

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 Hamma Lakhdar d'El Oued**

Faculté de la Technologie

Département de Génie Electrique

En vue de l'obtention du diplôme de

## **MASTER ACADEMIQUE**

En machines Electriques

Présenté par

**Ishak Zine, Nour Eddine Messai Mohamed, Saad Ramdani**

# **Thème**

**Contribution au diagnostic des défauts de roulement dans les machines asynchrones en utilisant l'Analyse du flux Magnétique**

Soutenu le 22/06/2020. Devant le jury composé de :

Dr .ALLAL Abderrahim

Maitre de conférences

Président

M .BESSOUS Noureddine

Maitre de assistant

Rapporteur

Dr. Halem Noura

Maitre de conférences

Examineur

**Année Universitaire 2019/2020**

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

## **REMERCIEMENT**

*Le grand remerciement revient à Dieu qui nous a  
donné la force et le courage à réaliser et à terminer ce  
Modest mémoire .*

*Nous remercions d'abord Monsieur Dr. BESSOUS NOUREDDINE*

*Chargé de cours à l'Université El-Oued*

*Supervision et disponibilité*

*Encourager et conseiller pendant toute la période  
mémoire.*

*Nous remercions tous les professeurs qui m'ont donné  
elle enseigne au département de génie électrique.*

## DEDICACE

*Je dédie ce mémoire*

*A mes chers parents. Ma mère, qui m'a encouragé à aller de l'avant et  
Qui m'a donné tout son amour pour reprendre mes études, et  
Mon très cher père est la plus belle perle du monde*

*Pour leur patience, leur amour, leur soutien et leurs  
Encouragements.*

*A tout ma famille pour l'amour et le respect qu'ils m'ont toujours accordé*

*A mes frères. Je leur souhaite tout le succès... tout le bonheur*

*A mes amis et mes camarade Pour une sincérité si merveilleuse....jamais  
oubliable, en leur souhaitant Tout le succès ...tout le bonheur.*

*Sans oublier tous les professeurs que ce soit du  
Primaire, du moyen, du secondaire ou de l'enseignement supérieur.*

NOUREDDIN MESAI MOHAMMED

# DEDICACE

*Dédicace*

*Je dédie ce modeste travail*

*A mon père avec toute ma reconnaissance.*

*A ma mère avec toute mon affection.*

*A mes frères et mes sœurs.*

*A ma famille.*

*A mes professeurs*

*A tous mes amis..*

ZINE ISHAK

## DEDICACE

*Je dédie ce travail :*

*A ma très chère mère, pour son soutien et sa confiance, que Dieu,  
lui procure  
santé et longue vie.*

*A mon défunt père, parti à l'éternité, mais qui a été toujours  
présent dans mon  
cœur, je lui rends un grand hommage.*

*À mes chers frères*

*A toute ma famille*

*A tous mes amis et collègues*

*A tous ceux que j'aime.*

SAAD RAMDANI

## ملخص

ساهمت المحركات الكهربائية ، وقبل كل شيء المحركات غير المتزامنة ذات قفص السنجاب ، إلى حد كبير في تقدم العديد من المجالات الصناعية والعملية من أجل توفير المرافق والوقت للربح. نظرًا لأن صيانة هذه الآلات قد وفرت الوقت والمال ، فإن الهدف من عملية التشخيص هو اكتشاف العيوب. من الضروري أن يتم تشخيص أي خطأ قبل أن يتحول إلى عطل عن طريق العديد من التقنيات. يتنافس مجال البحث الآن على إيجاد طريقة أكثر كفاءة ودقة لاكتشاف الأعطال في المحركات الدوارة. نذكر على سبيل المثال أن تقنية التحليل الطيفي التي تعتمد على تحويل فورييه السريع (TFR) يمكن أن تستغل إشارة التدفق المغناطيسي أينما يطلق عليها تحليل طفيل التوقيع المميز (ASFP).

استخدمنا التقنية الأخيرة للكشف عن عيب المحمل ، وتحديدًا العيب في الحلقة الخارجية للمحمل. **الكلمات المفتاحية** : محركات السنجاب غير المتزامنة ، التشخيص ، تحويل فورييه السريع ، الطيف ، المحمل ، التدفق المغناطيسي.

## Résumé

Les moteurs électriques, et surtout les moteurs asynchrones en forme de cage d'écureuil ont contribué en grande partie au progrès de nombreux domaines industriels et pratiques afin de fournir des installations et du temps de profit. Puisque la maintenance et l'entretien de ces machines ont permis de gagner du temps et de l'argent, donc l'objectif du processus de diagnostic est de découvrir les défauts. Il est impératif que le diagnostic de tout défaut avant de se transformer en dysfonctionnement soit effectué par plusieurs techniques. Le domaine de la recherche est aujourd'hui en concurrence pour trouver un moyen plus efficace et précis de découvrir des défauts dans les moteurs en rotation. On mentionne par exemple la technique d'analyse spectrale qui se base sur la transformée de Fourier rapide (TFR) peut exploiter le signal du flux magnétique où qu'il s'appelle Analyse des Signatures du Flux Parasite (ASFP) .

Nous avons utilisé cette dernière technique pour détecter le défaut du roulement, et précisément le défaut dans la bague extérieure du roulement.

**Mots clés** : moteurs asynchrones à cage d'écureuil, diagnostic, transformée de Fourier rapide, spectre, roulement, flux magnétique .

## **Abstract**

Electric motors, and above all asynchronous motors in squirrel cage shape, have largely contributed to the progress of many industrial and practical fields in order to provide facilities and time for profit. Since the maintenance and upkeep of these machines have saved time and money, so the goal of the diagnostic process is to discover the faults (defect). It is imperative that the diagnosis of any fault before turning into a malfunction is carried out by several techniques. The field of research is now competing to find a more efficient and precise way of discovering faults in rotating engines. We mention for example the spectral analysis technique which is based on the fast Fourier transform (FFT) can exploit the signal of the magnetic flux wherever it is called Stray Flux Signature Analysis (SFSA) .

We used the latter technique to detect the bearing defect, and specifically the defect in the outer ring of the bearing.

