

N° d'ordre :

N° de série :

République Algérienne Démocratique et Populaire
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique



Mémoire de Fin d'Études

Présenté à

L'Université d'Echahid Mohamed Lakhdar Ammara d'El Oued

Faculté de la Technologie

Département de Génie Electrique

En vue de l'obtention du diplôme de

MASTER ACADEMIQUE

En Machine Electrique

Présenté par

LADGHEM Anis

TAMMA Bachir Hatem

TAGUIA Aymen

Thème

**Contribution au diagnostic des défauts dans les
moteurs asynchrones à cage d'écureuil: Détection du
défaut mécanique**

Soutenu le .. /06/2021. Devant le jury composé de :

Dr.	Maitre de conférences A	Président
Dr. BESSOUS Nouredine	Maitre de conférences A	Rapporteur
Dr.	Maitre de conférences B	Examineur

Année Universitaire 2020/2021

Remerciements

Nous remercions tout d'abord « ALLAH » qui nous a donné la force et la patience nécessaire pour réaliser ce modeste travail.

Nous tenons à remercier notre encadreur du mémoire de Master, **Dr. Noureddine BESSOUS**, pour la confiance dont il nous a gratifié, pour sa gentillesse et ses conseils judicieux qu'il nous a prodigué à chacune de nos rencontres et nous avoir soutenu et dirigé tout au long de ce travail.

Nos vifs remerciements aux membres de jury pour nous avoir fait l'honneur d'examiner et de juger notre travail.

Enfin, nous adressons nos remerciements à tous nos enseignants de la Faculté de la Technologie et précisément les enseignants du Département de Génie Electrique de l'Université d'El-Oued et à toutes les personnes qui, de manière directe ou indirecte, ont contribué à l'aboutissement de ce travail.

Dédicaces

A ma très chère mère

Quoi que je fasse ou que je dise, je ne saurai point te remercier
comme il se doit.

Ton affection me couvre, ta bienveillance me
guide et ta présence à mes côtés a toujours été ma source de force
pour affronter les différents obstacles.

A mon très cher père

Tu as toujours été à mes côtés pour me soutenir et m'encourager.

A l'âme de ma chère grand-mère.

A ceux qui me souhaitent du succès

Mes frères et chère sœur

Et à tous ceux qui m'ont appris une lettre

À tous ceux qui m'ont soutenu et m'ont donné amour et espoir

Et à tous ceux qui m'ont souhaité du succès, ma famille, mes amis et mes collègues.

LADGHEM Anis

Dédicaces

À mon trésor éternel et raison de ma vie, symbole de sacrifice et d'amour, qui m'a toujours soutenue et prêtée aide et assistance dans mes études :

"Ma mère "

À l'homme le plus fort, le plus important dans ma vie, pour ses efforts et ses sacrifices : " Mon père ".

À mes étoiles qui éclairent ma vie : mes sœurs

À toute personne qui m'a aidé dans mes études.

TAMMA Bachir Hatem

Dédicaces

Je dédie ce modeste travail

*À ma chère maman pour toute l'aide qu'elle
n'arrêtait pas de me donner, pour que je puisse
réussir*

A mes frères

A mes sœurs

A tout ma famille

A tout mes amis

TAGUIA Aymen

ملخص

الآلات الكهربائية الدوارة مهمة جدا في الحياة اليوم وذلك لتواجدها في العديد من المجالات، ومن بين هذه الآلات نذكر الآلة غير المتزامنة ذات قفص السنجاب التي تعد واحدة من أكثر الآلات رواجاً واستخداماً في المجال الصناعي.

هذه الأخيرة يمكن أن تتعرض لأي خلل في أي وقت ويسبب ذلك خسائر كبيرة، لذا فإن عملية تشخيص العيوب قبل أن تتحول إلى عطب في وقت مبكر أصبح أمراً ضرورياً.

علاوة على ذلك في مجال التشخيص ومراقبة العيوب يوجد العديد من الطرق لاكتشاف العيوب في الآلات غير المتزامنة و من بين هذه الطرق : طريقة تحليل الإشارة الاهتزازية و طريقة تحليل التيار الكهربائي اللذان يعتمدان بالأساس على التحليل الطيفي بواسطة تحويلات فورييه.

الهدف من هذا العمل هو المساهمة في كشف، مراقبة وتشخيص العيوب التي تتعرض لها هذه الماكينة الكهربائية، لذا حاولنا في هذه الدراسة تشخيص عيب في الحلقة الخارجية للمدحرج بطريقة تحليل الإشارة الاهتزازية و طريقة تحليل التيار الكهربائي والمقارنة بين هاتين الطريقتين وذلك من أجل الوقوف على الطريقة الأكثر ملائمة للوصول إلى كشف العيب بأكثر دقة.

الكلمات المفتاحية : الآلات الدوارة ، الآلة غير متزامنة، ذات قفص السنجاب، التشخيص، طريقة تحليل الإشارة الاهتزازية، طريقة تحليل التيار الكهربائي، التحليل الطيفي، تحويلات فورييه، الحلقة الخارجية، المدحرج.

Abstract

Electrical rotating machine have big importance in our daily life and especially in industries. Among these machines, we distinguish asynchronous squirrel cage machines which is the most used in the industry sector.

According to these kind of machines can get damaged at any time. It can be because of huge losses as a result diagnostic process at early time became a necessity before the damages transform to a failure.

Furthermore in the field of diagnostic and surveillance of the damages there are a lot several methods to detect damages in the asynchronous machines (induction machines). Among these techniques, we mention: Motor Vibration Signature Analysis (MVSA) and Motor Current Signature Analysis (MCSA) which are based on spectral analyzing of signals using Fourier Fast Transform (FFT).

The purpose of this work is to contribute a diagnostic and surveillance of fault detection. In this work, we realized a comparative study between MVSA and MCSA techniques to detect the outer raceway fault in rolling element bearings. This comparison led us to select the best technique for REB fault detection in induction machines.

Key words : rotating machine, asynchronous squirrel cage machine, diagnosis, motor vibration signature analysis method, motor current signature analysis method, spectral analyzing, Fourier transform, the outer raceway, rolling element bearings.

Résumé

Les machines électriques tournantes ont une grande importance dans notre vie quotidienne et surtout dans les industries. Parmi ces machines, nous distinguons les machines asynchrones à cage d'écurie qui est la plus utilisée dans le secteur industriel.

Ce type de machines peut être endommagé à tout moment. Cela peut être dû à d'énormes pertes, le processus de diagnostic est donc devenu une nécessité avant que les défauts ne se transforment à une panne.

De plus, dans le domaine du diagnostic et de la surveillance des défauts, il existe de nombreuses méthodes pour détecter les défauts dans les machines asynchrones. Parmi ces techniques, nous mentionnons: L'Analyse des Signatures de Vibration du Moteur électrique (ASVM) et L'Analyse des Signatures des Courants du Moteur (ASCM) qui sont basés sur l'analyse spectrale des signaux à l'aide de la transformée de Fourier rapide (TFR).

Le but de ce travail est de contribuer au diagnostic et à la surveillance des défauts. Nous avons étudié le défaut dans la bague externe du roulement (BER) en utilisant les deux méthodes précédentes. En plus, on a fait aussi une étude comparative entre les deux techniques afin d'avoir à une décision finale sur l'efficacité des deux techniques.

Mots clés : machines tournantes, machines asynchrones à cage d'écurie, diagnostic, l'analyse des signatures de vibration du moteur, l'analyse des signatures des courants du moteur, l'analyse spectrale, transformée de Fourier, la bague externe, roulement.

Table des matières

Table des matières

Liste des figures	xiii
Liste des tableaux	xvi
Liste des symboles et abréviations	xviii
Introduction générale	1
Chapitre I : Etat de l'art sur le diagnostic des défauts dans les machines asynchrones	
I-1 Introduction	5
I-2 Définition	5
I-3 Constitution des machines asynchrones	5
I-3-1 Stator	6
I-3-2 Rotor	7
I-4 Principe de fonctionnement d'une machine asynchrone	7
I-5 Défauts de la machine asynchrone	8
I-5-1 Défauts statoriques	10
I-5-1-1 Court-circuit entre phase	10
I-5-1-2 Court-circuit entre spire	11
I-5-1-3 Circuit ouvert sur une phase	12
I-5-1-4 Défauts de circuit magnétique	12
I-5-1-5 Court-circuit avec le bâti (la carcasse)	12
I-5-2 Défauts rotorique	12
I-5-2-1 Ruptures de barres	13
I-5-2-2 Ruptures de d'anneaux	13
I-5-2-3 Excentricité	14
I-5-3 Défauts du roulement	16
I-6 Causes des défauts	17
I-7 Conséquences des défauts	17
I-8 Techniques de diagnostic	18
I-8-1 Analyse des courants	18
I-8-2 Analyse du couple électromagnétique	18
I-8-3 Analyse des flux	18
I-8-4 Analyse de la vitesse	19
I-8-5 Analyse chimique	19

I-8-6	Analyse des signaux vibratoires et acoustiques	19
I-9	Conclusion	20
Chapitre II : Aperçu sur les méthodes de diagnostic (MCSA et MVSA)		
II-1	Introduction	22
II-2	Méthode de MCSA	22
II-3	Transformée de Fourier	23
II-3-1	Transformée de Fourier rapide (FFT)	24
II-4	Techniques d'analyse	25
II-5	Analyse vibratoire	26
II-5-1	Définition de vibration	26
II-5-2	Origine des vibrations	26
II-5-3	Objectifs d'analyse vibratoire	27
II-5-4	Principe de l'analyse vibratoire	27
II-5-5	Avantages et inconvénients	28
II-6	Différentes formes de vibrations	28
II-6-1	Vibrations harmoniques	28
II-6-2	Vibrations périodiques	29
II-6-3	Vibrations aléatoire	29
II-7	Caractéristiques d'une vibration	30
II-7-1	Fréquence	30
II-7-2	Amplitude	30
II-7-3	Nature d'une vibration	31
II-8	Modes de détection	32
II-8-1	Valeur efficace X_{eff}	32
II-8-2	Valeur crête X_c	32
II-8-3	Valeur crête à crête X_{cc}	32
II-8-4	Relations entre les différents modes de détection	33
II-9	Niveau vibratoire	33
II-10	Capteurs de vibrations	33
II-10-1	Capteurs de déplacement	33
II-10-2	Capteur de vitesse	34
II-10-3	Capteur d'accélération	34
II-11	Méthode de l'analyse vibratoire	34
II-11-1	Méthode de niveau global	34

II-11-2	Analyse temporelle	35
II-11-3	Analyse en fréquence	35
II-11-4	Analyse spectrale	35
II-12	Conclusion	36
Chapitre III : Analyse de défaut du roulement en utilisant les méthodes :		
MVSA et MCSA		
III-1	Introduction	38
III-2	Détection du défaut de roulement par la méthode de MVSA	38
III-2-1	Mesure de vibration pour un défaut dans la bague externe	39
III-3	Détection du défaut de roulement par la méthode de MCSA	41
III-3-1	Résultats expérimentaux dédiés au défaut de la bague extérieure du roulement	41
III-4	Conclusion	46
Conclusion générale		47
Bibliographie		49

Liste des figures

Liste des figures

Chapitre I : Etat de l'art sur le diagnostic des défauts dans les machines asynchrones

Figure I.1. Schéma de principe de la conversion d'énergie.	5
Figure I.2. Constitution typique d'une machine asynchrone triphasée.	6
Figure I.3. Photo du stator d'une machine asynchrone.	6
Figure I.4. Représentation du Rotor à cage.	7
Figure I.5. Principe de fonctionnement d'un moteur asynchrone triphasé à cage.	8
Figure I.6. Répartition des défauts.	9
Figure I.7. Représentation des différents défauts statoriques possible.	10
Figure I.8. Court-circuit enter phase.	11
Figure I.9. Court-circuit enter spire.	11
Figure I.10. Répartition des défauts rotoriques.	12
Figure I.11. Rupture d'une et deux portions adjacentes d'anneau de court-circuit.	14
Figure I.12. Types d'excentricité: (a) rotor centré (sain); (b) excentricité statique; (c) excentricité dynamique.	15
La figure I.13. Structure d'un roulement à billes.	16

Chapitre II : Aperçu sur les méthodes de diagnostic (MCSA et MVSA)

Figure II.1. Les différents points de mesure.	23
Figure II.2. Principe de la Transformée de Fourier.	24
Figure II.3. Représentation temporelle et fréquentielle somme de deux sinusoïdes.	24
Figure II.4. Perte de localisation temporelle.	25
Figure II.5. Différentes méthodes d'analyse.	26
Figure II.6. Réponse mécanique de la structure du stator.	27
Figure II.7. Vibration harmonique.	28
Figure II.8. Vibration périodique.	29
Figure II.9. Vibration aléatoire.	30
Figure II.10. Les différentes amplitudes de vibration sinusoïdale.	31
Figure II.11. Nature d'une vibration.	31
Figure II.12. modes usuels de détection.	32

**Chapitre III : Analyse de défaut du roulement en utilisant les méthodes :
MVSA et MCSA**

Figure III.1. Photos d'un roulement défectueux dans la BE.	39
Figure III.2. Spectre d'un signal vibratoire ; (A) et (B) : 0-1000 Hz.	39
Figure III.3. Spectre d'un signal vibratoire ; (a) et (b) : 0-200 Hz, (c) et (d) : 250-380 Hz, (e) et (f) : 400-560 Hz (BE, $s=0.032$).	40
Figure III.4. Spectre du courant statorique pour différentes bandes fréquentielles (défaut de la BE, $g=0.04$, (A) : 0-1000Hz, (a) : 0-150Hz, (b) : 100-260 Hz.	42
Figure III.5. Spectre du courant statorique pour différentes bandes fréquentielles (défaut de la BE, $g=0.04$, (c) : 260-360 Hz, (d) : 400-500 Hz, (e) : 500-700 Hz.	43
Figure III.6 Spectre du courant statorique pour différentes bandes fréquentielles (défaut de la BE, $g=0.04$, (f) : 800-1000 Hz.	44

Liste des tableaux

Liste des tableaux

Chapitre III : Analyse de défaut du roulement en utilisant les méthodes :

MVSA et MCSA

Tableau III.1 Récapitulation de quelques harmoniques théoriques et pratiques dans le spectre d'un signal vibratoire (BE, $g=0.032$, $f_r=24.2$ Hz).	41
Tableau III.2 Récapitulation de quelques harmoniques théoriques et pratiques dans le spectre d'un signal vibratoire (BE, $g=0.04$, $f_r=24$ Hz).	45

Liste des symboles et abréviations

Liste des symboles et abréviations

MAS :	Machine asynchrone.
F.E.M :	La force électromotrice.
ASCM :	Analyse des Signatures des Courants du Moteur.
MCSA :	Motor Current Signature Analysis.
FFT :	Fast Fourier Transform.
RMS :	Root Mean Square.
ASVM :	Analyse des Signatures de Vibration du Moteur.
MVSA :	Motor Vibration Signature Analysis.
BE :	La Bague Externe.
BI :	La Bague Intérieure.
Ω_s :	La vitesse de synchronisme.
Ω :	La vitesse de rotation du rotor.
g,s :	Le glissement.
f_s :	Fréquence des tensions triphasées du réseau d'alimentation.
p :	Le nombre de paires de pôles.
$X(f)$:	La valeur d'un coefficient de Fourier à la fréquence.
$X(t)$:	Signal généré par le défaut à caractère transitoire.
ω :	Fréquence angulaire ou pulsation du mouvement.
f :	Fréquence du mouvement en Hz.
φ :	Phase du mouvement par rapport à un repère dans le temps.
A_c :	Amplitude crête.
Acc :	L'amplitude crête à crée.
A_{eff} :	L'amplitude efficace.
f_{BE} :	Fréquence caractéristique du défaut de la bague externe du roulement.
f_{BE-I} :	Fréquence caractéristique du défaut de la bague externe dans le spectre du courant statorique.
f_s :	Fréquence de glissement.
ν :	Ordre d'harmoniques du temps.
N_b :	Nombre de billes de roulement.

