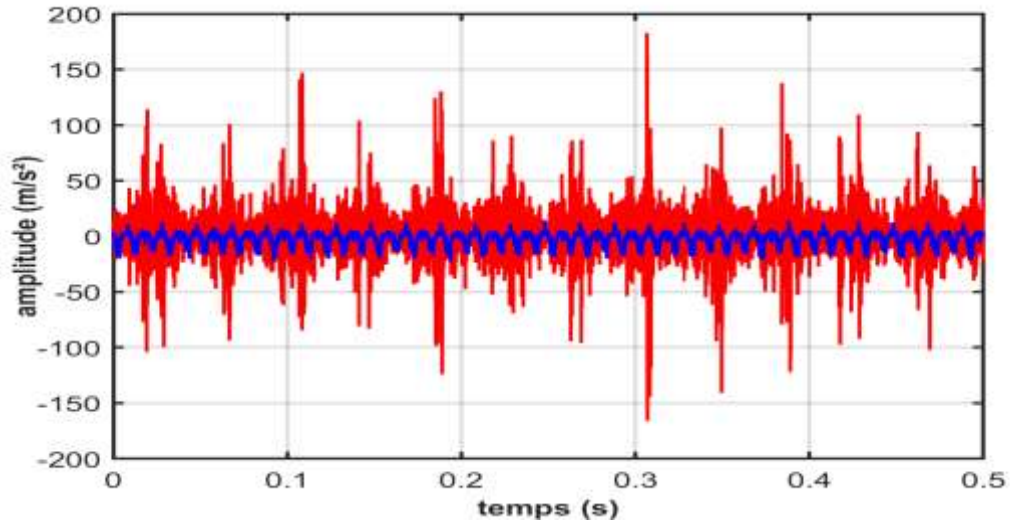


Figure III-20 : Signal vibratoire axial en fonction du temps pour un MAS défectueux

#### Interprétation :

- Signal vibratoire dans le défaut de bille et cage et très grand que l'état sain
- Le signal temporel de défaut augmente à  $150 \text{ m/s}^2$  mais à l'état sain augmente juste à  $14 \text{ m/s}^2$