**Keywords:** squirrel cage asynchronous motors, diagnosis, fast Fourier transform, spectrum, bearing, magnetic flux.

## Liste des figures

<b>Chapitre I. Etat de l'Art de Diagnostic des Défaits dans les MAS</b>		
Figure.I.1.	Eléments de constitution d'une machine asynchrone à caged'écureuil .	<b>03</b>
Figure.I.2.	Photo du stator d'une machine asynchrone	<b>04</b>
Figure.I.3.	constitution de rotor	<b>05</b>
Figure.I.4.	Principe de fonctionnement MAS	<b>06</b>
Figure.I.5.	Excentricité statique	<b>09</b>
Figure.I.6.	Excentricité dynamique	<b>10</b>
Figure.I.7.	Excentricité mixte	<b>10</b>
Figure.I.8.	Rupture d'une et deux portions adjacentes d'anneau de court-circuit	<b>11</b>
Figure.I.9.	Défaut d'un rotor à cage d'écureuil , rupture de barres	<b>12</b>
Figure.I.10.	Défauts des roulements (a) - Défaut sur la bague extérieure ( b) - Défaut sur la bague intérieur (c) -Défaut de cage	<b>12</b>
Figure.I.11.	Différents défauts statoriques possible	<b>13</b>
Figure.I.12.	Court-circuit phase-phase	<b>14</b>
Figure.I.13	Court-circuit entre spires dû aux coupures de tension.	<b>14</b>
Figure.I.14.	Défauts d'isolant dans un enroulement	<b>15</b>
Figure.I.15.	Répartition des causes des défauts pour une machine asynchrone	<b>17</b>
<b>Chapitre .II.Diagnostic Des Défaits De Roulement</b>		
Figure.II. 1.	Structure d'un roulement à billes	<b>21</b>
Figure.II.2.	Grippage sur la bague intérieur d'un roulement	<b>22</b>
Figure.II.3.	Déformation de cage d'un roulement	<b>23</b>
Figure.II.4.	Corrosion de contact sur la bague Intérieur d'un roulement à rouleaux	<b>23</b>
Figure.II.5.	Usure à Bille	<b>23</b>
Figure.II.6.	Jeu de roulement (axial et radial)	<b>24</b>
Figure.II.7.	Répartition de lignes de flux de fuite dans une machine électrique	<b>26</b>
Figure.II.8.	Mesure du flux axial	<b>26</b>
Figure.II.9.	Mesure du flux radial	<b>27</b>
Figure.II.10.	Schéma de principe d'un capteur de Hall	<b>28</b>
Figure.II.11.	Schéma de principe d'un capteur magnéto-résistif monté en pont de Wheatstone et opérant et en boucle fermée	<b>28</b>
Figure.II.12.	Schéma de principe d'un capteur fluxgate opérant à flux nul	<b>29</b>
Figure.II.13.	Position du capteur de flux magnétique	<b>30</b>

<b>Chapitre.III. Analyse des défauts de roulement dans le bague extérieur</b>		
Figure.III.1.	Photos d'un roulement défectueux dans la BE.	<b>32</b>
Figure.III.2.	Spectre de flux de 0-100Hz	<b>33</b>
Figure.III.3.	Spectre de flux de 100-200Hz	<b>33</b>
Figure.III.4.	Spectre de flux de 200-300Hz	<b>34</b>
Figure.III.5.	Spectre de flux de 300-400Hz	<b>35</b>
Figure.III.6.	Spectre de flux de 400-500Hz	<b>35</b>
Figure.III.7.	Spectre de flux de 500-600Hz	<b>36</b>
Figure.III.8.	Spectre de flux de 600-700Hz	<b>36</b>

### **Liste des Tableau**

Tableau I.1	Défauts des machines électriques selon leurs origines	<b>08</b>
-------------	---	-----------

# Sommaire

<b>REMERCIEMENT</b>	
<b>DEDICACE</b>	
<b>Résumé</b>	
<b>Liste des figures</b>	I
<b>Liste des Tableau</b>	II
<b>Sommer</b>	III
<b>INTRODUCTION GENERALE</b>	
01	
<b>Chapitre.I. Etat de l'Art de Diagnostic des Défaits dans les MAS</b>	
<b>I.1.Introduction</b>	03
<b>I.2.Généralités sur la machine MAS</b>	03
I.2.1.Stator	04
I.2.2.Rotor	04
I.2.3.Principe de fonctionnement	05
<b>I.3.Définitions et concepts</b>	06
<b>I.4.Défaits dans la machine asynchrone à cage ( MAS)</b>	08
I.4.1.Défaut rotorique	09
I.4.1.1.Défaits d'excentricités	09
I.4.1.2.Excentricité statique	09
I.4.1.3.Excentricité dynamique	10
I.4.1.4.Excentricité mixte	10
I.4.1.5.Ruptures d'anneaux	11
I.4.1.6.Cassure de barres rotoriques	11
I.4.2.Défaits de roulements	12
I.4.3.Défaits statoriques	12
I.4.3.1.Court-circuit entre phases	13
I.4.3.2.Court-circuit entre spire	14
I.4.3.3.Circuit ouvert sur une phase	14
I.4.4.Défaillances du circuit magnétique	15
I.4.5.Défaits d'isolant dans un enroulement	15
<b>I.5.Causes et conséquences des défauts</b>	16
I.5.1.Causes des défauts	16
I.5.2.Conséquences des défauts	17
<b>I.6.Techniques de diagnostic</b>	17
I.6.1.Analyse de flux magnétique	17
I.6.2.Analyse par mesure de la puissance instantanée	18
I.6.3.Analyse de couple électromagnétique	18
I.6.4.Analyse de courant statorique	18
I.6.5.Analyse de vibratoire	19
<b>I.7.Conclusion</b>	19

<b>Chapitre .II. Diagnostic Des Défauts De Roulement</b>	
<b>II.1.Introduction</b>	21
<b>II.2.Défaillances des roulements</b>	21
II.2.1.Causes défaillances des roulements	22
II.2.1.a.Grippage	22
II.2.1.b.Détérioration des cages	22
II.2.1.c.Corrosion	23
II.2.1.e.Usure	23
II.2.1.f.Jeu de roulement	24
II.2.2.Fréquences caractéristiques des défauts de roulement	24
II.2.3.Conséquences des défauts de roulement	25
<b>II.3.Diagnostic par mesure du flux magnétique</b>	25
II.3.1.Diagnostic par mesure du Flux magnétique axial de fuite	26
II.3.2. Diagnostic par mesure du Flux magnétique radial de fuite	26
<b>II.4.Capteur de flux magnétique</b>	27
II.4.1.Capteurs à Effet Hall	27
II.4.1.1.Applications des capteurs à effet Hall	27
II.4.2.Capteurs magnéto-résistifs	28
II.4.2.1.Applications des magnéto-résistifs	28
II.4.3.Capteur Les fluxgate	28
II.4.3.1.Applications des Capteur Les fluxgate	29
<b>II.5.Position du capteur de flux magnétique</b>	29
<b>II.6.Conclution</b>	30
<b>Chapitre .III. Analyse des défauts de roulement dans la bague extérieure</b>	
<b>III.1.Introduction</b>	32
<b>III.2.Analyse des résultats</b>	32
III.2.1.Préparation du défaut	32
III.2.2.Analyse du défaut dans la bague extérieure	32
III.2.3.Explication physique de l'analyse spectrale du flux magnétique	37
<b>III.3.Conclution</b>	37
<b>CONCLUSION GENERALE</b>	39
<b>REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES</b>	41