Introduction générale

Introduction générale

La machine asynchrone est l'une des machines les plus utilisées dans l'industrie, grâce à sa robustesse, sa fiabilité et son faible coût. En fait, elle est omniprésente dans de nombreuses applications et en particulier dans les secteurs de pointe comme l'aéronautique, le nucléaire, les industries chimiques, dans le transport (métro, trains, propulsion de véhicule et des navires, les ascenseurs), dans l'industrie (machines-outils, treuils), dans l'électroménager [IBR09].

Malheureusement, ces machines sont impactés par des défaillances diverses comme les barres cassées ou l'excentricité au niveau du rotor ou encore les courts-circuits entre spires au stator, qui peuvent conduire à l'arrêt de la production et causer des dommages aux équipements et humains aux alentours, par conséquent, la surveillance et le diagnostic de ces machines deviennent primordiaux afin de diminuer les coûts de maintenance et d'exploitation, augmenter la sécurité et la disponibilité des équipements et garantir la continuité de la production.

Compte tenu de l'importance des enjeux en termes de productivité et de sécurité, de nombreuses approches concernant la surveillance ont été développées dernièrement.

L'histoire du diagnostic de défaut et de la protection remonte à l'origine des machines elles-mêmes. Les fabricants et les utilisateurs des machines électriques ont initialement mis en œuvre une protection simple telle que la surintensité, la surtension et la protection contre les défauts à la terre, etc. pour assurer un fonctionnement sûr et fiable. Pendant que les tâches accomplies par ces machines devenaient de plus en plus complexes, des améliorations ont été également cherchées dans le domaine du diagnostic de défaut. Dans certaine application, il est maintenant devenu très important de diagnostiquer des défauts dès leur naissance ; parce qu'une panne dans l'un des corps constitutifs de la machine peut arrêter tout le processus de production, ce qui cause des pertes financières lourdes. Dans le domaine nucléaire, par exemple, il est essentiel d'assurer la sécurité des personnes et du matériel parce qu'aucun système, qu'il soit simple ou complexe, n'est à l'abri d'un dysfonctionnement [IBR09].

De façon générale, dans un moteur asynchrone peut se développer un défaut interne ou un défaut externe. En se référant à l'origine, un défaut peut être mécanique ou électrique. Il peut être classifié comme un défaut statorique ou rotorique et autres défauts qui sont associés aux pièces mobiles comme les roulements. Plus précisément, les défauts de la MAS peuvent se trouver aux roulements, au stator et au rotor, qui se traduisent, généralement par une vibration mécanique [BES17].

Il existe plusieurs types de techniques de détection et de diagnostic, à savoir l'analyse vibratoire, l'analyse des signatures des courants du moteur, l'analyse acoustique et thermographique, etc. Seulement, Ces méthodes sont principalement préconisées pour la détection des défauts mécaniques [KER17].

Les vibrations sont omniprésentes dans la plupart des machines électriques. Les machines tournantes vibrent pour plusieurs raisons comme : défauts d'équilibrage et d'alignement et les imperfections des paliers, les cassures partielles ou totales des barres rotoriques, les problèmes aux roulements, et l'excentricité. Généralement, les vibrations diminuent la durée de vie de l'équipement et dans les cas extrêmes peuvent endommager celui-ci ou même provoquer des défaillances catastrophiques.

La procédure de l'analyse des signatures vibratoires du moteur (ASVM ou MVSA en Anglais), consiste à détecter l'apparition d'un défaut sans démontage de la machine en prélevant l'image vibratoire à l'aide d'un capteur de vibration. Dans la plupart des cas, le traitement des signaux vibratoires s'effectue par l'analyse du contenu spectral [BES17].

Une autre technique est également utilisée de plus en plus dans ces dernières années, elle repose sur l'analyse du courant statorique ou MCSA (Motor Current Signature Analysis). Sa particularité réside dans le fait que le courant statorique comporte des informations sur quasiment tous les défauts qui peuvent apparaître au niveau du moteur asynchrone. L'analyse des courants statoriques dans le domaine fréquentiel reste la méthode la plus couramment utilisée surtout pour les régimes stationnaires, car le spectre résultant contient une source de renseignements sur la majorité des défauts électriques et mécaniques pouvant apparaître au sein d'une machine asynchrone.

Ce travail est structuré dans trois chapitres qui sont agencés de la manière suivante :

Le premier chapitre se concentre fondamentalement à un état de l'art du domaine de diagnostic des défauts dans la machine asynchrone MAS.

Le deuxième chapitre présente les méthodes d'analyse utilisées dans ce travail qui sont MCSA-FFT et l'analyse vibratoire.

Dans le troisième chapitre, nous allons exploiter les résultats expérimentaux pour analyser les défauts de roulement en se basant sur les méthodes indiquées dans le deuxième chapitre.

Chapitre I

*Etat de l'art sur le diagnostic des défauts
dans les machines asynchrones*

I-1 Introduction

Ce chapitre se concentre fondamentalement à l'état de l'art du domaine du diagnostic des défauts dans la machine asynchrone MAS. Premièrement, nous allons définir la machine asynchrone avec ses constitutions et son principe de fonctionnement. En plus, on va présenter les défauts dans les machines asynchrone avec les différentes méthodes de diagnostic.

I-2 Définition

Les moteurs asynchrones triphasés représentent plus de 80 % du parc moteur électrique, ils sont utilisés pour transformer l'énergie électrique en énergie mécanique grâce à des phénomènes électromagnétique.

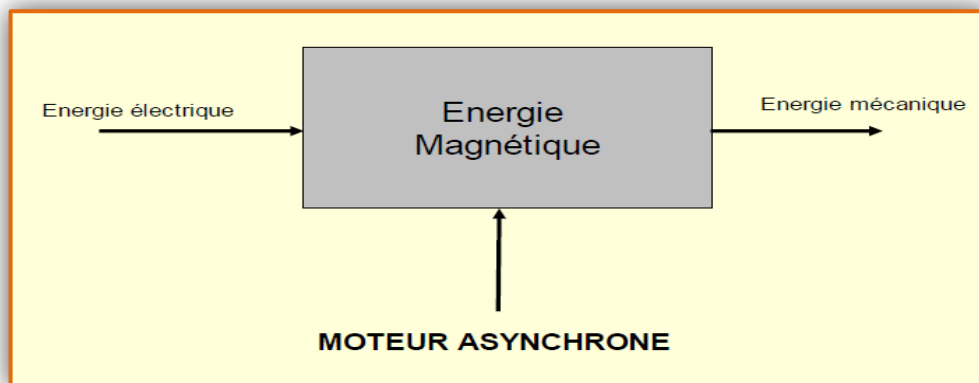


Figure I.1. Schéma de principe de la conversion d'énergie.

I-3 Constitution des machines asynchrones

La machine asynchrone, souvent appelée moteur à induction comprend deux parties : le stator (fixe) et rotor (tournant), constitués de tôles d'acier au silicium et comportant des encoches dans lesquelles on place les enroulements. Le stator est fixe on y trouve les enroulements reliés à la source. Le rotor est monté sur un axe de rotation. Selon que les enroulements du rotor sont accessibles de l'extérieur ou sont fermés sur eux mêmes en permanence [CHE12].

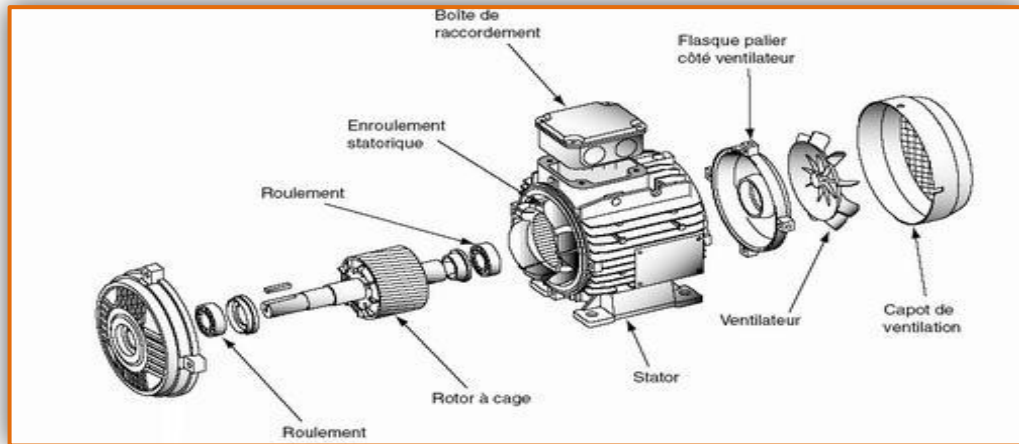


Figure I.2. Constitution typique d'une machine asynchrone triphasée.

I-3-1 Stator

Le circuit magnétique du stator est réalisé par un assemblage de tôles ferromagnétiques fines et découpées, faisant apparaître les différentes encoches statoriques. L'utilisation des tôles minces permet de minimiser les pertes dans le circuit magnétique. De plus, afin de limiter l'effet des courants de Foucault, on isole habituellement les tôles d'une mince couche de vernis ou de silicate de soude. Le feuilletage du circuit magnétique réduit les pertes par cycle d'Hystérésis et par courants de Foucault. Les tôles sont munies d'encoches dans lesquelles prennent place les enroulements statoriques destinés à produire le champ tournant. Chaque enroulement est constitué de plusieurs bobines. Le mode de couplage de ces bobines entre elles définit le nombre de paires de pôles du moteur, donc la vitesse du champ tournant [HAL15], [BEN12].

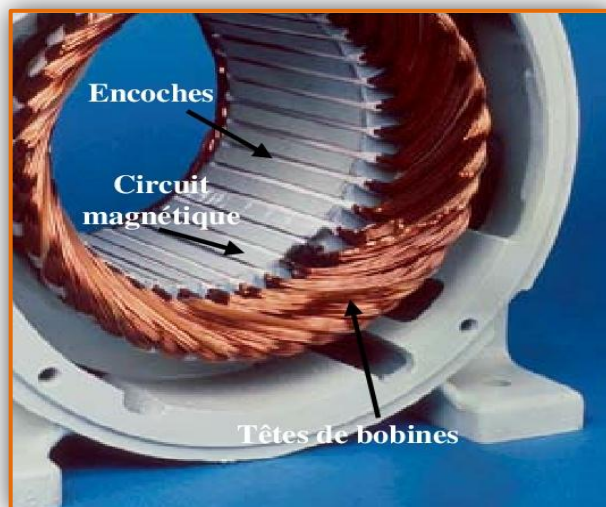


Figure I.3. Photo du stator d'une machine asynchrone.

I-3-2 Rotor

Le rotor présente quand à lui deux configurations dont le choix dépend de l'utilisation faite de la machine. Nous distinguons le rotor bobiné qui supporte un bobinage semblable à celui du stator où ces trois bobinages sont couplés en étoile et court-circuités sur eux même. La deuxième configuration qui est la plus usité dans l'industrie et qui est également celle utilisée au niveau des différents axes de recherche concernant la machine asynchrone est le rotor à cage d'écureuil. Les conducteurs des rotors à cage sont réalisés par coulage d'un alliage d'aluminium ou par des barres massives de cuivre préformées et frettés dans les tôles du rotor [BABA14].

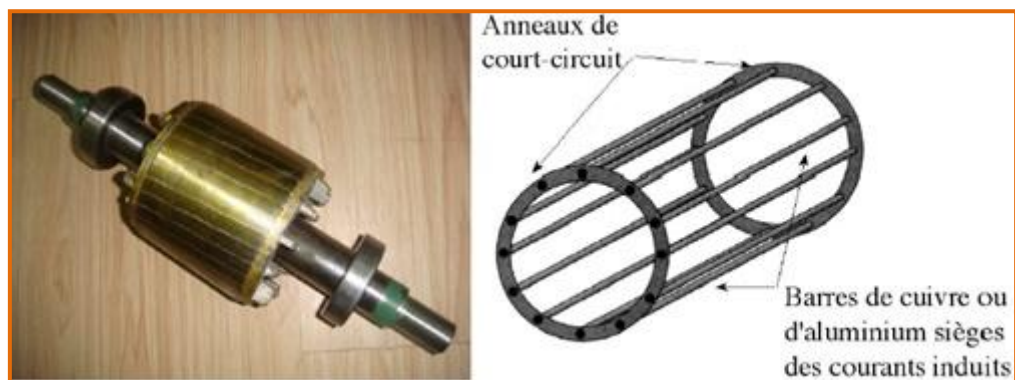


Figure I.4. Représentation du Rotor à cage.

I-4 Principe de fonctionnement d'une machine asynchrone

On dispose sur le stator trois bobines identiques réparties géométriquement à 120° l'une de l'autre. Ces trois bobines alimentées par trois tensions décalées de 120° électrique (période $=360^\circ$) issues donc d'un système triphasé, produisant un champ magnétique tournant (champ inducteur) le rotor se trouvant au centre de ce champ. Tant que le rotor a une fréquence de rotation différente que celle de champ inducteur, chaque point de rotor voit une variation de champ. Les conducteurs rotoriques produisent donc une F.E.M qui, dans le circuit fermé va donner naissance à des courants induits. Ces courants vont à leur tour produire un champ magnétique qui va s'opposer à la cause qui lui a donné naissance. Cela se traduit concrètement par un phénomène de poursuite du rotor vis-à-vis du champ tournant sans qu'il n'arrive jamais à l'atteindre. Le rotor ne peut jamais tourner à la même vitesse que le stator (sauf dans le cas d'un entraînement mécanique extérieur) [AMM13].

Dans la MAS, l'onde du champ tournant se déplace dans l'entrefer de la machine avec une vitesse de rotation nommée vitesse de synchronisme Ω_s . Elle est liée à la fréquence d'alimentation f_s par l'expression suivante :

$$\Omega_s = \frac{\omega_s}{p} = 60 \times \frac{f_s}{p} \quad (\text{tr/min}) \quad (\text{I.1})$$

Ou f_s : fréquence des tensions triphasées du réseau d'alimentation [Hz].

p : le nombre de paires de pôles.