#### III-6-2) Signal temporel vibratoire radial :

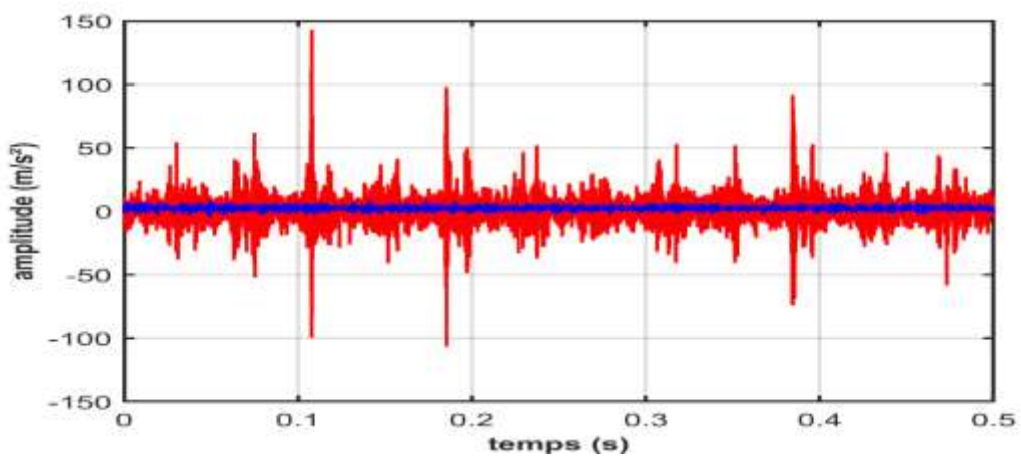
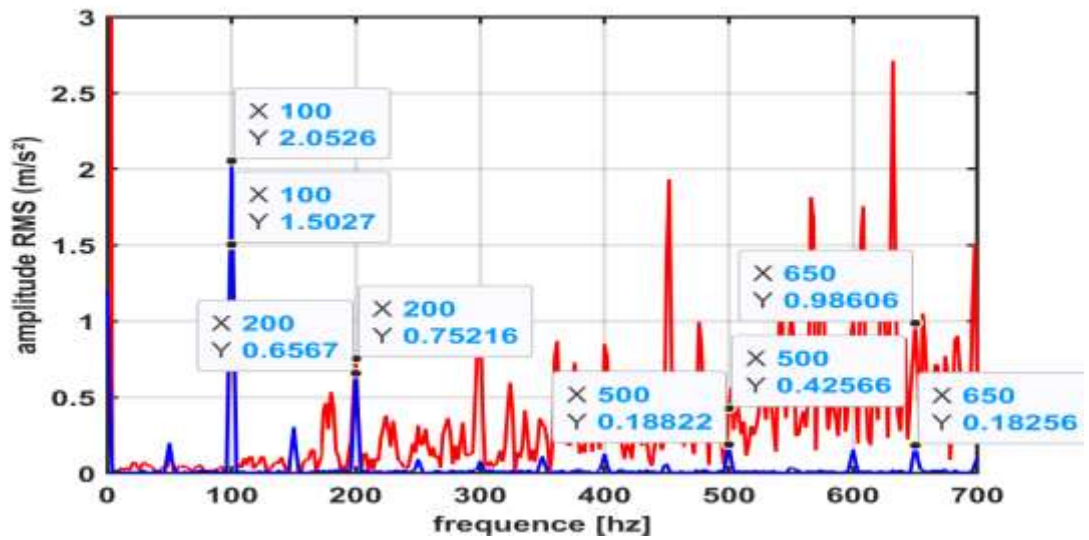
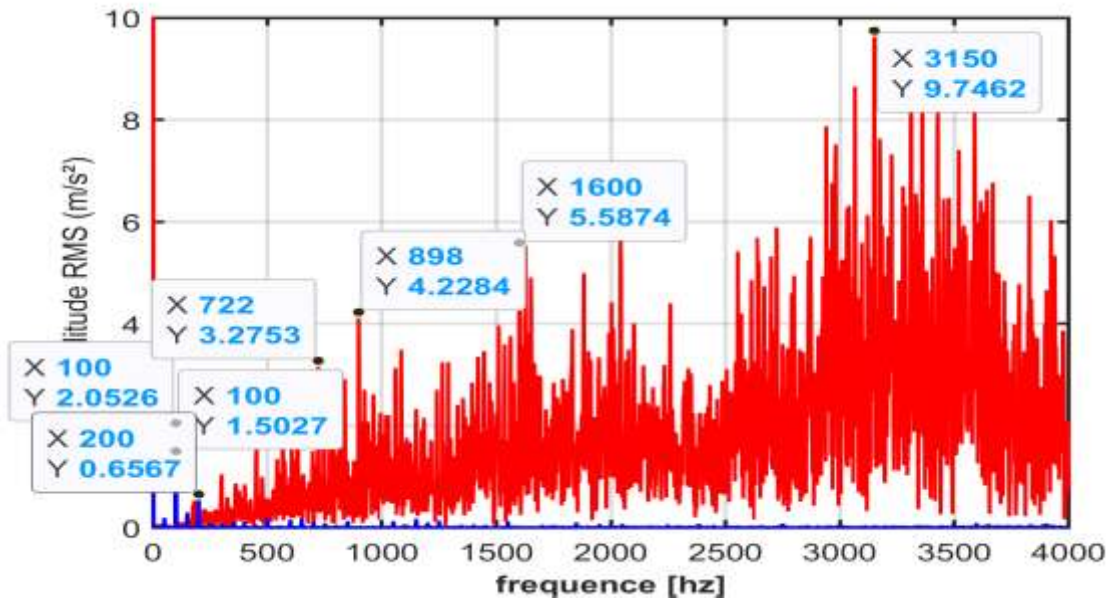


Figure III-21 : Signal vibratoire radial en fonction du temps pour un MAS défectueux

## Interprétation :

- Le signal temporel radial de défaut augmente a  $148 \text{ m/s}^2$  mais a l'état sain augmente juste à  $8 \text{ m/s}^2$
- Signal vibratoire radial dans le défaut de bille et cage et très grand que l'état sain