# **INTRODUCTION GENERALE**

## INTRODUCTION GENERALE

La machine asynchrone occupe maintenant une grande place dans les applications industrielles, elle représente jusqu'à 80% des machines utilisées dans les domaines, on la rencontre dans les endroits les plus divers de l'éolienne à des applications militaires, dans la propulsion électrique des véhicules, de tramway et de train de grande vitesse, voire même de bateaux de croisières .

Cette large utilisation des moteurs à induction est due aux différents avantages qu'il offre, comme sa qualité de robustesse, la quasi-absence d'entretien, l'avantage d'être alimentée directement par le réseau triphasé, son prix d'achat est moins élevée à puissance donnée par rapport à la machine à courant continu et la machine synchrone, aussi grâce au progrès de l'électronique, elle est utilisée dans les applications nécessitent une vitesse variable, en faisant appel à des commandes de type scalaire ou vectoriel [BES07] .

Cependant, il est bien connu que les défauts de roulement de la bague extérieure commencent comme des défauts rotatifs non détectés et finissent par prendre de l'ampleur et deviennent un inconvénient majeur. On peut donc dire que le défaut de l'anneau externe est l'un des défauts mécaniques les plus répandus et les plus destructeurs .

Pour détecter ce type de défaut, il existe plusieurs techniques, les plus importantes d'entre elles: la technique d'analyse spectrale du signal de flux magnétique du stator (FTR:ASFP), que nous avons adoptée dans notre étude .

Le premier chapitre consiste en une vision générale sur les machines asynchrones en expliquant leurs composants et le principe de son fonctionnement. En plus, certains défauts dans les machines asynchrones seront cités avec les causes qu'ils peuvent les produire. Quelques techniques de diagnostic des défauts dans les MAS vont mentionner dans ce chapitre brièvement.

Le deuxième chapitre sera consacré pour définir le diagnostic de la MAS sous un défaut du roulement en se concentrant sur la méthode d'analyse du flux magnétique.

Le troisième chapitre va représenter une analyse et exploitation de la technique d'analyse du flux afin d'extraire les signatures du défaut du roulement dans la bague extérieure. Cette étude nous permettra d'avoir une identification préalable des défauts en analysant le dysfonctionnement de la MAS à travers les interprétations des résultats.

**Chapitre. I.**  
**Etat de l'Art de Diagnostic**  
**des Défauts dans les MAS**

## I.1.Introduction

Ce premier chapitre donne un aperçu des explications de certaines informations sur la machine asynchrone et le principe de son fonctionnement. Cette partie va citer les différents défauts qui peuvent affecter les machines asynchrones en indiquant les causes, les conséquences et les techniques de détection des défauts.

## I.2.Généralités sur la machine asynchrone (MAS)à cage

La machine asynchrone, souvent appelée moteur à induction comprend un stator et un rotor, 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. Cela est illustré dans la figure I.1 [BES07] .

Contrairement aux machines synchrones et à courant continu, seuls les enroulements statoriques sont couplés à un réseau d'alimentation dont les tensions (amplitude et fréquence) définissent l'état magnétique de l'entrefer. Les enroulements du rotor sont raccordés sur eux-mêmes. Le moteur asynchrone ne possède donc ni enroulement d'excitation ni aimants permanents. Pour ce qui est du flux rotorique nécessaire pour la formation du couple électromagnétique, il est produit à partir de l'induction. La figure I.1 ,représente la machine asynchrone [BAB14] .

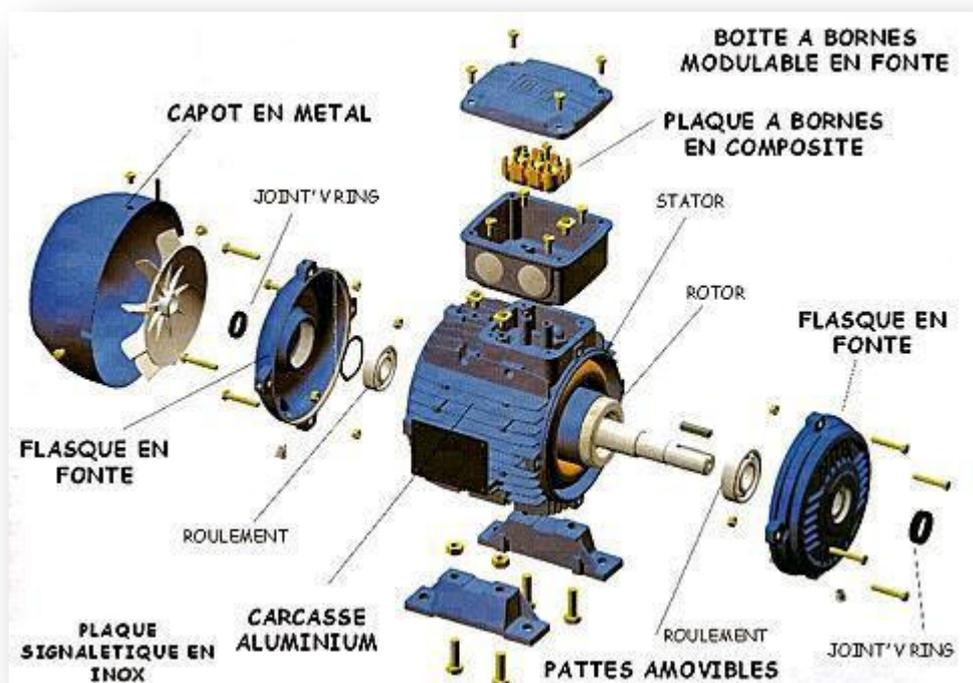


Figure .I.1.Eléments de constitution d'une machine asynchrone à cage d'écureuil [ZEG09] .