Un rotor en court-circuit, balayé par ce champ tournant, sera traversé par des courants induits (courant de Foucault), ce qui soumet ce dernier à des forces électromagnétiques de Laplace. L'ensemble de ces forces crée un couple moteur qui mettra le rotor en rotation (voir figure I.5), le rotor tourne dans le même sens que le champ tournant, sa vitesse de rotation est légèrement inférieure à celle du champ tournant ($\Omega < \Omega_s$) [LAA16].

En effet, Il existe donc toujours une différence de vitesse entre le stator et le rotor .cette différence s'appelle le glissement (g) qui est une caractéristique particulière de la MAS. Il est défini comme étant l'écart de vitesse entre la vitesse de synchronisme (Ω_s) et la vitesse de rotation du rotor (Ω). Le glissement (g) est alors donné par [BABE18] :

$$g = \frac{\Omega_s - \Omega}{\Omega_s} \quad (\text{I.2})$$



Figure I.5. Principe de fonctionnement d'un moteur asynchrone triphasé à cage.

I-5 Défauts de la machine asynchrone

Une étude conduite pour a établi une statistique des différents défauts pouvant se produire sur une machine électrique [LEB06] :

Les défauts statoriques 37%, les défauts rotoriques pour presque 10 %, les défauts dans les enroulements 41% et autres pour environ 12% (voir Figure I-6).

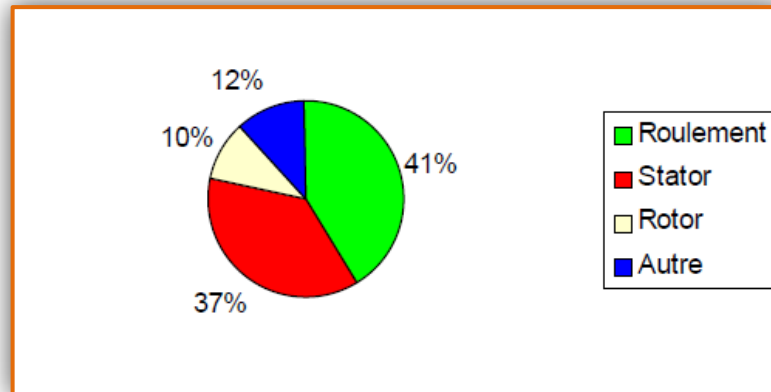


Figure I.6. Répartition des défauts.

L'étude précédente permet de classer les défauts suivant leur localisation [BES17], [HAL15].

a) Stator

- ❖ Court-circuit entre spire.
- ❖ Court-circuit entre bobine.
- ❖ Court-circuit entre phase.
- ❖ Phase à la terre.
- ❖ Ouverture d'une phase.
- ❖ Coupure d'une phase.
- ❖ Défaut du circuit magnétique (ruptures de tôles).
- ❖ Défaut de l'isolation de masse.

b) Rotor

- ❖ Rupture de barreaux (Cassures partielles ou totales des barres).
- ❖ Cassure de l'anneau de court-circuit de la cage (Cassures partielles ou totales des anneaux).
- ❖ Excentricité statique ou dynamique.
- ❖ Défaut du circuit magnétique (ruptures de tôles).

c) Roulements

- ❖ Défaut de bague extérieure.
- ❖ Défaut de bague intérieure.
- ❖ Défaut de billes.
- ❖ Défaut de cage.

I-5-1 Défauts statoriques

Même si les vibrations des conducteurs d'encoches et les divers frottements qui en résultent, suite à de grandes sollicitations de la machine, accélèrent l'usure des isolants, il reste que le facteur principal de vieillissement est l'échauffement anormal de bobinages. En effet, pour les machines fonctionnant en milieu hostile, poussière et humidité viennent se déposer pour les machines fermées entre les ailettes extérieures, et pour les machines ouvertes au niveau des têtes de bobine, affaiblissant ainsi l'isolation électrique et court-circuitant ainsi les conducteurs [BEL14].

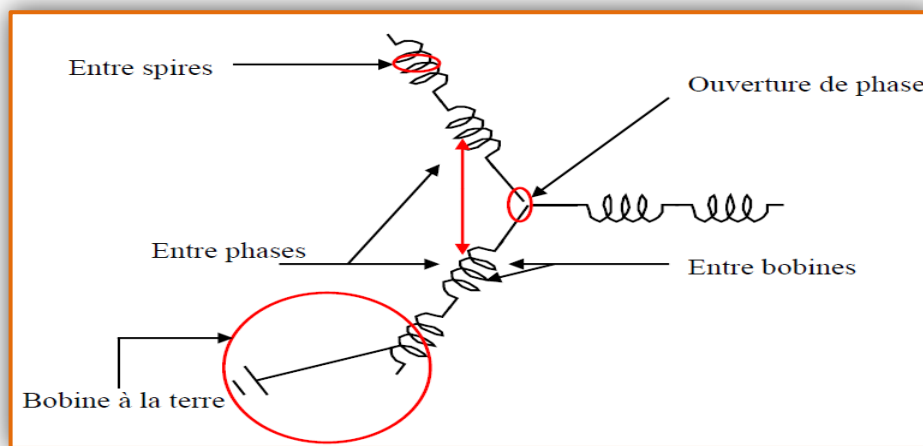


Figure I.7. Représentation des différents défauts statoriques possible.

I-5-1-1 Court-circuit enter phase

Ce défaut peut arriver en tout point du bobinage, mais les plus fréquents apparaissent dans les têtes de bobines, puisque c'est dans celles-ci que les conducteurs de phases différentes se côtoient. L'influence de ce type de défaut sur le fonctionnement de la machine dépend de la localisation du défaut (de la partie affectée) [HAL15]. L'apparition d'un court-circuit proche de l'alimentation entre phases, induirait des courants très élevés qui conduiraient à la fusion des conducteurs d'alimentation et/ou à la disjonction par les protections. D'autre part, un court-circuit proche du neutre entre deux phases engendre un déséquilibre sans provoquer la fusion des conducteurs [BABE18]. L'apparition de ce type de défaut dans le cas des machines asynchrones, provoque une augmentation des courants dans les barres ainsi que dans les anneaux du rotor à cage [HAL15].

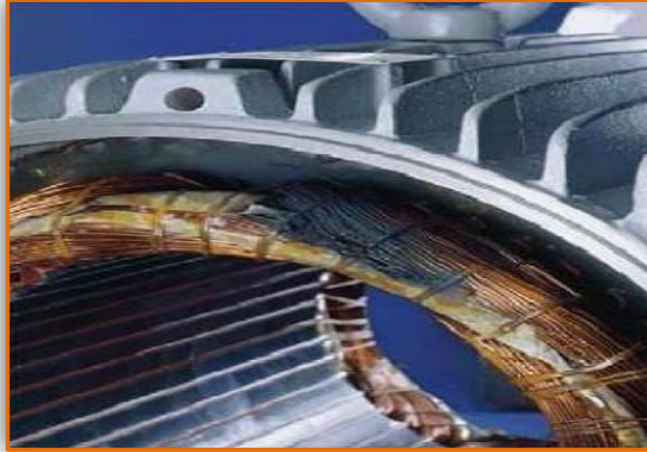


Figure I.8. Court-circuit enter phase.

I-5-1-2 Court-circuit enter spire

Un court-circuit entre spire de même phase entraîne une augmentation des courants statoriques dans la phase affectée une légère variation de l'amplitude sur les autres phases, modifie le facteur de puissance et amplifie les courants dans le circuit rotorique [BES17]. Ceci a pour conséquence une augmentation de la température au niveau du bobinage et, de ce fait, une dégradation accélérée des isolants, pouvant provoquer ainsi, un défaut en chaîne (apparition d'un 2ème court-circuit). Par contre, le couple électromagnétique moyen délivré par la machine reste sensiblement identique hormis une augmentation des oscillations proportionnelle au défaut [BABE18].



Figure I.9. Court-circuit enter spire.

I-5-1-3 Circuit ouvert sur une phase

Les conséquences d'ouverture de phase sont moins graves qu'un court circuit entre spires ou entre phases. Le courant ne peut pas circuler, et ça ne pose donc pas de problème d'échauffement pouvant détériorer le reste de bobinage. De même, un circuit ouvert ne crée pas de couple résistant lorsqu'un champ variable est appliqué à la bobine [BES17].

I-5-1-4 Défauts de circuit magnétique

Les tôles du circuit magnétique sont feuilletées et isolées entre elles, cependant elles peuvent se retrouver court-circuitées. Les causes les plus fréquentes de défaut de circuit magnétiques sont généralement liées à un défaut sévère d'excentricité statique et/ou dynamique qui peut conduire à un contact front entre le stator et le rotor ce qui détruit le circuit magnétique, ou bien court-circuit des conducteurs qui peut également provoquer un échauffement local intense dans les tôles, ainsi la projection des corps étrangers dans l'entrefer peut entraîner l'abrasion des tôles et ainsi les court-circuitées [HAL15].

I-5-1-5 Court-circuit avec le bâti (la carcasse)

Le bâti est raccordé généralement avec une masse de terre. Si le bâti n'a pas d'importance dans la sécurité, il crée les effets capacitifs ; le bâti prend alors le potentiel de l'enroulement en cas court-circuit. La sécurité des personnes est donc soumise à un danger inattendu, et les dispositifs de protection sont nécessaires (disjoncteurs de sécurité) [BES17].

I-5-2 Défauts rotorique

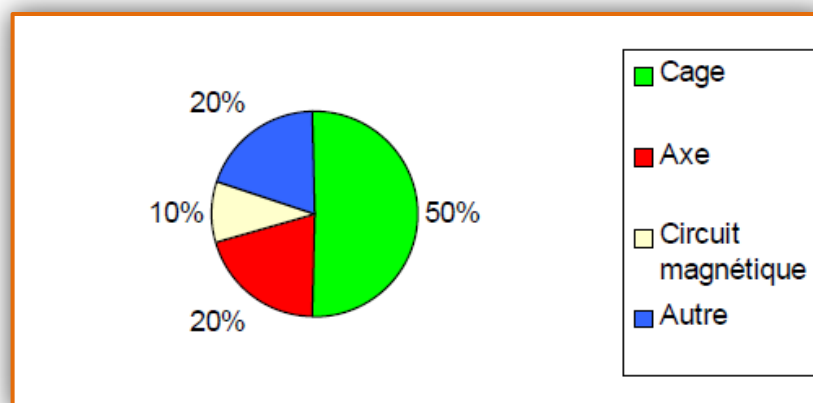


Figure I.10. Répartition des défauts rotoriques.

La Figure (I-10) permet de se rendre compte que la majorité des défauts rotor ont trait à la cage lesquels, la cassure totale ou partielle de barres ou des anneaux de court-circuit et l'excentricité statique et dynamique [RAI00], [BES17].

Plusieurs facteurs manifestent l'apparition des défaillances au niveau du rotor de la machine asynchrone, parmi eux on cite [HAL15]:

- ❖ Thermique (surcharge, ...).
- ❖ Electromagnétique (force en $B^2(t)$...).
- ❖ Dynamique (arbre de transmission, ...).

I-5-2-1 Ruptures de barres

La cassure ou rupture de barre est un des défauts les plus fréquents au rotor. Elle peut se situer soit au niveau de son encoche soit à l'extrémité qui la relie à l'anneau rotorique [BABE18]. Il s'agit d'un phénomène à évolution lente ce qui permet de poursuivre l'exploitation de la machine sans arrêt. Les ruptures de barres sont essentiellement liées à des erreurs d'exploitation (démarrage très lent non détecté, non-respect du délai de refroidissement entre démarrages successifs), ou à des défauts de fabrication (mauvaise coulée) [HAR09]. La détérioration des barres réduit la valeur moyenne du couple électromagnétique et augmente l'amplitude des oscillations, qui elles-mêmes provoquent des oscillations de la vitesse de rotation, ce qui engendre des vibrations mécaniques et donc, un fonctionnement anormal de la machine. La grande amplitude de ces oscillations accélère la détérioration de la machine. Ainsi, le couple diminue sensiblement avec le nombre de barres cassées induisant un effet cumulatif de la défaillance. L'effet d'une cassure de barre croît rapidement avec le nombre de barres cassées [HAL15], [BABE18].

I-5-2-2 Ruptures de d'anneaux

La rupture de portion d'anneau est un défaut qui apparaît aussi fréquemment que la cassure de barres. Ces ruptures sont dues soit à des bulles de coulées ou aux dilatations différentielles entre les barres et les anneaux [BES17] d'autant que les portions d'anneaux de court-circuit véhiculent des courants plus importants que ceux des barres rotoriques [HAL15]. De ce fait, un mauvais dimensionnement des anneaux, une détérioration des conditions de fonctionnement (température, humidité,...) ou une surcharge de couple et donc de courants, peuvent entraîner leur cassure [BABE18]. La rupture d'une portion d'anneau déséquilibre la répartition des courants dans les barres rotoriques et de ce fait, engendre un effet de modulation

d'amplitude sur les courants statoriques similaire à celui provoqué par la cassure de barres [BES17].

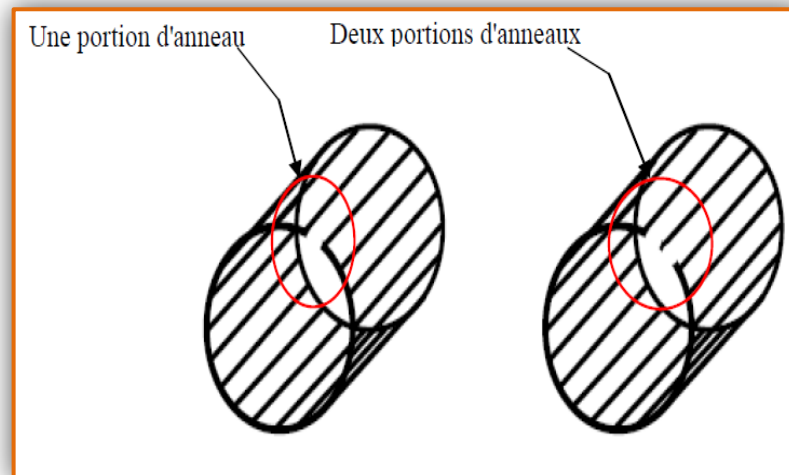


Figure I.11. Rupture d'une et deux portions adjacentes d'anneau de court-circuit.

I-5-2-3 Excentricité

L'excentricité d'une machine électrique est un phénomène qui évolue dans le temps et qui existe dès sa fabrication. La présence d'un certain niveau d'excentricité est normale dans les machines électriques. Des fabricants et utilisateurs spécifient un niveau admissible maximum de 5%, tandis que dans d'autres cas, un niveau maximum de 10% de la largeur d'entrefer est toléré [HAL15].

L'excentricité se répartie en deux catégories. Excentricité statique et excentricité dynamique. L'excentricité statique se distingue par le fait que le centre du rotor n'est pas égal à celui du stator. L'excentricité dynamique fait que le centre du rotor tourne autour du centre du stator [BEL14]. Ce défaut peut être la cause d'une flexion de l'arbre, d'un mauvais positionnement du rotor par rapport au stator, de l'usure du roulement ou encore d'un déplacement du noyau statorique [BABA14].