### III-6-3) Signal axial de FFT :



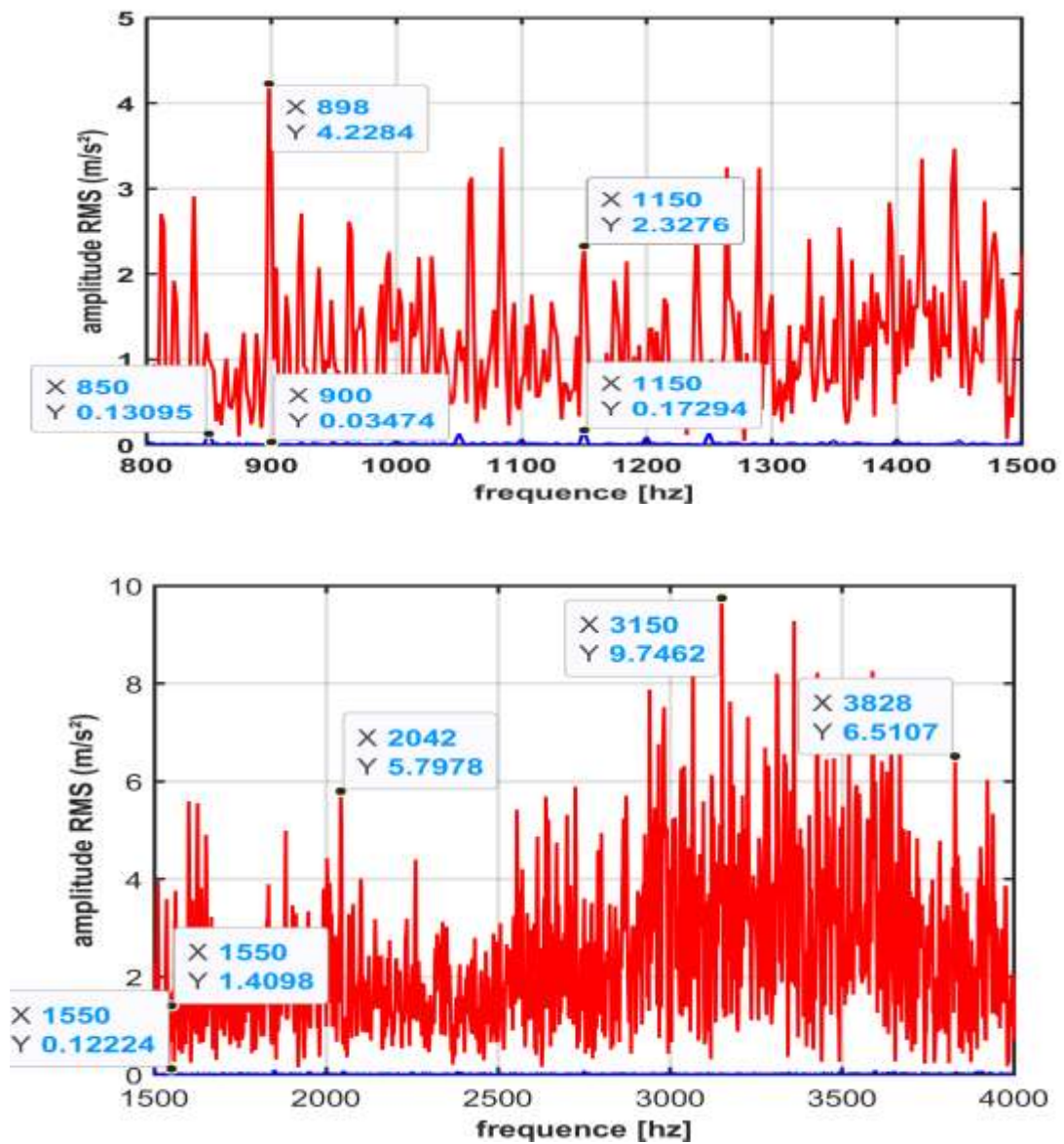


Figure III-22 : signal tt axial en fonction de fréquence de MAS défectueux

### Interprétation :

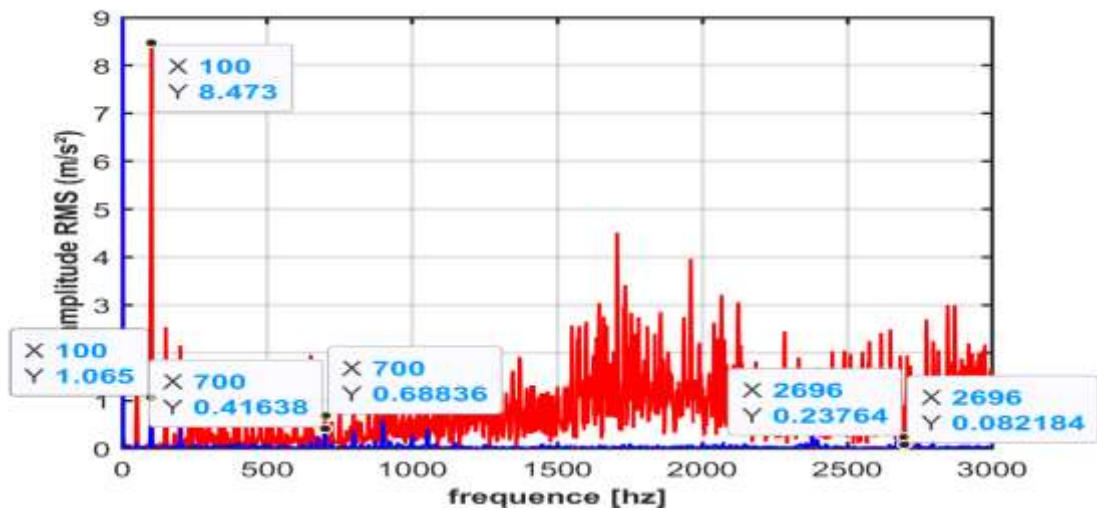
- Les harmoniques de défaut sont plus de paramètre et information que l'état sain
- Pas des harmoniques de défaut entre 0 et 800 Hz.



Valeur pratiques [hz]	Amplitude [dB]	
	Sain	Bille et Cage
100	2.05	1.50
200	0.65	0.75
650	0.18	0.98
1150	0.17	2.32
1550	0.12	1.40