### I.2.1. Stator :

Il est constitué d'un enroulement bobiné réparti dans les encoches du circuit magnétique. Ce circuit magnétique est constitué d'un empilage de tôles dans lesquelles sont découpées des encoches parallèles à l'axe de la machine Figure I.2. Le bobinage statorique peut se décomposer en 2 parties : les conducteurs d'encoches et les têtes de bobines. Les conducteurs d'encoches permettent de créer dans l'entrefer le champ magnétique à l'origine de la conversion électromagnétique. Les têtes de bobines permettent, quant à elles, la fermeture des courants en organisant la circulation judicieuse des courants d'un conducteur d'encoche à l'autre. L'objectif est d'obtenir à la surface de l'entrefer une distribution de courant la plus sinusoïdale possible, afin de limiter les ondulations du couple électromagnétique [MED12] .



Figure.I.2. Photo du stator d'une machine asynchrone [OND06] .

### I.2.2. Rotor :

Le circuit du rotor est constitué de barres conductrices régulièrement réparties entre deux couronnes métalliques formant les extrémités, le tout rappelant la forme d'une cage d'écureuil. Bien entendu, cette cage est insérée à l'intérieur d'un circuit magnétique analogue à celui du moteur à rotor bobiné [BES07]. Les barres conductrices sont réalisées par coulage d'un alliage d'aluminium, ou par des barres massives de cuivre perforées et frettées dans les tôles du rotor. Il n'y a pas généralement pas, ou très peu, d'isolation entre les barres rotoriques et les tôles magnétiques, mais leur résistance est suffisamment faible pour que les courants de fuite dans les tôles soient négligeables, sauf lorsqu'il y a une rupture de barre. Le moteur à cage d'écureuil est beaucoup plus simple à construire que le moteur à rotor bobiné et, de ce fait, son prix de revient se trouve réduit. De plus, il dispose d'une plus grande robustesse. Il constitue la plus grande partie du parc de moteurs asynchrones actuellement en service [MER09] .

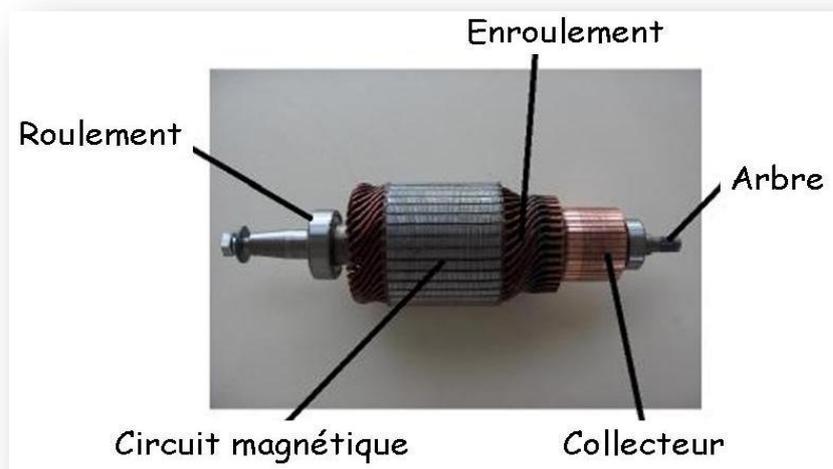


Figure.I.3.constitution de rotor [CHR01] .

### I.2.3.Principe de fonctionnement de la MAS :

Le fonctionnement d'une machine asynchrone est basé sur le principe de l'interaction électromagnétique du champ tournant créé par le courant triphasé fourni à l'enroulement statorique par le réseau , et des courants induits dans l'enroulement rotorique lorsque les conducteurs de ce dernier sont coupés par le champ tournant. De cette façon le fonctionnement d'une machine asynchrone est analogue à celui d'un transformateur : le stator étant comparable à l'enroulement primaire et le rotor à l'enroulement secondaire qui, dans le cas général, peut tourner à la vitesse de rotation [BOU07].

Lorsque le rotor tourne à une vitesse  $N_s$  différente du synchronisme, l'application de la loi de FARADAY à un des enroulements rotoriques montre que celui-ci devient le siège d'une force électromotrice qui étant court-circuité sur les enroulements va donner naissance à un courant dont l'intensité est limitée par l'impédance de ce dernier. L'interaction entre ce courant et le champ glissant va donner naissance à des forces s'exerçant sur les brins du rotor dont le moment par rapport à l'axe de rotation constituera le couple de la machine. Lorsque le champ est sinusoïdal, sa vitesse de rotation est: [CHE14]

$$N_s = f / P \text{ en tr/s} \quad \text{ou} \quad N_s = 60f / P \text{ en tr/min} \quad (\text{I.1})$$

Où  $f$  : est la fréquence d'alimentation.

$p$  : représente le nombre de pair de pôles.

L'interaction électromagnétique des deux parties de la machine n'est possible que lorsque la vitesse du champ tournant ( $n_1$ ) diffère de celle du rotor ( $n$ ) , c'est à dire

lorsque  $n \neq n_1$ , car dans le cas contraire, c'est à dire lorsque  $n = n_1$ , le champ serait immobile par rapport au rotor et aucun courant ne serait induit dans l'enroulement rotorique. Le rapport  $g = \frac{n_1 - n}{n_1}$  est appelé glissement de la machine asynchrone [CHA17].

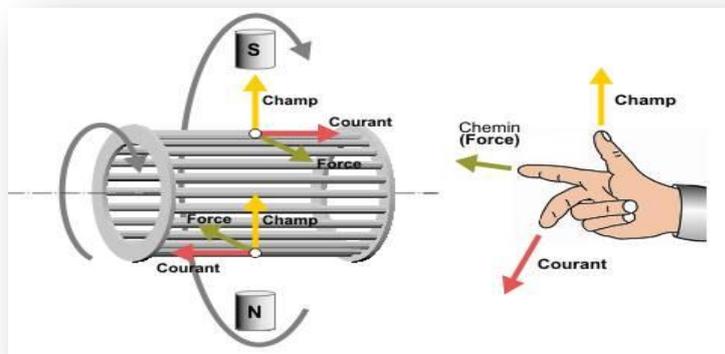


Figure.I.4.Principe de fonctionnement MAS [PMAS02].