Celui-ci provoque la variation de l'entrefer dans le moteur, une répartition non homogène des courants dans le rotor et le déséquilibre des courants statoriques. Le déséquilibre des efforts sur les barres génère un couple global non constant. Quand l'excentricité devient du rotor, ce qui conduit à des dommages du stator et du rotor [BES17].

Trois cas d'excentricité sont généralement distingués :

- ❖ L'excentricité statique, le rotor est déplacé du centre de l'alésage stator mais tourne toujours autour de son axe [BABE18]. Dans ce type d'excentricité, la position de l'épaisseur minimale de l'entrefer est fixe dans l'espace. Elle peut être causée par l'ovalité de la partie intérieure du stator ou encore par le mauvais positionnement du rotor ou du stator durant la phase de construction. Si cependant l'assemblage entre le rotor et l'arbre est suffisamment rigide, le niveau d'excentricité statique ne change pas [BABA14] (voir figure I.12.b).
- ❖ l'excentricité dynamique, le rotor est positionné au centre de l'alésage mais ne tourne plus autour de son axe [BABE18]. Ce type d'excentricité est causé par une déformation du cylindre rotorique, une déformation du cylindre statorique ou la détérioration des roulements à billes. Elle correspond au décalage du centre de rotation du rotor par rapport au centre géométrique du stator, avec en plus, une rotation du centre du rotor autour du centre géométrique de ce stator [HAL15] (voir figure I.12.c).
- ❖ L'excentricité mixte dans laquelle l'axe du rotor tourne autour d'un axe différent de celui du stator. Elle est donc la combinaison des excentricités statique et dynamique.

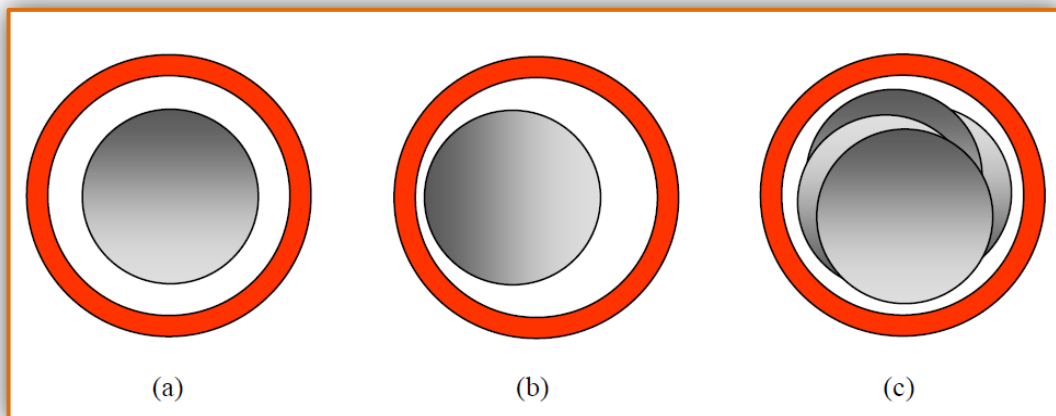


Figure I.12. Types d'excentricité: (a) rotor centré (sain); (b) excentricité statique; (c) excentricité dynamique.

✓ Cause des défauts d'excentricités

L'excentricité statique résulte soit d'une imperfection dans l'alésage du stator, soit d'un mauvais positionnement du rotor et/ ou du stator à l'assemblage. Supposant que l'arbre du rotor

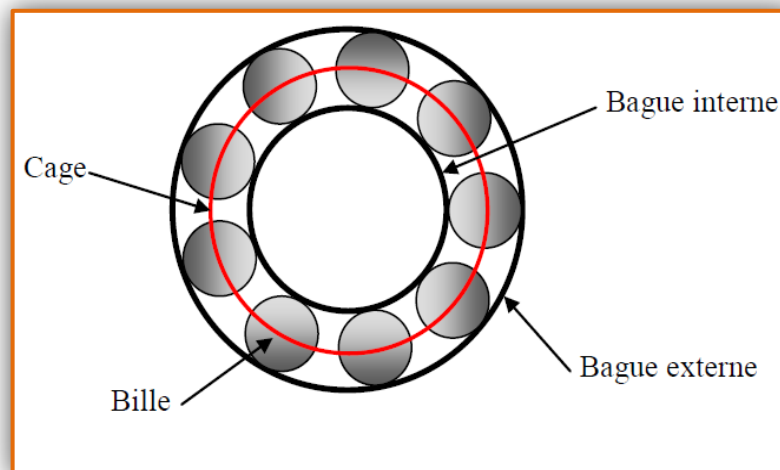
est suffisamment raide, le niveau de l'excentricité statique ne change pas. L'excentricité dynamique peut être provoquée par plusieurs facteurs, tels que des tolérances de fabrication, usure des roulements, désalignement, résonance mécanique à la vitesse critique, ou aussi à des pièces endommagés à la fabrication [BEL14].

I-5-3 Défauts du roulement

Le roulement à billes est un organe de base dans la machine asynchrone qui joue le rôle d'interface mécanique entre le stator et le rotor. En plus, il représente l'élément de maintien de l'axe de la machine permettant de garantir une bonne rotation du rotor. La majorité des machines électriques utilisent les roulements à billes ou à rouleaux. Le roulement à billes est le plus utilisé dans le monde industriel parce qu'il a le meilleur rapport performance-prix [HAL15]. Le type de roulement dans notre étude est les roulements à billes qui sont constitués de quatre éléments [BES17] :

Une bague externe, une bague interne et une rangée de billes gardées par une cage, ainsi que de la graisse pour un mouvement souple (lubrification).

La figure (I.13) montre la construction typique d'un roulement à billes.



La figure I.13. Structure d'un roulement à billes.

✓ Causes

Les roulements peuvent être endommagés par des causes externes comme [IBR09], [HAL15]:

- ❖ Contamination du roulement par des particules extérieures : poussière, grains de sable, etc.
- ❖ Corrosion engendrée par la pénétration d'eau, d'acides,
- ❖ Lubrification inadéquate qui peut causer un échauffement et l'usure du roulement.
- ❖ Mauvais alignement du rotor.
- ❖ Une température de fonctionnement élevée.
- ❖ Courant qui traverse le roulement et qui cause des arcs électriques.
- ❖ Installation inexacte du roulement ; en forçant incorrectement le roulement sur l'arbre du rotor ou dans les flasques (dû au désalignement), des entailles seront formées sur les chemins de roulement.

I-6 Causes des défauts

Les causes des défauts sont multiples. Elles peuvent être classées en trois groupes [SID16], [BEL14]:

- ❖ Groupe A: Echauffement du moteur, défaut électrique (court-circuit), problèmes mécaniques, rupture de fixations, problème d'isolation, survolage d'alimentation etc... .
- ❖ Groupe B: surcharge fréquente, vibrations mécaniques, environnement humide, alimentation perturbée (instabilité de la tension ou de la fréquence), échauffement permanent, mauvais graissage, vieillissement... .
- ❖ Groupe C: les erreurs humaines, défauts de fabrication, défektivité des composants, protections inadaptées, mauvais dimensionnement de la machine.

I-7 Conséquences des défauts

Les défauts qui surviennent sur les machines asynchrones conduisent à de multiples problèmes qui affectent la rentabilité de l'installation globale, et qui peuvent aller jusqu'à l'arrêt total. On cite parmi les conséquences des défauts [BES07]:

- a- Fluctuations au niveau du couple et de la vitesse.
- b- Appel supplémentaire de courant.
- c- Déséquilibre au niveau de la tension et du courant de ligne.
- d- Augmentations des arrêts non programmés, des pertes de production, et par conséquent, du rendement global.

I-8 Techniques de diagnostic

I-8-1 Analyse des courants

Les méthodes basées sur l'examen du courant statorique sont désignées sous le nom de "Analyse des Signatures des Courants du Moteur (ASCM)" qui a l'abréviation en Anglais (MCSA) qui signifie "Motor Current Signature Analysis". Cette méthode consiste à détecter les défauts par l'étude de certains composants fréquentiels ou par la vérification de la variation de certains des composants déjà existant. Cette méthode est très utilisée car elle est simple, peu coûteuse et la partie expérimentale est facile à exécuter. Elle est très populaire dans la détection des défauts statoriques et plus particulièrement des défauts de court-circuit entre spires de l'enroulement statorique [BABA14].

I-8-2 Analyse du couple électromagnétique

Permet la détection de défauts lors de la mise en service ou en fonctionnement. Cette méthode peut détecter des barres de rotor cassées et des courts-circuits au stator. La forme du couple électromagnétique peut être utilisée pour distinguer des déséquilibres engendrés par des barres de rotor cassées ou des enroulements stator défaillants. Le couple électromagnétique peut être soit mesuré, soit estimé par le biais d'observateur d'état par exemple [LEB06].

I-8-3 Analyse des flux

La conversion électromécanique de l'énergie est localisée dans l'entrefer. Cette conversion peut être affectée par tout déséquilibre de type magnétique, électrique ou électromagnétique au niveau du rotor ou du stator. Le flux d'entrefer, le flux embrassé par les enroulements statoriques ou encore le flux de fuite dans l'axe du rotor sont des paramètres qui, à cause de leur sensibilité à tout déséquilibre de la machine, méritent d'être analysés [BES07].

Par exemple, le flux axial est toujours présent dans les machines électriques à cause des dissymétries inhérentes à leur fabrication. L'étude des variations de ce flux est donc considérée par beaucoup d'auteurs comme une solution pour détecter et localiser un défaut [BABA14].

Une méthode dans la référence utilise le flux pour la détection des barres cassées, il place des spires d'une part sur l'enveloppe extérieure du moteur pour mesurer l'étendue du flux de fuite des têtes de bobine et d'autre part de l'arbre du rotor pour mesurer le niveau du flux axial. Il montre ensuite les spectres mesurés à partir des signaux issus de ce dernier type de capteur dans le cas d'un moteur sain et dans celui où une des barres du rotor est cassée [BES07].

I-8-4 Analyse de la vitesse

Détecte les défaillances en mesurant les fluctuations dans la période de rotation du moteur. Cette méthode est particulièrement utile pour détecter les défauts au rotor, les vibrations, l'excentricité, l'asymétrie du rotor, des roulements défaillants et des désalignements d'arbre. Cependant, la machine fonctionnant généralement à vitesse et couple de charge variables, les instruments de mesure doivent être capables de distinguer les variations de vitesse dues au couple de charge et celles dues à des défauts au rotor [LEB06].

I-8-5 Analyse chimique

La plus part des moteurs sont refroidis par l'air, ou le plus souvent à l'aide d'un circuit fermé avec échangeur de chaleur refroidi à l'eau, la dégradation de l'isolation électrique dans le moteur produit le gaz d'oxyde de carbone qui apparaît dans le circuit de l'air de refroidissement et qui peut être détecté par une technique d'absorption infrarouge. Dans certains cas, l'huile de roulement est analysée régulièrement, et l'intervention est requise si les produits indiquant la dégradation sont présents [BES07].

I-8-6 Analyse des signaux vibratoires et acoustiques

L'analyse des défaillances des moteurs électriques par les signaux vibratoires et acoustiques permet une détection de quasiment tous les défauts, notamment ceux mécaniques, pouvant se produire sur le processus. Cette analyse peut être réalisée à partir de capteurs, généralement des accéléromètres, placés sur les paliers dans les directions verticales, axiales et radiales.

Pour surveiller l'état des roulements, des recherches utilisent un capteur laser pour lire directement les déplacements causés par les défauts de roulement. Dans ces méthodes, il faut que le capteur de déplacement laser soit placé sur la surface d'appui, ce qui n'est généralement pas facile à mettre en œuvre [KERR17].

I-9 Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons présenté une étude bibliographique sur le diagnostic des défauts dans la machine asynchrone MAS. Tout d'abord, nous avons donné la définition de la machine asynchrone avec son principe de fonctionnement. En suite, nous avons montré les défauts des machines asynchrone, les causes et les conséquences de défauts.

Finalemment, nous avons mentionné les techniques de diagnostic des défauts, tel que l'analyse de flux, l'analyse du courant, l'analyse du couple électromagnétique ... etc.

Chapitre II

Aperçu sur les méthodes de diagnostic

(MCSA et MVSA)

II-1 Introduction

Aujourd'hui, l'utilisation des technologies avancées d'intégration des méthodes de traitement du signal occupe une place importante pour un faire le diagnostic des défauts dans les machines électriques tournantes est largement diffusées.

Ce chapitre présente des méthodes de diagnostic d'analyse plus efficaces comme l'analyse du courant et l'analyse vibratoire.

II-2 Méthode de MCSA

La méthode est basée sur l'examen du courant statorique et parce qu'il est facilement accessible, et vu sa capacité de détecter aussi bien les défauts électromagnétiques que mécaniques, l'analyse du courant statorique occupe une place privilégiée dans le diagnostic par analyse des signaux. Cette technique est connue sous l'abréviation MCSA (Motor Current Signature Analysis).

La MCSA était l'objet de plusieurs travaux de recherche, elle consiste à affecter à chaque défaut une signature spectrale le caractérisant. Dans le même contexte, il a été démontré que la sévérité du défaut est fonction de l'amplitude des composantes fréquentielles qu'il génère, et notamment, des raies déjà présentes dans le moteur sain (harmoniques d'espace) [KERR17]. Les défauts de la machine asynchrone se traduisent dans le spectre du courant statorique par:

- ❖ L'apparition des raies spectrales dont les fréquences sont directement liées à la fréquence de rotation de la machine, aux paramètres physiques de la machine (nombre de barres rotoriques et nombre des paires de pôles).
- ❖ La modification de l'amplitude des raies spectrales, déjà présents dans le spectre du courant. La surveillance via le courant statorique, nécessite une bonne connaissance des défauts et de leurs signatures. Elles sont utilisées pour le moment dans le contexte de machines alimentées par le réseau et pour la recherche de fréquences caractéristiques de défauts [BES17].

Nous distinguons un grand nombre de travaux basés sur l'analyse de courant statorique, aussi bien que cette analyse est appliquée dans différents défauts. Les signatures des courants statoriques sont utilisées pour la détection des cassures de barres, on distingue aussi pour la détection de défaut d'excentricité [KERR17].

Les points de mesures des différents signaux (courant, flux, vibrations,..) à l'aide d'une variété des appareils sont illustrés par la figure (II-1).

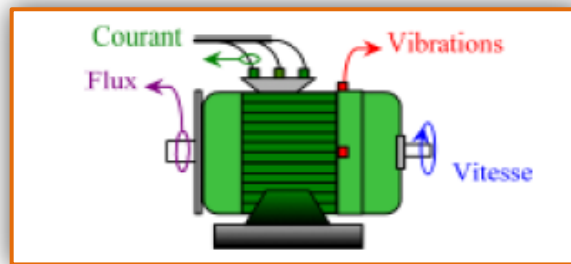


Figure II.1. Les différents points de mesure.

L'analyse d'un signal donc est une source d'informations. En effet, la mesure d'un signal indique des oscillations qui peuvent être harmoniques, de nature stochastique ou les deux simultanément. La variation de ces signaux peut être reliée aux défauts. Pour extraire les caractéristiques d'un signal relatif à un défaut, généralement, on extrait l'amplitude ou les densités d'amplitude. Il existe toutefois d'autres possibilités qui consistent à déterminer les fonctions d'auto corrélation, les transformées de Fourier ou la densité spectrale [BES07].