**Tableau III-1** : comparaison d`amplitude de fréquence axial

### III-6-4) Signal radial de FFT :



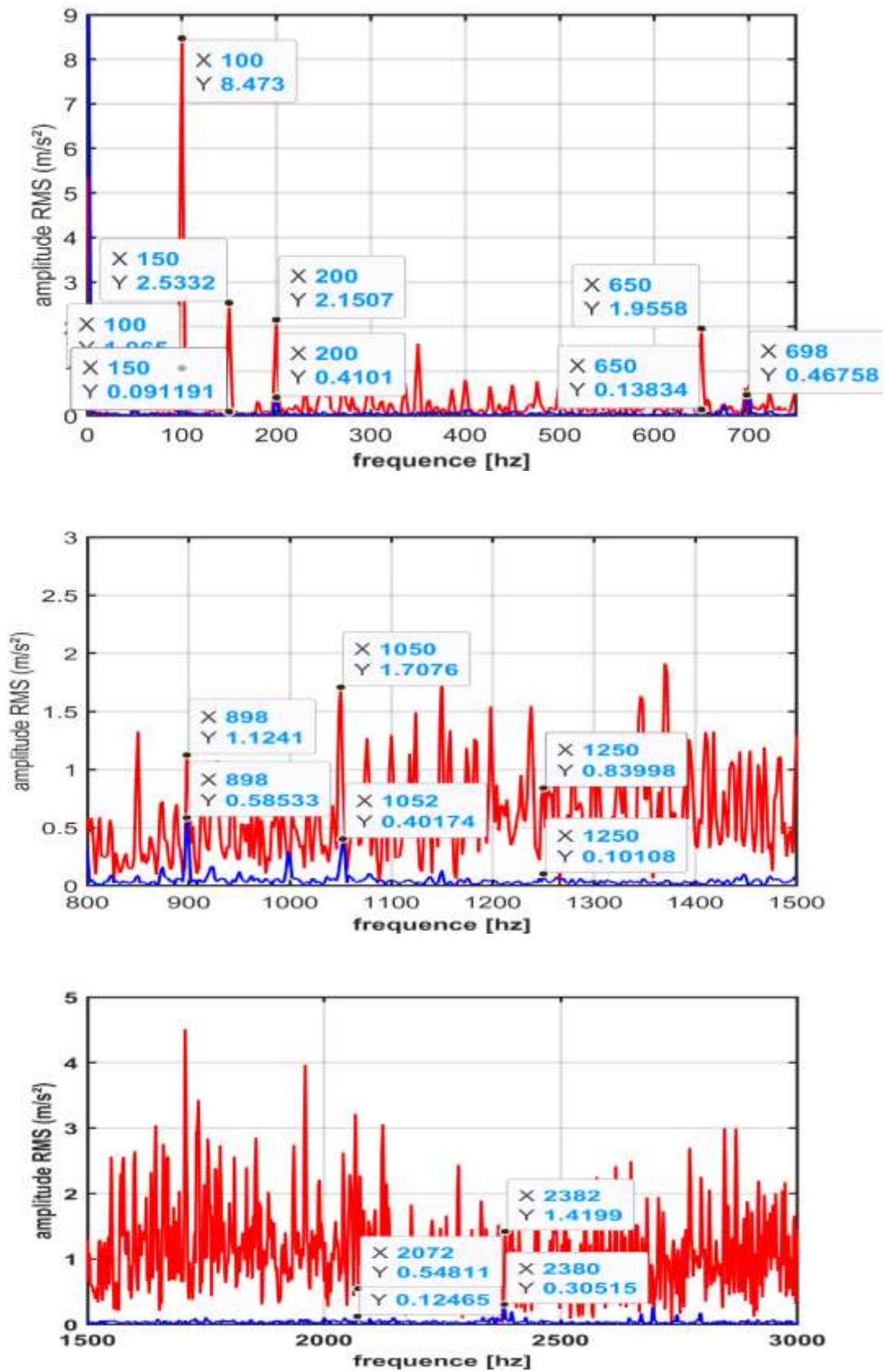


Figure III-23 : signal FFT radial en fonction de fréquence de MAS défectueux

### Interprétation :

- Les harmoniques de défaut sont plus de paramètre et information que l'état sain.
- Pas des harmoniques de défaut entre 0 et 900 Hz.
- Fréquence d'échantillonnage  $f_e=24.9\text{hz}$  ne remarque pas dans les résultats

Valeur pratiques [hz]	Amplitude [dB]	
	Sain	Bille et Ca ge
100	1.065	8.473
150	0.091	2.533
200	0.41	2.15
650	0.13	1.955
1050	0.10	0.83

**Tableau III-1** : comparaison d'amplitude de fréquence radial

### III-7) Conclusion :

Dans ce chapitre nous étudions le fonctionnement du moteur à l'état sain et avec défaut de roulement (Bille et Cage), en mesurant les vibrations avec deux méthodes et comparant entre elles. Ces résultats étaient sous influences étaient a conduit à douter des résultats.

# **Conclusion générale**

### Conclusion générale

Ce travail a été consacré aux machines asynchrones en comparant deux méthodes différentes de mesure des vibrations pour voir où les dommages se sont produits avant qu'il ne se produise.

Où au début des travaux, nous avons créé l'état de l'art de la machine asynchrone. Où nous rappelons brièvement les principaux composants de cette machine, les différents défauts de cette machine avec ses causes et conséquences

Ensuite, au chapitre deux, nous avons défini la maintenance en général, puis nous avons mentionné le défaut de roulement dans la machine pour l'étudier et nous avons également suivi les méthodes d'analyse vibratoire et les machines utilisées pour mesurer l'analyse

Dans le dernier chapitre, nous avons fait des expériences chez un informateur LGEB BISKRA, et ces expériences étaient presque fausses pour des facteurs externes, mais nous avons pu comparer les deux méthodes méthode de MVSA et SCHENCK, comme nous l'avons abordé dans la deuxième partie du chapitre pour comparer l'analyse des vibrations dans l'état sain et le défaut de roulement (Bille et Cage).

En perspective, pour améliorer notre étude de diagnostic des défauts de la machine, l'étude pourrait être élargie en considérant d'autres types de défauts mécanique et électrique, et autres outils de diagnostic et de détections avancées. Il est conseillé aux chercheurs de chercher une façon de mesurer spectre de courant, car elle est plus précise et moins sensible aux effets extérieurs.