### I.3.Définitions et concepts

**Diagnostic :** C'est un ensemble des actions destinées à identifier les causes probables de la défaillance. Les deux principales tâches de diagnostic sont : la détection et la localisation des défauts [ABE 02]. La détection consiste à signaler l'existence du défaut, tandis que la localisation ait pour objet d'identifier le type de défaut. Donc, le diagnostic a pour objectif de détecter d'une manière précoce un défaut avant qu'il conduise à une défaillance totale dans l'installation industrielle [SAH10].

**Un défaut :** est une anomalie de comportement au sein du système. Ce concept est Important dans les opérations de surveillance pour la conduite et la maintenance des processus Industriels. Tout écart entre la caractéristique observée et la caractéristique de référence est considéré comme étant un défaut. Il est donc clair qu'une d défaillance conduit à un défaut. Mais un défaut n'induit pas nécessairement une défaillance. En effet, le dispositif peut conserver son aptitude à accomplir sa tâche principale si les défauts n'ont pas d'impacts sur cette tâche. L'art du diagnostic consiste à détecter de façon précoce un défaut avant qu'il ne conduise à un état de défaillance donc de panne[BES17].

**La maintenance:** ensemble des activités destinées à maintenir ou à rétablir un bien dans un état ou dans des conditions données de sûreté de fonctionnement, pour accomplir une fonction requise On peut citer trois types de maintenance;

**Maintenance préventive :** maintenance effectuée dans l'intention de réduire la probabilité de défaillance d'un bien ou la dégradation d'un service

rendu. C'est une intervention de maintenance prévue, préparée et programmée avant la date probable d'apparition d'une défaillance. Le plus souvent elle est systématique, c'est-à-dire une maintenance préventive effectuée selon un échéancier établi suivant le temps ou le nombre d'unités d'usage.

**Maintenance Corrective:** C'est un ensemble des activités réalisées après la défaillance d'un bien. Autrement dit, la maintenance corrective est effectuée après la détection d'une panne Elle devra s'appliquer automatiquement aux défaillances complètes et soudaines. Ce type de maintenance sera réservé aux matériels peu coûteux, non stratégiques pour la production et dont la panne aurait peu d'influence sur la sécurité [SAH10] .

**Maintenance conditionnelle :** alternative à la maintenance systématique, fait l'objet d'une demande croissante dans un grand nombre d'applications industrielles. Cette maintenance est basée sur la surveillance en continu de l'évolution du système, afin de prévenir un dysfonctionnement avant qu'il n'arrive. Elle n'implique pas la connaissance de la loi de dégradation. La décision d'intervention préventive est prise lorsqu'il y a évidence expérimentale de défaut imminent, ou approche d'un seuil de dégradation prédéterminé. Elle impose donc des traitements en ligne, au moins en partie [ZEM04] .

**Surveillance :** la surveillance peut être définie comme un ensemble d'actions réalisées Manuellement ou automatiquement, destinées à observer l'état d'un bien ou d'un service et à détecter l'apparition d'une éventuelle défaillance.

Les informations nécessaires à ces actions peuvent provenir de grandeurs physiques directement prélevées sur le système ou reconstituées à partir de mesures indirectes.

La surveillance consiste en la mise en œuvre de techniques reposant sur l'analyse des variations de paramètres ou de grandeurs de fonctionnement de l'entité, visant à évaluer son état de dégradation, pour décider de la nécessité d'une inspection ou d'une réparation préventive afin d'éviter sa défaillance. Si la surveillance permet de détecter une défaillance, le diagnostic consiste d'une part à observer les effets de la défaillance et, d'autre part, à identifier si possible les causes et l'importance de cette défaillance.

Un examen strict des définitions de la surveillance et du diagnostic montre que ce sont des outils de la maintenance qui visent à améliorer la sûreté de fonctionnement d'une entité à laquelle ils sont appliqués [BAB14] .

**Fiabilité** : capacité d'un système à fonctionner pendant un certain temps sans panne; elle se caractérise par le temps moyen de bon fonctionnement [LEB06].

#### **I.4. Défaits dans la machine asynchrone à cage ( MAS)**

Malgré que la machine asynchrone à cage d'écureuil est robuste, elle peut parfois présenter différents types de défauts, qui peuvent être soit d'origine électrique, ou mécanique. Cependant, les contraintes de différentes natures auxquelles ces machines sont sollicitées, sont les principales causes des défauts structurels et fonctionnels qui selon leur nature, peuvent endommager totalement la machine et causer inévitablement l'arrêt du processus, donc une perte conséquence de la production [MER09].

Les origines des défauts peuvent être diverse, recensons d'après l'organigramme de les origines : mécaniques, électriques, thermiques et environnementales [KAI10].

**Tableau I.1** : Défaits des machines électriques selon leurs origines [AND12]

Défaillances des machines électriques	Interne	Mécanique	Contact entre le stator et rotor
			Défaut de roulements
			Excentricité
			Mouvement des enroulements et des tôles
	Électrique	Défaillance au niveau de l'isolation	
		Rupture de barre	
		Défaillance au niveau du circuit magnétique	
	Externe	Mécanique	Charge oscillante
			Surcharge de la machine
			Défaut de montage
		Environnementale	Humidité
			Température
			Propreté
Électrique		Fluctuation de la tension	
	Sources de tensions déséquilibrées		
	Réseau bruité		

Les études dans ce domaine permettent de classer les défauts suivant leur localisation :

### I.4.1. Défaits rotoriques :

#### I.4.1.1. Défaits d'excentricités :

Dans une machine électrique idéal, le centre du rotor est aligné sur celui du stator, donc l'axe de rotation du rotor est le même que l'axe du stator comme indiqué sur la figure I.5. Cependant, suite à la flexion de l'arbre, à un positionnement incorrect des paliers lors de l'assemblage, à l'usure des roulements, à un défaut de charge, ou tout simplement à un défaut de fabrication (usinage) la machine peut être soumise à un décentrement du rotor, se traduisant par des oscillations de couple. Ce phénomène est appelé excentricité statique ou dynamique dont l'origine peut être liée à un positionnement incorrect des paliers lors de l'assemblage, à un défaut de roulement, à un défaut de charge, ou à un défaut de fabrication [KAI10] .

Il y a trois cas d'excentricités généralement bien distinctes :

#### I.4.1.2. Excentricité statique :

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 [BAB14] .