II-3 Transformée de Fourier

En 1807, la transformation de Fourier a vu le jour, l'analyse de Fourier est une base majeure de la physique et des mathématiques. Elle est indissociable du traitement du signal, et ce pour deux raisons principales. La première est l'universalité du concept de fréquence sur lequel elle repose. La seconde tient à la structure même de l'analyse de Fourier qui se prête aisément à des transformations communes comme le filtrage linéaire en les traduisant de manière particulièrement simple.

Le principe de la transformée de Fourier repose sur le fait que toute fonction périodique peut être représentée comme la somme d'une série de sinus et de cosinus dont on fait varier d'une part les amplitudes en les multipliant par des coefficients, et d'autre part les phases en les décalant de manière à ce qu'elles s'additionnent ou se compensent [KERF16].

$$x(f) = \int_{-\infty}^{+\infty} x(t) \cdot \mathcal{L}^{-j 2\pi f \cdot t} dt \quad (\text{II.1})$$

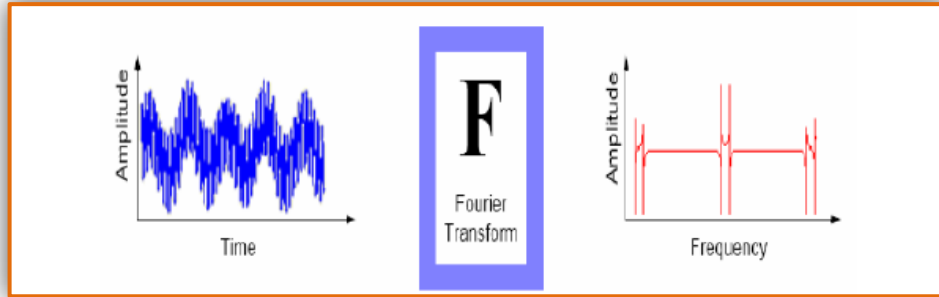
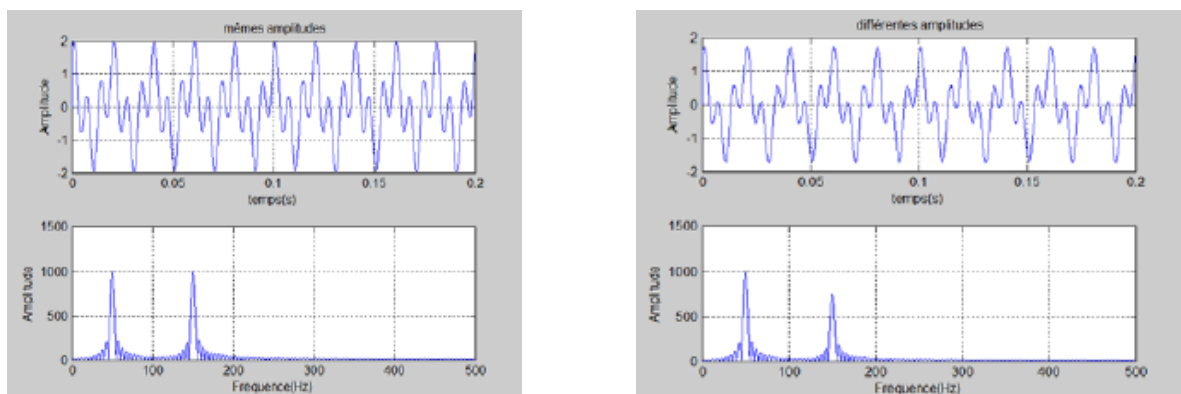


Figure II.2. Principe de la Transformée de Fourier.

II-3-1 Transformée de Fourier rapide (FFT)

La transformée de Fourier rapide, est une technique mathématique de calcul rapide élaborée en 1965 par J. W. Cooley et J. W. Tuckey. La FFT permet de ramener le calcul de la transformée de Fourier discrète de N^2 à $N \cdot \log(N)$ opérations. Cette réduction de la complexité de calcul a suffi à faire passer facilement résolubles de nombreux problèmes liés à l'analyse spectrale. Pour une meilleure visualisation d'une analyse fréquentielle, la FFT est utilisée au travers d'une fenêtre glissante d'observation [BAZ16]. Malgré l'introduction et les succès de la transformée de Fourier rapide (FFT), est donc par définition peu adaptée à l'étude des signaux non-stationnaires. Hors, ces signaux se rencontrent beaucoup plus souvent que les signaux stationnaires [KERR17].

Le premier exemple sur un signal stationnaire est composé d'une somme de deux sinusoides de fréquences (50 et 150 Hertz) de même amplitude, dont FFT voir figure (II.3.a), et d'amplitude différente, dont FFT voir figure (II.3.b). On constate qu'avec l'analyse de Fourier, les deux signaux sont identiques en raies spectrales et bien sûr les amplitudes diffèrent.

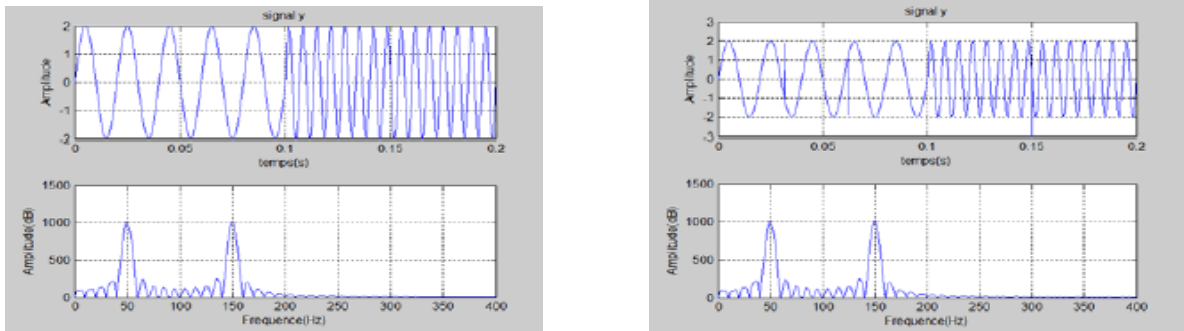


(a) : mêmes amplitudes.

(b) : amplitudes différents

Figure II.3. Représentation temporelle et fréquentielle somme de deux sinusoides.

Le deuxième exemple sur un signal non stationnaire, l'allure fréquentielle se change dans le temps, en passant d'une sinusoïde de 50Hz à une autre de 150Hz avec le même amplitude. On remarque que l'analyse en fréquence est incapable de donner l'information sur la localisation temporelle du changement de régime dans le signal de la figure (II.4). On le constate aussi que dans la figure (II.4.b) une impulsion est ajoutée par rapport à la figure (II.4.a), mais sans aucun impact sur la FFT [BAZ16].



(a) : succession de deux sinusoïdes.

(b) : succession de deux sinusoïdes +impulsions

Figure II.4. Perte de localisation temporelle.

II-4 Techniques d'analyse

La surveillance d'un équipement de machine est assurée en relevant périodiquement un indicateur d'état de dégradation ou de performance, il existe différentes techniques d'analyse figure (II.5) tels que l'analyse vibratoire, l'émission acoustique, la thermographie, l'analyse des huiles et des lubrifiants, la variation de résistance dans un circuit électrique, etc... [LAR18].

Le choix de l'indicateur dépend du type de machine à étudier et du type de défaillance que l'on souhaite détecter. Pour les machines tournantes, un indicateur de type vibratoire permet de détecter la plupart des défauts, on établit une courbe d'évolution de l'indicateur au cours du temps. Sur cette courbe, on définit différents seuils correspondant à un niveau d'alerte, à une alarme, à un niveau de défaillance, ces niveaux sont établis soit par expérience soit en appliquant une norme pour les roulements, on utilise des abaques de sévérité vibratoire pour définir les différents seuils [DJE13].

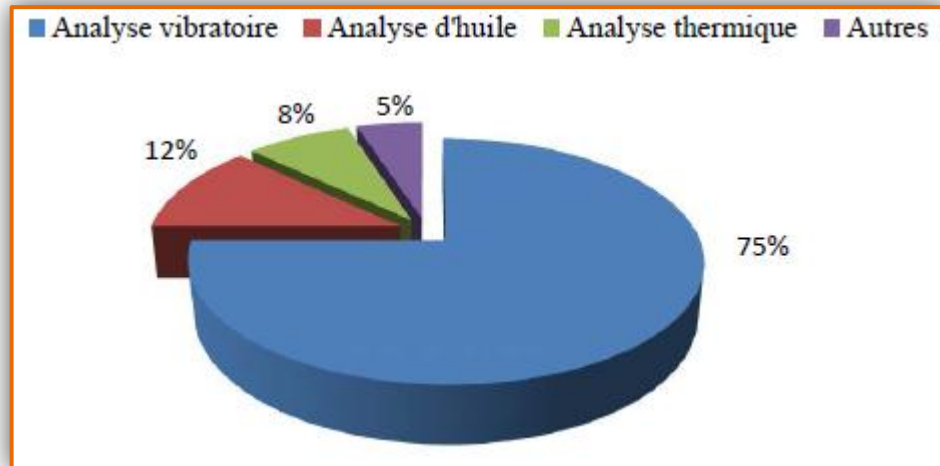


Figure II.5. Différentes méthodes d'analyse.

II-5 Analyse vibratoire

II-5-1 Définition de vibration

On désigne par vibration la variation avec le temps de l'intensité d'une grandeur caractéristique du mouvement ou de la position d'un système mécanique lorsque l'intensité est alternativement plus grande et plus petite qu'une certaine valeur moyenne ou de référence. En fait, un système mécanique est dit en vibration lorsqu'il est animé d'un mouvement de va-et-vient autour d'une position moyenne, dite position d'équilibre. Il existe de nombreux exemples, qu'ils soient artificiels ou naturels, pour lesquels on observe cette phénomène. La balançoire et le shimmy dans les roues d'une voiture sont deux cas typiques parmi tant d'autres. Les vibrations ont des formes et des comportements très variables [BOU18].

Est la plus connue et la plus largement utilisée car adaptée aux des composants mécaniques et aux machines industrielles en fonctionnement. Elle permet de détecter la majorité des défauts susceptibles d'apparaître dans les machines tournantes [LAR18].

II-5-2 Origine des vibrations

D'après la définition de la vibration, seules les forces excitatrices appliquées à une structure sont à l'origine de ses vibrations. Le transfert entre ces forces et les vibrations qu'elles engendrent est la réponse mécanique de la structure, illustrée par la Figure (II.6) [IMA15] :

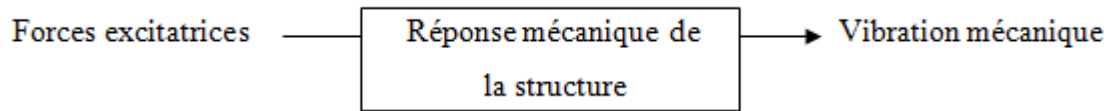


Figure II.6. Réponse mécanique de la structure du stator.

Les Vibration proviennent:

- ❖ Des jeux de fonctionnement.
- ❖ Du processus.
- ❖ Des mauvais réflages.
- ❖ Des phénomènes d' usure.

II-5-3 Objectifs d'analyse vibratoire

L'analyse vibratoire poursuit deux objectifs [DJE13] :

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

On utilise à cet effet des paramètres calculés :

- ❖ soit dans le domaine temporel.
- ❖ soit dans le domaine fréquentiel.
- ❖ soit dans les deux à la fois.

II-5-4 Principe de l'analyse vibratoire

Le principe de l'analyse vibratoire est basé sur l'idée que les structures des machines, excitées par des efforts dynamiques, donnent des signaux vibratoires dont la fréquence est identique à celle des efforts qui les ont provoqués. La mesure globale prise en un point est la somme des réponses vibratoires de la structure aux différents efforts excitateurs. On peut donc, grâce à des capteurs placés en des points particuliers, enregistrer les vibrations transmises par la structure de la machine, et par leur analyse, identifier l'origine des efforts auxquels elle est soumise. De plus, si l'on possède de la signature vibratoire de la machine en état de bon fonctionnement, on pourra, par comparaison, apprécier l'évolution de son état ou déceler l'apparition d'efforts dynamiques nouveaux consécutifs à une dégradation en cours de développement [HAM09].

II-5-5 Avantages et inconvénients [BAC17]

a. Les avantages

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

b. Les inconvénients

- ❖ Spectres parfois difficile interpréter.
- ❖ Dans le cas de la surveillance continue, installations relativement coûteuses.

II-6 Différentes formes de vibrations

On classe généralement les vibrations d'après l'évolution de la variable considérée dans le temps (périodicité). On distingue ainsi les vibrations [BOU18] :

- ❖ Harmoniques.
- ❖ Périodiques.
- ❖ Aléatoire.

II-6-1 Vibrations harmoniques

Une vibration harmonique est une vibration dont le diagramme amplitude-temps est représenté par une sinusoïde figure (II.7).

Le meilleur exemple d'une vibration harmonique est celle qui est générée par le balourd d'un rotor en mouvement [LAR18].

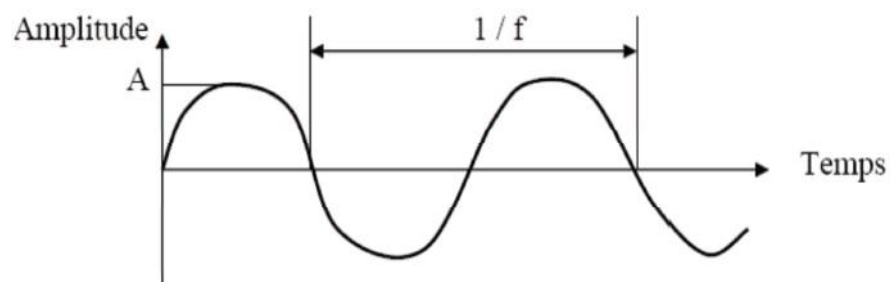


Figure II.7. Vibration harmonique.

Elle est d'écrire par l'équation :

$$X(t) = X \sin(\omega t + \varphi) \quad (\text{II.2})$$

Avec :

ω : fréquence angulaire ou pulsation du mouvement ($2\pi f$) en rad/s.

f : fréquence du mouvement en Hz.

φ : phase du mouvement par rapport à un repère dans le temps.

II-6-2 Vibrations périodiques

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

Une Vibration périodique est la composée de plusieurs Vibrations harmoniques [BER17].

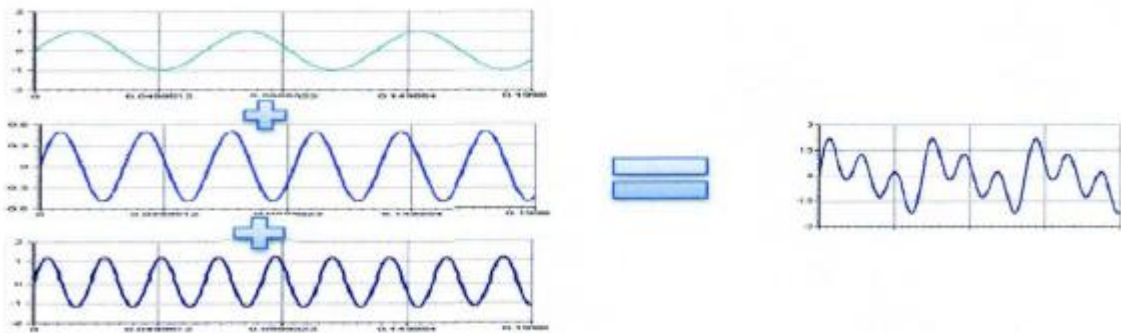


Figure II.8. Vibration périodique.