# **Bibliographie**

**Bibliographe**

- [1]DERBALI Belgacem, BADJADI Chouaib,« Diagnostic d'un moteur asynchrone d'un compresseur à piston», Université Echahid Hamma Lakhder d'El-Oued, 2021.
- [2]Didier G " Modélisation et diagnostic de la machine asynchrone en présence de défaillances" Thèse de Doctorat, Université Henri Poincaré, Nancy-I, France, 2004.
- [3]Ondel O "Diagnostic par reconnaissance des formes : Application a un ensemble convertisseur – machine asynchrone" Thèse de Doctorat, Ecole centrale de Lyon, France, 2006.
- [4]Bachir S "Contribution au diagnostic de la machine asynchrone par estimation paramétrique " Thèse de Doctorat, Université de Poitiers, France, 2002.
- [5]Bonnett A. H. "Cause and analysis of anti-friction bearing failures in A.C induction motors" IEEE Transactions on Industry Application, pp 14 - 23, Sept/Oct1993.
- [6]Ondel O., « Diagnostic par reconnaissance des formes : Application a un ensemble convertisseur – machine asynchrone » Thèse de Doctorat, Ecole centrale de Lyon, France, 2006.
- [7]FRANCOIS MONCHY et JEAN-PIERRE VERNIER : maintenance (Méthode et organisation). Dunod , 2010.
- [8]BERNARD MACHINE : Maintenance, concepts et définitions. Centre français ' D'exploitation.



- [9] Ameursoualem, chapitre 2 : Etude de la performance par Analyse d'huile Cas : compresseur à piston SULZER, Année 16.
- [10] Thorsen O. V. and Dalva M., "A survey of fault on induction motors in offshore oil industry, petrochemical industry, gas terminals, and oil refineries" IEEE Transactions on Industry Applications, Vol.31(5), pp. 1186-1196, September 1995.
- [11] "Présentation des avaries. Machines électriques tournantes" Cahier des Préventions. CP2, Allianz, 1988.
- [12] O'Donnell P., "Report of large motor reliability survey of industrial and commercial installations, Part 1", IEEE Transaction on Industry Applications, Vol. 21(4), pp. 853 – 864, July/August 1985.
- [13] Schaeffer E., "Diagnostic des machines asynchrones : Modèles et outils paramétriques dédiés à la simulation et à la détection des défauts", Thèse de Doctorat, Ecole Centrale de Nantes, France, 1999.
- [14] K. Laadjal, « modélisation de la machine asynchrone en présence de défauts par flux 2D » thèse de master, Université de Mohammed Khaidher Biskra 2015.
- [15] Lebaroud A., « Modélisation et techniques orientées vers le diagnostic de la machine asynchrone associée à des sources variables », Thèse de Doctorat, Université de Constantine, Alegria, 2006.
- [16] Finley, W., Loutfi, M., Sauer, B. J. —Motor vibration problems— Understanding and identifying. IEEE-IAS/PCA Cement Industry Technical Conference, pp. 1-20, IEEE 2013.

- [17] P. GRANJON, "Contribution à la compensation active des vibrations des machines électriques". Thèse de doctorat, Institut national polytechnique de Grenoble, France, 2000.
- [18] AKROUR Yacine, « Diagnostic de l'excentricité dans la machine asynchrone », Université Mohamed Khider Biskra, 2017.
- [19] BESSOUS Nouredine, « Contribution au Diagnostic des Défauts dans les Machines Asynchrones : Comparaison entre l'Analyse Vibratoire et l'Analyse du Courant d'Alimentation », Université Mohamed Khider – Biskra, 2017.
- [20] T. Fakhfakh, F. Chaari, and M. Haddar, "Numerical and experimental analysis of a gear system with teeth defects", International Journal of Advanced Manufacturing Technology, 25 (5), pp. 542-550, 2005
- [21] N. Saravanan, K.I. Ramachandran, "A case study on classification of features by fast single-shot multiclass PSVM using Morlet wavelet for fault diagnosis of spur bevel gear box", Expert Systems with Applications, 36, pp. 10854-10862, 2009