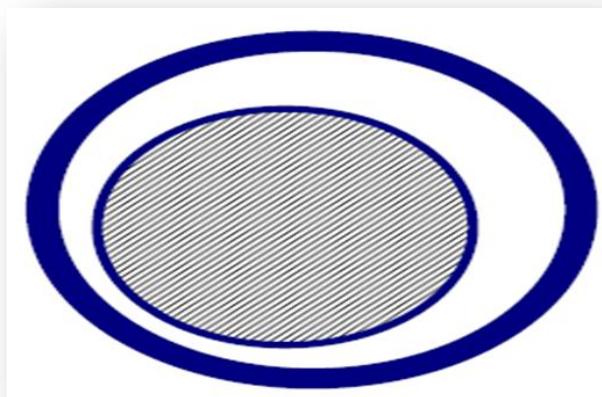


Figure.I.5. Excentricité statique [HAL15] .

#### I.4.1.3.Excentricité dynamique :

correspond à un centre de rotation du rotor diffère du centre géométrique du stator mais, de plus, le centre du rotor tourne autour du centre géométrique de ce stator. Dans ce type d'excentricité, le centre du rotor n'est pas en son centre de rotation et de ce fait la position d'épaisseur minimale d'entrefer tourne avec le rotor. Parmi les causes de ce type d'excentricité, on cite : la flexion de l'arbre du rotor, l'usure ou le défaut d'alignement du roulement [BES17] .

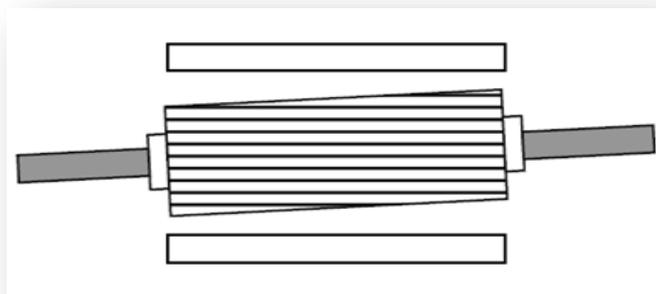


Figure.I.6.Excentricité dynamique [BES07].

#### I.4.1.4.Excentricité mixte :

En réalité, les excentricités statiques et dynamiques ont tendance à coexister, Un niveau inhérent d'excentricité statique existe toujours, même dans des machines de fabrication récentes. Cela provoque des efforts réguliers d'attraction magnétiques non compensés dans une seule direction, et avec le temps cela peut conduire à la flexion d'un arbre et la dégradation de roulement...,tout cela entamant une excentricité dynamique Sans détection précoce, l'excentricité devient suffisamment grande pour développer des forces radiales déséquilibrées qui peuvent créer un frottement entre le stator et le rotor, ce qui mène à une panne très grave de la machine [HAL15] .

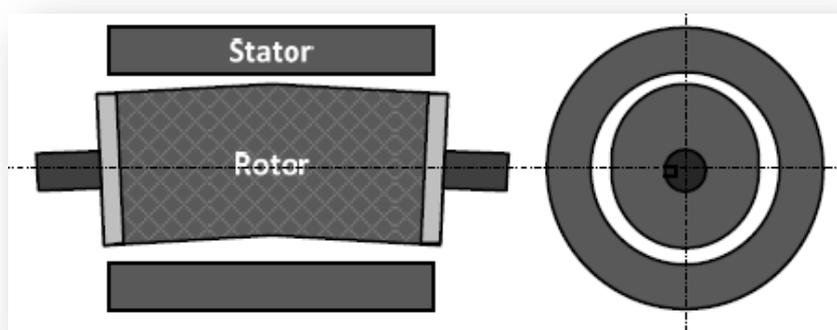


Figure.I.7.Excentricité mixte [AND12] .

### I.4.1.5. Ruptures d'anneaux :

Les mêmes défauts qu'au stator peuvent se retrouver dans un rotor bobiné. Pour une machine asynchrone avec un rotor à cage d'écureuil, les défauts se résument à la rupture de barres ou à la rupture d'anneaux de court-circuit [AND12] .

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 [BES07] .

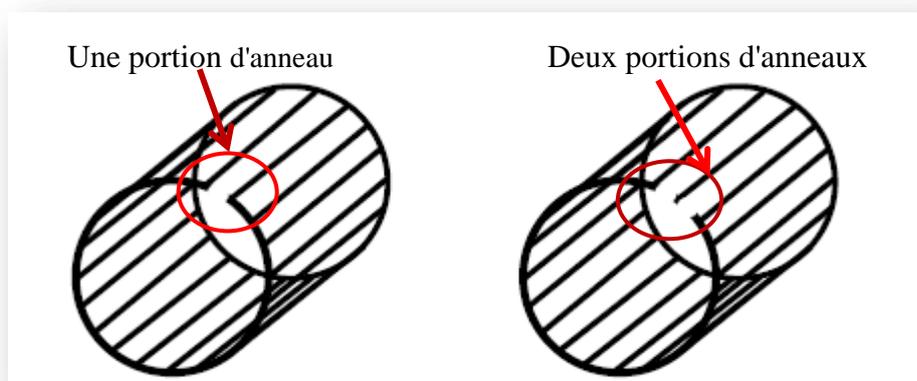


Figure.I.8. Rupture d'une et deux portions adjacentes d'anneau de court-circuit [BES17] .

### I.4.1.6. Cassure de barres rotoriques :

Parmi les défauts les plus étudiés, la rupture de barres rotoriques de la machine asynchrone à cage, fait sans doute partie des plus courants. La rupture d'une barre rotorique ou d'un segment d'anneau de court-circuit peut être induite par plusieurs facteurs, qui sont souvent indépendants les uns des autres. Parmi ceux-ci, nous pouvons citer par exemple :

- L'augmentation de la température due à une surcharge de la machine.
- les efforts magnétiques provoqués par les forces électromagnétiques.
- les efforts résiduels dus aux problèmes de fabrication.
- Des efforts environnementaux provoqués par la contamination et l'abrasion du matériel rotorique dues aux produits chimiques ou à l'humidité.
- l'environnement hostile dans lequel la machine fonctionne [KAI10] .