Elle est décrite par l'équation

$$v(t) = \sum_{i=1}^{\infty} v_i * \sin(\omega_i t + \varphi_i) \quad (\text{II.3})$$

II-6-3 Vibrations aléatoire

Une vibration aperiodique est telle que son comportement temporel est quelconque, c'est-à-dire que l'on n'observe jamais de reproductibilité dans le temps. C'est le cas des chocs que l'on enregistre sur un broyeur [BOU18].

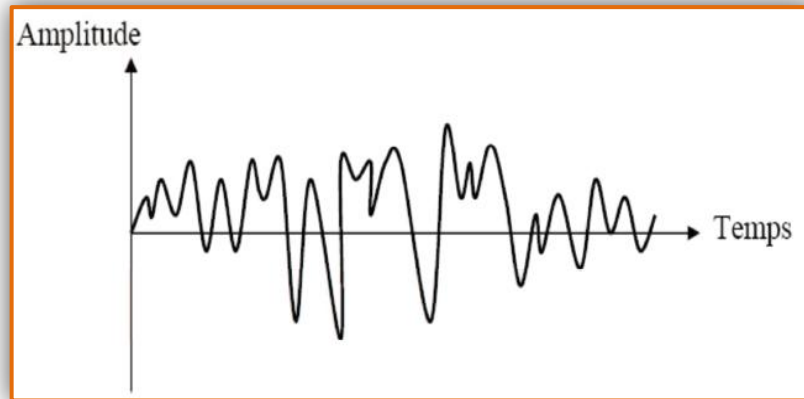


Figure II.9. Vibration aléatoire.

II-7 Caractéristiques d'une vibration

II-7-1 Fréquence

La fréquence est le nombre de fois qu'un phénomène se répète en un temps donné. Lorsque l'unité de temps choisie est la seconde, la fréquence s'exprime en hertz [Hz].

1 hertz = 1 cycle/seconde.

Une vibration qui se produira 20 fois par seconde aura donc une fréquence f de 20 hertz [BAC17].

II-7-2 Amplitude

On appelle amplitude d'une onde vibratoire la valeur de ses écarts par rapport au point d'équilibre, on peut définir :

- ❖ L'amplitude maximale par rapport point d'équilibre appelée amplitude crête (A_c) ou niveau crête.
- ❖ L'amplitude double aussi appelée l'amplitude crête à crête (A_{cc}) ou niveau crête-crête.
- ❖ L'amplitude efficace (A_{eff}) aussi appelée RMS (Root Mean Square, en anglais) au niveau efficace. Dans le cas d'une vibration de type sinusoïdal comme illustre-la (Figure II.10) [BOU18].

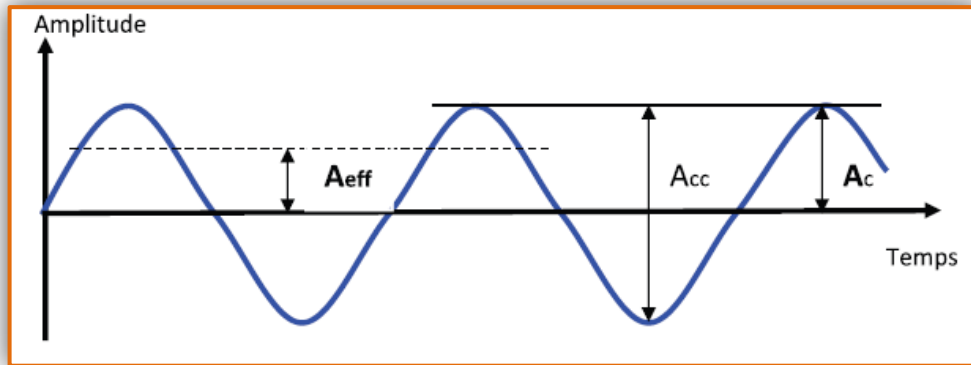


Figure II.10. Les différentes amplitudes de vibration sinusoïdale.

II-7-3 Nature d'une vibration

Une machine tournante quelconque en fonctionnement génère des vibrations que l'on peut classer de la façon suivante:

Les vibrations périodiques de type sinusoïdal simple (Figure II.11.a) ou sinusoïdal complexe (Figure II.11.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 roulements, ...).

Les vibrations périodiques de type impulsif (Figure II.11.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 impulsif (Figure II.11.d) peuvent, par exemple, être générées par un défaut de lubrification sur un roulement, la cavitation d'une pompe [LAN], [BAC17].

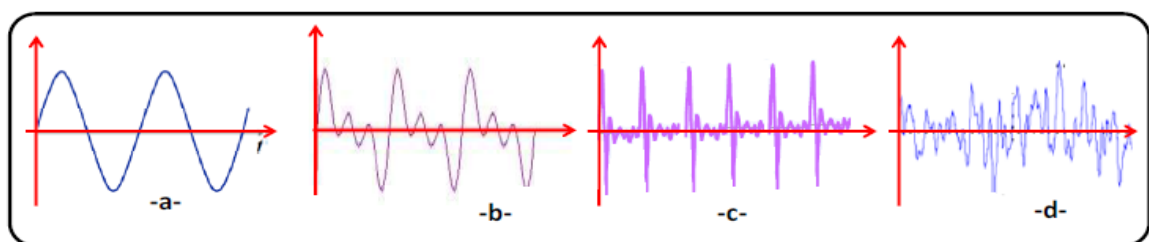


Figure II.11. Nature d'une vibration.

II-8 Modes de détection

En mesure vibratoire, on utilise couramment trois modes de détection (Figure II.8) :

- ❖ Valeur efficace.
- ❖ Valeur crête.
- ❖ Valeur crête à crête.

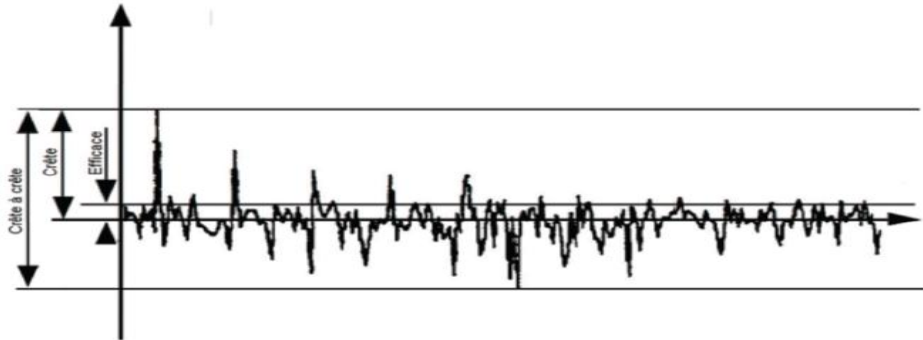


Figure II.12. Modes usuels de détection.

II-8-1 Valeur efficace X_{eff}

Pour une vibration périodique, la valeur efficace est la moyenne quadratique des valeurs efficaces de chacune des vibrations harmoniques la constituant [LAR18].

II-8-2 Valeur crête X_c

La valeur crête d'une vibration est la valeur maximale prise par la variable $x(t)$ dans l'un des sens positif ou négatif.

Dans la littérature, X_c peut également être notée X_p (peak) ou X_s (Spitze) ou encore X_t [BOU18].

II-8-3 Valeur crête à crête X_{cc}

La valeur crête à crête d'une vibration est la somme des deux valeurs crêtes pour les sens positif et négatif.

Dans la littérature, X_{cc} peut également être notée X_{pp} (peak to peak) ou X_{ss} (Spitze-Spitze) [LAR18].

II-8-4 Relations entre les différents modes de détection

Pour une vibration harmonique, à l'exclusion de toute autre vibration périodique, les relations suivantes sont vérifiées :

$$X_{eff} = \frac{X_c}{\sqrt{2}} = \frac{X_{cc}}{2\sqrt{2}} \quad (\text{II.4})$$

$$X_c = X_{eff} \cdot \sqrt{2} = \frac{X_{cc}}{2} \quad (\text{II.5})$$

$$X_{cc} = X_{eff} \cdot 2\sqrt{2} = 2X_c \quad (\text{II.6})$$

On utilisera la mesure efficace lorsqu'on cherchera à apprécier l'énergie mise en jeu dans la machine (effet de la moyenne quadratique). De l'autre côté, on utilise la mesure crête ou crête à crête pour chercher les contraintes maximales subies par la machine (effet des valeurs maximales) [BOU18].

II-9 Niveau vibratoire

Au fur et à mesure que l'état de la machine se détériore, le niveau de vibration augmente. Ce dernier peut être un indicateur efficace sur l'état de la machine. Le niveau vibratoire est le paramètre le plus significatif de l'état d'une machine tournante [HAM09].

II-10 Capteurs de vibrations

Il existe plusieurs types de capteurs pour apprécier les mouvements vibratoires. La sensibilité des capteurs représente la proportionnalité de la sortie électrique exploitable (tension, charge, courant) par rapport au paramètre de vibration (accélération, vitesse, déplacement), elle s'exprime en terme de : Sortie électrique/paramètre de vibration. Le but de ce capteur est de transformer une vibration mécanique en un signal électrique [GHE06].

II-10-1 Capteurs de déplacement

Un capteur de déplacement mesure le déplacement relatif entre l'arbre et le palier qui est dû aux vibrations. La bobine et le conditionneur intégrés forment ensemble un circuit électronique oscillant [LAR18].

Il existe en effet trois types :

- ❖ Capteurs de déplacement à courant de Foucault.
- ❖ Capteurs de déplacement capacitifs.

- ❖ Potentiomètre de position.

II-10-2 Capteur de vitesse

C'est un capteur vibratoire de faible impédance électrique, très limité dans sa gamme fréquentielle. Il est sensible au champ magnétique, la fréquence de résonance de ce type de capteurs se situe généralement entre 8 et 15 [Hz] et la gamme dynamique s'étend de 10-20 [Hz] à 2000 [Hz] environ [HAM09], [LAN].

II-10-3 Capteur d'accélération

C'est un capteur vibratoire qui est capable de mesurer les accélérations quasi statiques. La gamme fréquentielle est très large, il possède une excellente linéarité sur une très grande gamme dynamique. Etant lui-même, générateur, il est donc indépendant de toute alimentation externe. Le signal d'accélération peut être intégré électriquement pour donner le déplacement et la vitesse, c'est le meilleur capteur disponible pour la mesure de vibrations [HAM09].

II-11 Méthode de l'analyse vibratoire

Toutes machines possédant des composantes en mouvement génèrent un certain niveau de vibration quel que soit le soin apporté à leur fabrication. Le niveau de ces vibrations est le paramètre le plus significatif de l'état d'une machine tournante. Quand ce niveau change, la première manifestation physique d'une anomalie apparaîtra, causent une potentielle de dégradation et de panne. Aujourd'hui, l'emploi des technologies intégrant les méthodes avancées de traitement de signal occupe une place privilégiée pour faire un diagnostic d'un équipement mécanique. Ces caractéristiques font de la surveillance par analyse vibratoire, un outil indispensable pour une maintenance moderne, puisqu'elle permet d'améliorer la disponibilité et la sécurité par détection précoce et le suivi de la dégradation des éléments critiques, ainsi localiser l'organe défectueux sans démontage de la machine [BOU18].

II-11-1 Méthode de niveau global

Cette stratégie de surveillance consiste à mesurer, à l'aide de capteurs, le niveau global d'un ou de plusieurs indicateurs (déplacement, vitesse ou accélération), à suivre son évolution dans le temps et à le comparer à des normes ou des mesures précédentes. Certes, toute évolution est due à une dégradation de la machine. Cela permet de mettre en évidence l'existence d'une anomalie à un stade précoce et de faire une première idée des types de défauts qui affectent la machine, mais ne permet pas d'établir un diagnostic précis [LAN].

II-11-2 Analyse temporelle

L'analyse temporelle peut se faire en utilisant des descripteurs obtenus à partir d'une valeur scalaire calculée directement sur la totalité d'un signal par les méthodes statistiques. Elle peut se faire également par des méthodes plus spécifiques telles que la démodulation d'amplitude et la démodulation de phase. Ces méthodes peuvent être utilisées dans la phase de prétraitement ou dans la phase de décision [BAC17].

II-11-3 Analyse en fréquence

L'analyse en fréquence est devenue l'outil fondamental pour le traitement des signaux vibratoires. Elle s'appuie sur la transformée de Fourier qui permet le passage du domaine temporel au domaine fréquentiel. Cette représentation permet de connaître le contenu spectral d'énergie ou de puissance, présent dans le signal à la fréquence f , et donc de détecter la présence d'un défaut générant un choc périodique à une fréquence de défaut. La comparaison de cette fréquence avec celle des défauts théoriques potentiels (fréquences caractéristiques) sur le roulement permet sa localisation. Dans la pratique, on utilise la transformée de Fourier discrète rapide sur des signaux numérisés [DJE13].

II-11-4 Analyse spectrale

L'analyse spectrale consiste à relever le signal vibratoire mesuré sur la machine et de procéder à une analyse systématique pour rechercher la présence d'images vibratoires de l'ensemble des défauts susceptibles d'affecter l'installation considérée. Cela permet d'accéder au diagnostic, c'est à dire, d'identifier avec précision la nature de l'anomalie et si possible en préciser la gravité [LAN].

II-12 Conclusion

Dans ce chapitre nous avons présenté les méthodes de diagnostic suivantes : MCSA et analyse vibratoire. Tout d'abord, nous avons parlé en générale sur la méthode analyse des signatures des courants du moteur -FFT. Ensuite, nous avons donnée un aperçu et des informations sur l'analyse vibratoire tel que : définition de la vibration, objectifs d'analyse vibratoire, principe de l'analyse vibratoire, analyse du courant statorique, ...etc.

Chapitre III

*Analyse de défaut du roulement en
utilisant les méthodes : MVSA et MCSA*

III-1 Introduction

L'analyse vibratoire des machines tournantes est aujourd'hui très utilisée dans l'industrie pour diagnostiquer plusieurs défauts. L'identification du problème permet de mettre en place des actions curatives comme un réglage ou le remplacement d'une pièce défectueuse avant la panne de la machine. L'Analyse des Signatures de Vibration du Moteur électrique (ASVM) ou sous l'abréviation Anglaise MVSA (Motor Vibration Signature Analysis) est l'un des moyens utilisés pour suivre la santé des machines tournantes en fonctionnement.

Dans ce chapitre, nous allons exploiter des résultats expérimentaux pour analyser les défauts de roulement en se basant sur les méthodes de la MCSA et MVSA.

Remarque : dans cette partie et concernant les courbes de simulation, tout ce qui est en bleu représente l'état sain et tout ce qui est en rouge représente l'état défectueux.

III-2 Détection du défaut de roulement par la méthode de MVSA

Les roulements sont présents dans de nombreux types de machines électriques de tailles et d'utilisations les plus diverses. Le roulement à billes est un organe de base dans la machine asynchrone qui joue le rôle d'interface mécanique entre le stator et le rotor, il est l'un des principaux composants d'une grande majorité des organes mécaniques vitaux. Sa consommation est de l'ordre de deux milliards de roulements par année, soit 40% de la production mondiale.

Les causes de dysfonctionnement des roulements sont très nombreuses. Le plus souvent, ce sont l'écaillage, le grippage et la corrosion. Tous ces défauts ont en commun le fait, qu'ils se traduisent tôt ou tard par une perte sur le couple électromagnétique de la machine. Un petit trou au niveau de la BE ou la BI se traduit par des chocs répétés des billes sur la cage ou les chemins du roulement [BES17].

La figure (III-1) illustre une photographie d'un roulement défectueux au niveau de la bague externe. Ce roulement sera remonté dans la MAS coté charge. Il appartient à la série de 6206.



Figure III.1. Photos d'un roulement défectueux dans la BE.

Parmi les différents indicateurs physiques utilisés pour déceler les défauts de roulement pendant le fonctionnement de la machine et donnant une mesure adéquate de son état, nous avons l'analyse vibratoire (MVSA).

III-2-1 Mesure de vibration pour un défaut dans la bague externe

La figure (III.2) est montrée le signal vibratoire d'un choc dû à un défaut dans la bague externe (BE) analysé avec la transformée de Fourier rapide (FFT), ce spectre nous aide à découvrir les nouvelles harmoniques dues au défaut de la BE.

Fonctionnement en charge 75%, $g=s=0.032$.

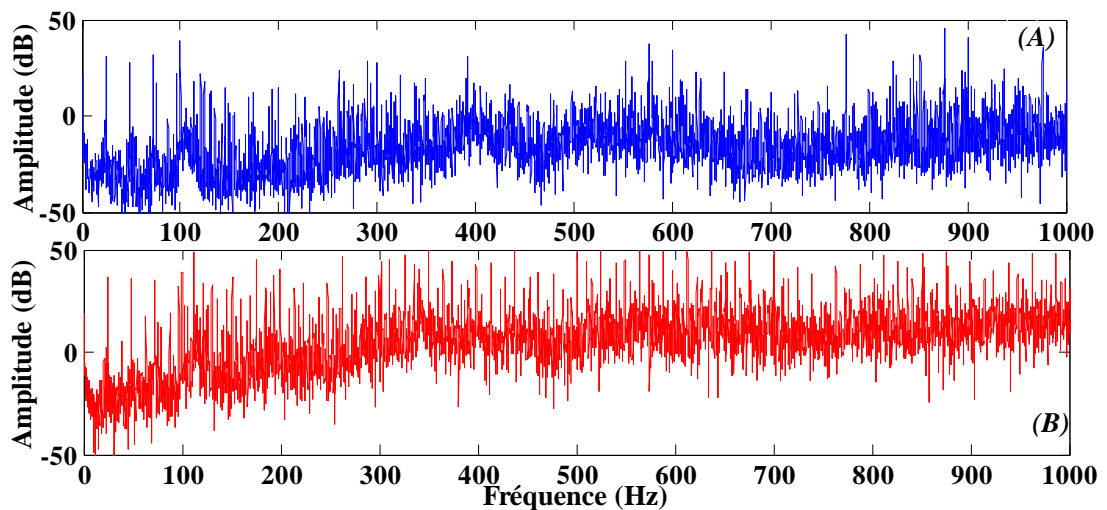


Figure III.2. Spectre d'un signal vibratoire ; (A) et (B) : 0-1000 Hz.

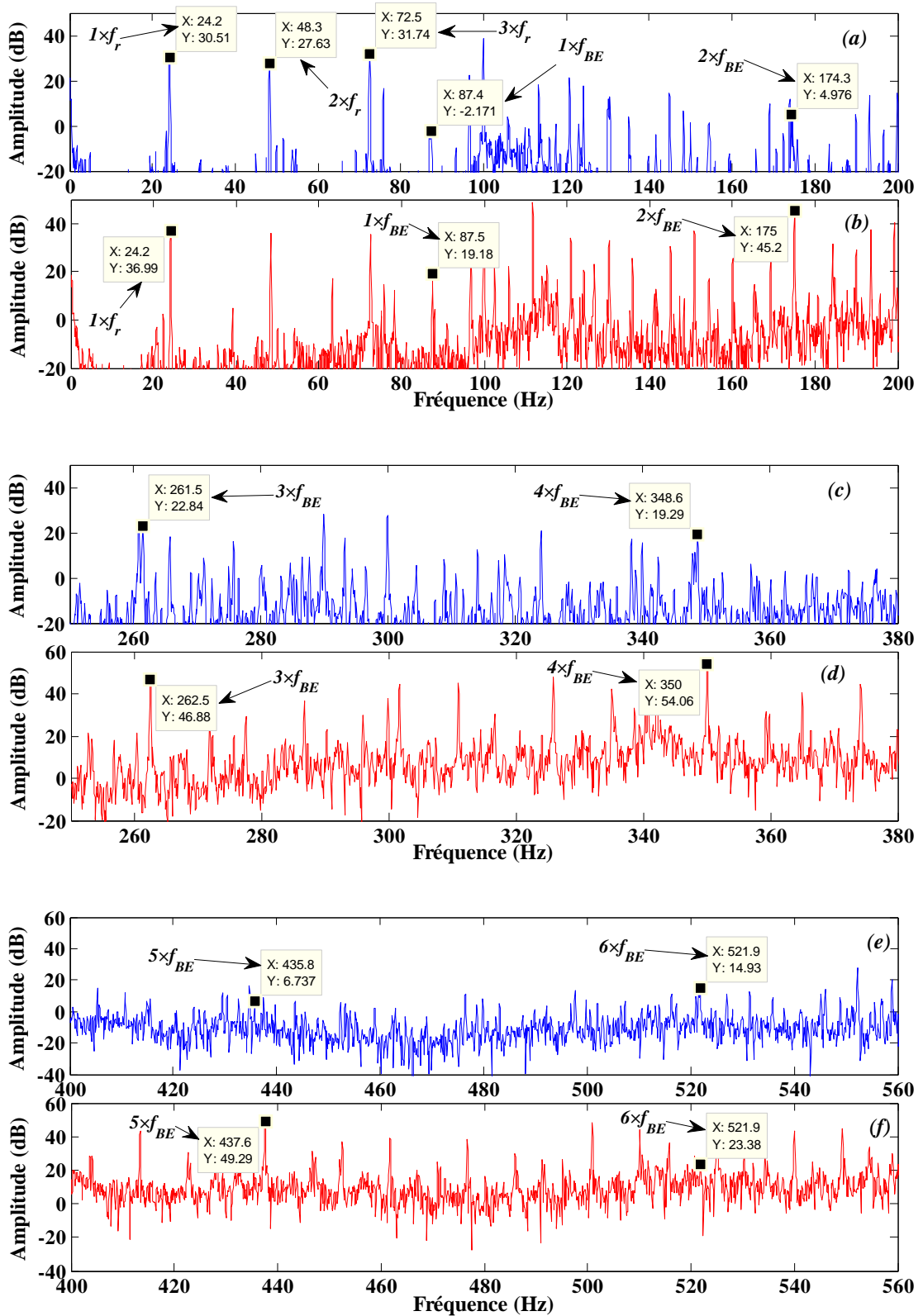


Figure III.3. Spectre d'un signal vibratoire ; (a) et (b) : 0-200 Hz, (c) et (d) : 250-380 Hz, (e) et (f) : 400-560 Hz ($BE, s=0.032$).

Afin de calculer les fréquences f_{BE} utilisant la formule suivante :

$$f_{BE} = 0.4 \times k \times N_b \times f_r \quad (III.1)$$

Est déplacé les fréquences caractéristiques obtenues: $1 \times f_{BE} = 87.12$ Hz, $2 \times f_{BE} = 174.27$ Hz, $3 \times f_{BE} = 261.36$ Hz, $4 \times f_{BE} = 348.48$ Hz, $5 \times f_{BE} = 435.6$ Hz, $6 \times f_{BE} = 522.72$ Hz... (voir le tableau III.1).

Après de faire une comparaison entre les spectres dans l'état sain et l'état défectueux nous avons conclu que c'est MAS à un défaut.

Tableau III.1 Récapitulation de quelques harmoniques théoriques et pratiques dans le spectre d'un signal vibratoire (BE, $g=0.032$, $f_r=24.2$ Hz).

Formules de fréquences (CB)	Valeurs théoriques [Hz] ($g=0.032$)	Valeurs pratiques [Hz] ($g=0.032$)	Amplitude [dB]	
			sain	BE
$1 \times f_{BE}$	87.12	87.5	-2.171	19.18
$2 \times f_{BE}$	174.27	175	4.976	45.2
$3 \times f_{BE}$	261.36	262.5	22.84	46.88
$4 \times f_{BE}$	348.48	348.6	19.29	54.06
$5 \times f_{BE}$	435.6	435.8	6.737	49.29
$6 \times f_{BE}$	522.72	521.9	14.93	23.38

III-3 Détection du défaut de roulement par la méthode de MCSA

III-3-1 Résultats expérimentaux dédiés au défaut de la bague extérieure du roulement

Le spectre du courant statoriques de la MAS, comme en absence et en présence d'un défaut est très riche en harmoniques. En effet, les fréquences présentées dans ce spectre sont principalement les raies spectrales liées à la fréquence de défaut de roulement par :

$$f_{BE-I}^{\pm} = |v f_s \pm k \times f_{BE}| \quad (III.2)$$

Nous allons analyser le contenu du spectre du courant statorique en régime permanent dans les deux états, sain et défectueux d'un défaut dans la BE.

Les figures (III.4), (III.5) et (III.6) représente le compte contenu spectral du courant statorique du MAS pour le fonctionnement en charge 100%, $s=g=0.04$.

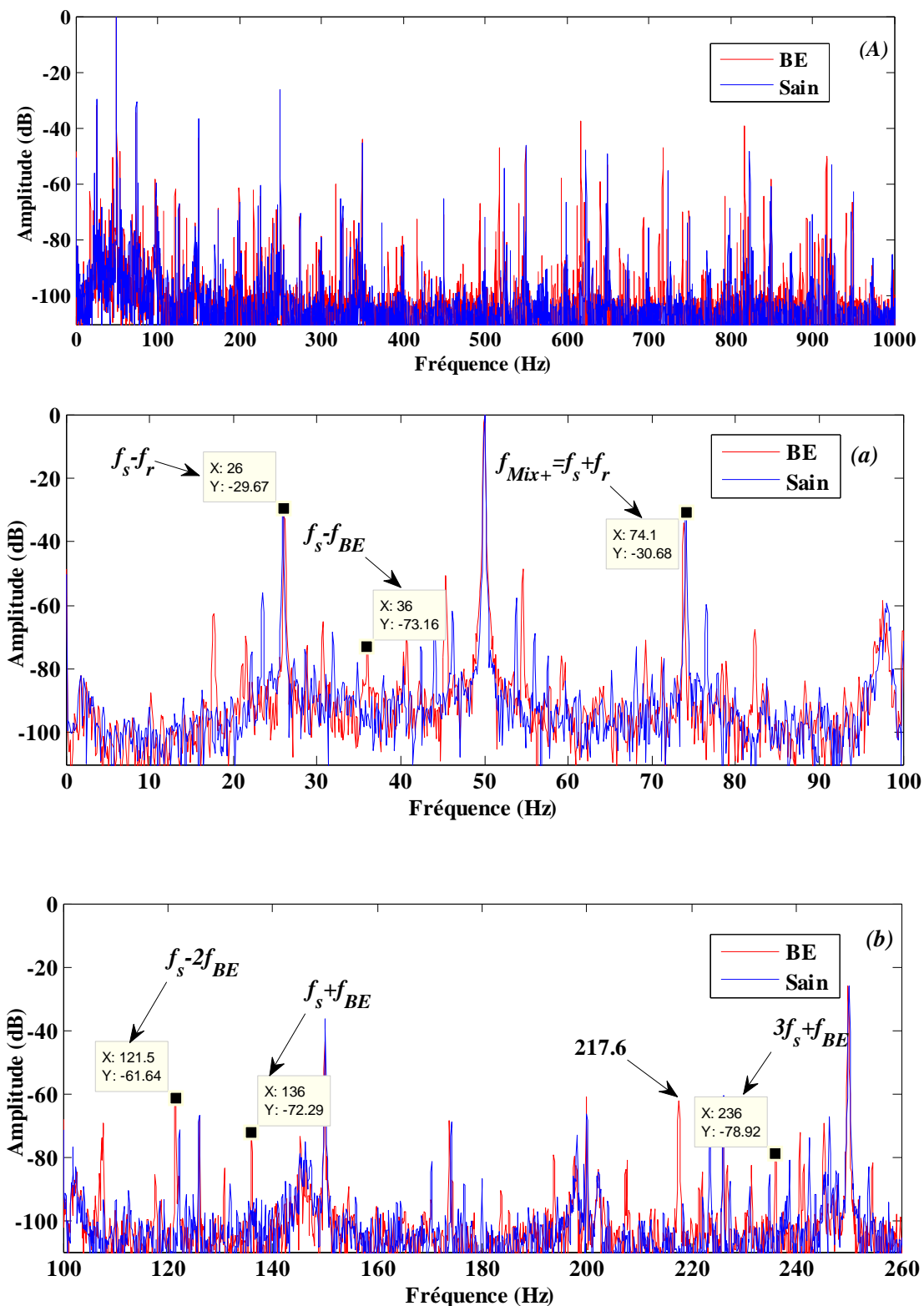


Figure III.4. Spectre du courant statorique pour différentes bandes fréquentielles (défaut de la BE, $g=0.04$, (A) : 0-1000Hz, (a) : 0-150Hz, (b) : 100-260 Hz.