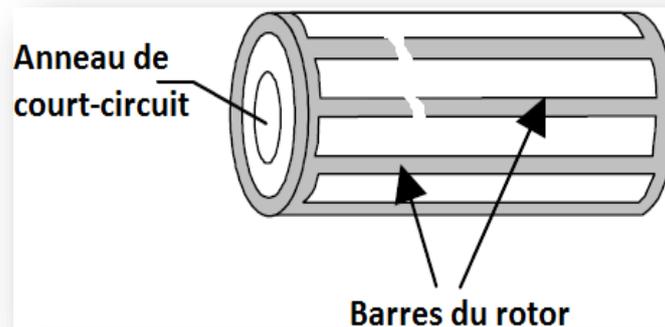


Figure.I.9. Défaut d'un rotor à cage d'écureuil , rupture de barres [AND12] .

#### I.4.2. Défaits de roulements :

Parce que les éléments roulants du roulement supportent le rotor, quelque soient les défauts dans les roulements, ils vont produire des mouvements radiales entre le rotor et le stator dans la machine. Par conséquent, des variations d'entrefer génèrent dans le courant statorique des raies spectrales de fréquences [KHE12] .

Les fréquences caractéristiques des vibrations dépendent de l'élément du roulement affecté par le défaut, et sont liées à ses paramètres caractéristiques des défauts des roulements à billes sont:

- a) -Défaut au niveau d'une bille
- b) - Défaut sur la bague intérieure
- c) -Défaut sur la bague extérieure [GHO05] .

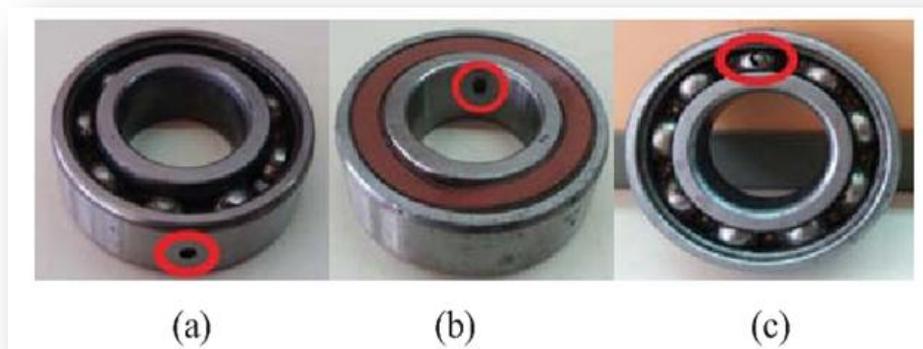
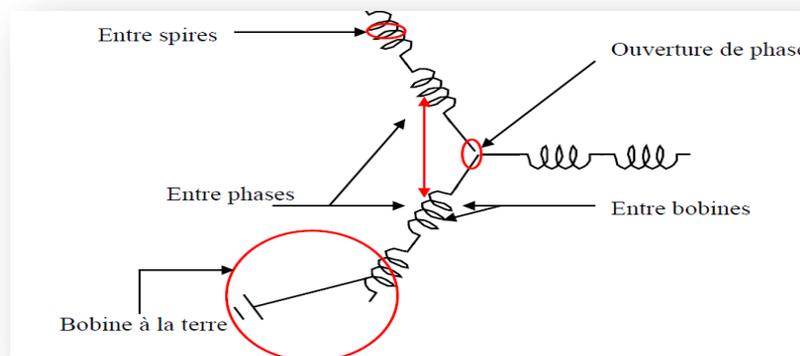


Figure.I.10. Défaits des roulements (a) - Défaut sur la bague extérieure ( b) - Défaut sur la bague intérieure (c) -Défaut de cage [sch] .

#### I.4.3. Défaits statoriques :

Les défaillances au stator représentent environ de 40% à 60% des défauts des machines à induction [HAL15] . et défauts statoriques regroupent principalement les défauts de court-circuit d'une phase à la terre, court-circuit entre phases, ou court-circuit entre spires. Ils commencent généralement par un court-circuit entre spires, avant d'évoluer vers des défauts plus graves. Une des principales causes de ces

défauts est la dégradation de l'isolation qui peut être une dégradation fonctionnelle (liée à la durée de vie de l'enroulement) ou bien due aux conditions d'exploitation et aux contraintes mécaniques, thermiques, électriques et environnementales [GHO05] .



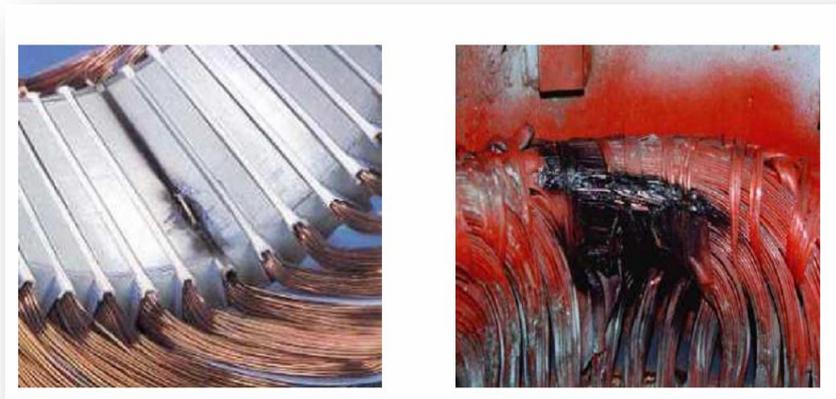
**Figure.I.11.** Différents défauts statoriques possible [BES17] .

### I.4.3.1. Court-circuit entre phases :

Un court-circuit entre phases 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).

Si le court-circuit est proche de l'alimentation entre phases, il induit des courants très élevés qui conduisent à la fusion des conducteurs d'alimentation ce qui provoque un arrêt net de la machine. Si le court-circuit est proche du neutre entre deux phases, il engendre un déséquilibre des courants de phases avec un risque moindre de fusion des conducteurs.

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 [AND12] .



**Figure.I.12.**Court-circuit phase-phase [CHE14] .

#### **I.4.3.2.Court-circuit entre spire :**

La détection prématurée d'un court-circuit entre spires peut épargner un défaut statorique fatal par propagation de ses conséquence vers les autres spires .ainsi ,il est possible de réduire considérablement le cout de maintenance et des arrêts pour réparation .comme exposé dans d'antérieurs travaux, plusieurs technique permettent la détection d'un court-circuit entres spires d'une façon plus ou moine performante penman et la dans ont utilisé le flux axial de fuite comme procédé de détection .une grande bobine doit être placée [GHO10] .