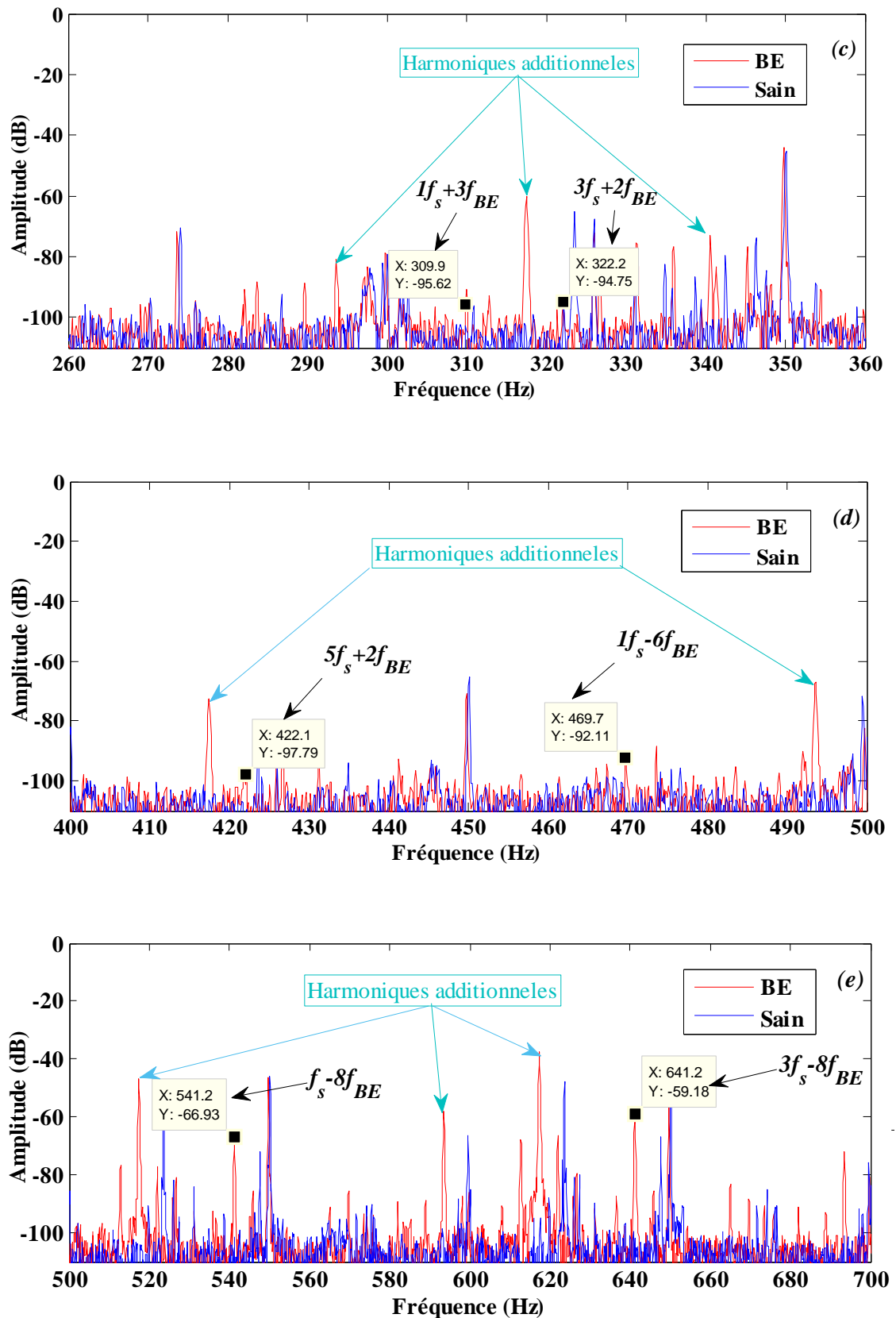


Figure III.5. Spectre du courant statorique pour différentes bandes fréquentielles (défaut de la BE, $g=0.04$, (c) : 260-360 Hz, (d) : 400-500 Hz, (e) : 500-700 Hz.

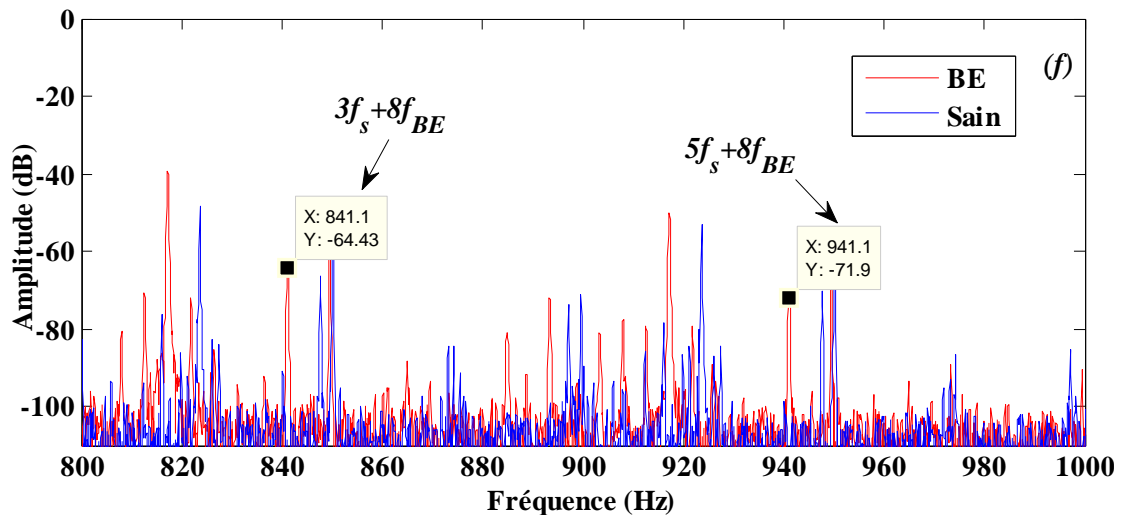


Figure III.6 Spectre du courant statorique pour différentes bandes fréquentielles défaut de la BE, $g=0.04$, (f) : 800-1000 Hz.

Il est évident que la présence d'harmoniques dus au défaut de la BE si nous portons notre attention sur le spectre du courant statorique à l'état sain ou défectueux.

D'après la figure (III.3.a), on note les fréquences caractéristiques du défaut d'excentricité mixte autour de la fondamentale : $f_s - f_r = 26$ Hz et $f_s + f_r = 74.1$ Hz.

Après de faire calculs thorique (voir le tableau III.2) utilisant la formule (III.2), on a comparé enter les spectres d'etat sain et l'etat défectueux.

En suit nous avons constaté que less harmoniques sont augmenté au niveau de l'amplitude avec l'apporence des harmoniques additionneles qui sont très déficile d'obtenir avec des calculs.

Tableau III.2 Récapitulation de quelques harmoniques théoriques et pratiques dans le spectre d'un signal vibratoire (BE, $g=0.04$, $f_r=24$ Hz).

Formule $f_{BE-l}^{\pm} = vf_s \pm k \times f_{BE} $	Valeurs théoriques [Hz] ($g=0.04$)	Valeurs pratiques [Hz] ($g=0.04$)	Amplitude [dB]
$ f_s - f_{BE} $	36.4	36	-73.16
$ f_s + f_{BE} $	136.4	136	-72.29
$ 3f_s + f_{BE} $	236.4	236	-78.92
$ f_s - 2f_{BE} $	122.8	121.5	-61.64
$ f_s + 3f_{BE} $	309.2	309.9	-95.62
$ 3f_s + 2f_{BE} $	322.8	322.2	-94.75
$ 5f_s + 2f_{BE} $	422.8	422.1	-97.79
$ f_s - 6f_{BE} $	468.4	469.7	-92.11
$ f_s - 8f_{BE} $	541.2	541.2	-66.93
$ 3f_s - 8f_{BE} $	641.2	641.2	-59.18
$ 3f_s + 8f_{BE} $	841.2	841.1	-64.43
$ 5f_s + 8f_{BE} $	941.2	941.1	-71.9

III-4 Conclusion

Dans ce chapitre nous avons appliquée deux méthodes de diagnostic. Ces méthodes ont été dédiées pour détecter le défaut de la bague externe (BE) dans la MAS en utilisant la MVSA et la MCSA.

On peut conclure ici que la méthode de la MVSA donne des bons résultats par rapport à la méthode de la MCSA pour la détection du défaut dans la bague externe du roulement de la MAS.

Conclusion générale

Conclusion générale

La machine asynchrone occupe aujourd'hui une place importante dans le monde de l'industrie grâce à son intérêt et la simplicité de sa structure du fait de ses nombreuses utilisations dans différentes applications, les machines asynchrones nécessitent une détection et rapide des défauts.

Le travail présenté dans ce mémoire s'inscrit dans le cadre du diagnostic des défauts des moteurs asynchrones à cage d'écurie. Dans cette étude, nous sommes concentrés sur le défaut de la bague extérieure du roulement.

Au début de ce travail, nous avons mené une étude généralisée sur le diagnostic des machines asynchrones et évoqué toutes les erreurs pouvant survenir lors de leur fonctionnement et les raisons qui conduisent à ces dysfonctionnements et leurs conséquences. Puis, nous avons évoqué les différentes méthodes de détection actuellement utilisées, et parmi ces méthodes nous avons mentionné la méthode d'analyse du signal. L'analyse de vibration et la méthode d'analyse du courant électrique par la transformée de Fourier rapide. Comme nous avons parlé en général sur les méthodes exploitées dans ce travail.

Ensuite, nous avons analysé le défaut dans la bague extérieure du roulement par les deux méthodes d'analyse (MVSA et MCSA). Ce travail a l'objectif de comparer entre les deux méthodes afin d'avoir une décision finale sur la meilleur méthode.

D'après cette étude, on peut conclure que la méthode de la MVSA donne des bons résultats par rapport à la méthode de la MCSA pour la détection du défaut dans la bague externe du roulement de la MAS. Nous pensons que la raison qui favorise la méthode de l'analyse vibratoire par rapport à l'analyse du courant au type du défaut. C'est-à-dire, un défaut mécanique peut le détecter facilement par une méthode qui a l'analyse du signal mécanique et pas électrique.

Bibliographie

- [AMM13] Ammar Kamal, MELLAL Makhlouf, "Dimensionnement d'un moteur Asynchrone triphasé à cage d'écureuil", Diplôme d'ingénieur, Université Mouloud Mammeri de Tizi-Ouzou, 2013.
- [BABA14] Babaa Fatima, Contribution à la modélisation et à la commande de la machine asynchrone : "Application au diagnostic des défauts statoriques", Thèse de Doctorat, Université Constantine 1, 2014.
- [BABE18] Babeche Yacine, Bouras Samir, "Diagnostic des machines électriques par la méthode des éléments finis", Diplôme de Master, Université Mohamed Boudiaf – M'sila, 2018.
- [BAC17] Bachouche Hassina, Azzi Ouahiba, "Analyse des signaux vibratoires par la transformée en ondelette", Mémoire de Master, Université Akli M'hand Oulhadj – Bouira, 2017.
- [BAZ16] BAZI Smail, "Contribution à la Détection et au Diagnostic des Défauts dans un Système Machine à Induction-Convertisseur", Thèse de Doctorat, Université de Batna 2, 2016.
- [BEL14] Belhamdi Saad, "Diagnostic Des Défauts De La Machine Asynchrone Contrôlée Par Différentes Techniques De Commande", Thèse de Doctorat, Université Mohamed Khider – Biskra, 2014.
- [BEN12] Benamrouche Nacereddine, "Identification Des Paramètres Electriques De La Machine asynchrone A Cage D'écureuil", Diplôme de Master, Université Mouloud Mammeri de Tizi-Ouzou, 2012.
- [BER17] Berkous Hafid, "Détection Des Défauts D'engrenage Par Analyse Vibratoire", Diplôme de Master, Université Badji Mokhtar Annaba, 2017.
- [BES07] Bessous Nouredine, "Contribution au diagnostic des machines asynchrones", Magister en électrotechnique, option: machines électriques, Université de Mentouri Constantine, Algérie, 2007.
- [BES17] Bessous Nouredine, "Contribution au Diagnostic des Défauts dans les Machines Asynchrones : Comparaison entre l'Analyse Vibratoire et l'Analyse du Courant d'Alimentation", Thèse de Doctorat, Université Mohamed Khider – Biskra, 2017.

- [BOU18] Boumaila Ahmed Dhia Eddine, " Diagnostic des défauts d'un ventilateur M14A par analyse vibratoire au niveau de l'unité SIDER TSS", Diplôme de Master, Université Badji Mokhtar Annaba, 2018.
- [CHE12] Chermat Badreddine, "Diagnostic des défauts de MAS par les méthodes paramétriques de traitement du signal", Diplôme de Master, Université Mohamed Khider – Biskra, 2012.
- [DJE13] Djebili Omar, " Contribution à la maintenance prédictive par analyse vibratoire des composants mécaniques tournants. Application aux butées à billes soumises à la fatigue de contact de roulement", Thèse de Doctorat, Université De Reims Champagne Ardenne, 2013.
- [GHE06] Ghemari Zine, "Modélisation Et Simulation D'un Capteur De Vibration (Accéléromètre)", Diplôme de Magister, Université Badji Mokhtar Annaba, 2006.
- [HAL15] Halem Noura, " Modélisation des Machines Asynchrones Triphasées à Cage en Vue du Diagnostic par la Méthode des Eléments Finis", Thèse de Doctorat, Université Mohamed Khider – Biskra, 2015.
- [HAM09] Hamdidi Naima, Boucherk Kahina, "Traitement des signaux vibratoires : Application au diagnostic des défaillances", Diplôme d'ingénieur, Université Mouloud Mammeri de Tizi-Ouzou, 2009.
- [HAR09] Harir Miloud, " Etude des Défauts dans La Machine Asynchrone à Cage d'Ecureuil par l'Emploi de la Fonction d'Enroulement Modifiée", Diplôme d'ingénieur, Université des Sciences et de la Technologie d'Oran Mohamed Boudiaf, 2009.
- [IBR09] Ali Ibrahim, "Contribution au diagnostic de machines électromécaniques : Exploitation des signaux électriques et de la vitesse instantanée", Thèse de Doctorat, laboratoire d'Analyse des Signaux et des Processus Industriels, Université Jean Monnet, Saint Etienne, 2009.
- [IMA15] Imaouchen Yacine, " Mesure et analyse des vibrations des machines électriques tournantes", Thèse de Doctorat, Université A.mira-Bejaia, 2015.

- [KERF16] Kerfali Samir, " Contribution à la Surveillance et au Diagnostic des Défauts De la Machine Asynchrone", Thèse de Doctorat, Université Badji Mokhtar Annaba, 2016.
- [KERR17] Kerroum Badreddine, " Etude et Diagnostic de mauvais branchement d'un moteur à induction", Diplôme de Master, Université Badji Mokhtar Annaba, 2017.
- [LAA16] Laamari Yahia, "Diagnostic des défaillances dans les systèmes électromécaniques", Thèse de Doctorat, Université Badji Mokhtar Annaba, 2016.
- [LAN] Landolsi Foued , "Techniques de surveillance", Support de cours, Institut Supérieur des Etudes Technologique de Nabeul, 2017.
- [LAR18] Larba Wieme, "Surveillance vibratoire et interventions pratiques sur le Compresseur « SPIROS » Au niveau de l'entreprise FIRROVIAL – Annaba", Diplôme de Master, Université Badji Mokhtar Annaba, 2018.
- [LEB06] Lebaroud Abdesselam, " Modélisation et techniques orientées vers le diagnostic de la machine asynchrone associée à des sources variables", Thèse de Doctorat, Université de Constantine, 2006.
- [RAI00] Raison Bertrand, "Détection et localisation défaillances sur un entraînement électrique", Thèse de Doctorat, Institut National Polytechnique de Grenoble - INPG, 2000.
- [SID16] SIDKI Mohammed, "Diagnostic Des Défauts De La Machine Asynchrone Par Analyse Spectrale", Université Mohamed V-Ecole Mohammadia d'Ingénieurs BP 765- Agdal, Rabat Maroc, 2016.