**Figure.I.13.**Court-circuit entre spires dû aux coupures de Tension [BAB14] .

#### **I.4.3.3.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.4.4. Défaillances du circuit magnétique :

Les tôles du circuit magnétique sont normalement isolées entre elles ; toutefois elles peuvent être accidentellement se court-circuitées. Ce défaut peut avoir comme origine :

- Un court-circuit des conducteurs qui peut également provoquer un échauffement local intense dans les tôles .
- Les corps étrangers projetés dans l'entrefer peuvent entraîner l'abrasion des tôles et causer des court-circuit .
- Un défaut sévère d'excentricité statique et/ou dynamique peut conduire à un contact franc entre le stator et le rotor, ce qui pourra détruire le circuit magnétique [SAH10] .

### I.4.5. Défaits d'isolant dans un enroulement :

La dégradation des isolants dans les enroulements peut provoquer des court-circuit. En effet, les différentes pertes (Joule, fer, mécanique,...) engendrent une augmentation de la température des différents constituants du moteur. Or, les matériaux d'isolation ont une limite mécanique, de des différents constituants du moteur. Or, les matériaux d'isolation ont une limite mécanique, de température et de tension. Dans ce cas, un court-circuit peut apparaître dans l'enroulement concerné [HAL15] .



**Figure.I.14.** Défaits d'isolant dans un enroulement [BAB14].

On peut résumer les défauts cités en haut comme suit :

#### ❖ Défauts rotoriques

- 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).
- Défaut du circuit magnétique (ruptures de tôles).

- Excentricité statique ou dynamique.
- ❖ **Défauts roulements**
  - Trous dans les gorges de roulement intérieures et extérieures.
  - Ondulation de leur surface de roulement.
  - Attaque des billes.
  - Corrosion due à l'eau.
  - Défaut de graissage, problème du à la température.
  - Décollement, effritement de surface, provoquée par une surcharge .
- ❖ **Défauts statoriques**
  - Court-circuit entre spires, court-circuit entre bobines de la même phase.
  - Ouvertures de phases, court-circuit phase-phase ou phase-terre.
  - Coupure d'une phase.
  - Défaut du circuit magnétique (ruptures de tôles).
  - Défaut de l'isolation de masse.

### I.5.Causes et conséquences des défauts

#### I.5.1.Causes des défauts :

Les cause des défauts sont multiples elles peuvent être classées en trois groupes:

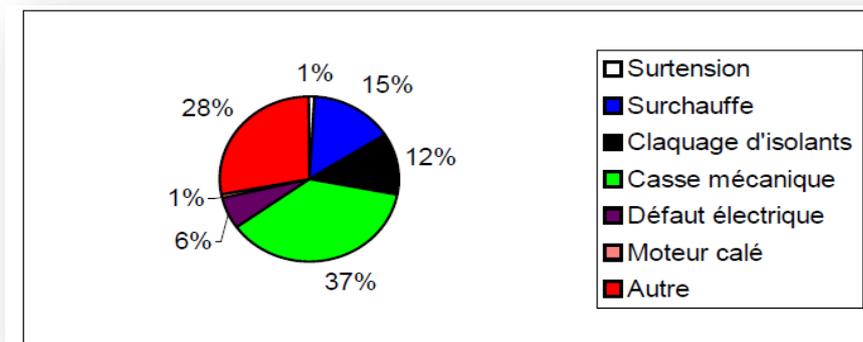
- les générateurs de pannes ou initiateurs de défauts : surchauffe du moteur, défaut Électrique (court-circuit), survoltage d'alimentation, problème d'isolation électrique, usure des éléments mécaniques (roulements à billes), rupture de fixations, etc.
- les amplificateurs de défauts : surcharge fréquente, vibrations mécaniques

Environnement humide, échauffement permanent, mauvais graissage, vieillissement

- les vices de fabrication et les erreurs humaines : défauts de fabrication, composants

Défectueux, protections inadaptées, mauvais dimensionnement de la machine, etc

[LAB16] .



**Figure.I.15.**Répartition des causes des défauts pour une machine asynchrone [LEB06] .

### I.5.2.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:

- Fluctuations au niveau du couple et de la vitesse.
- Appel supplémentaire de courant.
- Déséquilibre au niveau de la tension et du courant de ligne.
- Augmentations des arrêts non programmés, des pertes de production, et par conséquent, du rendement global [GHO05] .

### I.6.Techniques de diagnostic

Les moteurs asynchrones sont soumis pendant leur fonctionnement à plusieurs contraintes de différentes natures, l'accumulation de ces contraintes provoque des défauts dans les différentes parties du moteur.

Pour remédier au problème de détection des défauts, il existe une variété de techniques de diagnostic et mesure (mesure de champ magnétique, mesure de bruit) d'autres sont basées sur la surveillance et la comparaison des caractéristiques électromécaniques du moteur en défaut (courant de détection des défauts. Certaines d'entre elles sont basées sur l'observation et la statorique, couple et vitesse) [HAR08]

#### I.6.1.Analyse de flux magnétique :

Dans une machine idéale sans défaut, les courants et les tensions statoriques sont équilibrés, ce qui annule le flux de fuite axial. La présence d'un défaut quelconque, provoque un déséquilibre électrique et magnétique au niveau du stator ce qui donne naissance à des flux de fuite axial de valeurs dépendantes du degré de sévérité du défaut. Si on place une bobine autour de l'arbre de la machine, elle sera le siège d'une force électromotrice induite. L'analyse spectrale de la tension induite dans cette

bobine, peut être exploitée pour détecter les différents défauts comme la rupture de la barre rotorique [CHA17] .

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. 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. Dans cet axe, nous pouvons citer qui sont des travaux basés sur les captures de flux de fuite et sa variation, cette dernière ( la variation de flux ) c'est une information pour détecter le défaut [BES07] .

### **I.6.2. Analyse par mesure de la puissance instantanée :**

La puissance instantanée est la somme des produits des courants et des tensions dans les trois phases statorique. Donc, le niveau d'informations apportées par cette grandeur, est plus grand que celui apportées par le courant d'une seule phase. Ceci présente l'avantage de cette méthode par rapport aux autres .

L'utilisation de la puissance instantanée pour la détection des défauts dans la machine asynchrone a fait l'objet de nombreux travaux [CHE14] .

### **I.6.3. Analyse de couple électromagnétique :**

Le couple électromagnétique développé dans les machines électriques, provient de l'interaction entre le champ statorique et celui rotorique. Par conséquent, tout défaut, soit au niveau du stator ou au rotor, affecte directement le couple électromagnétique. L'analyse spectrale du signal du couple (mesuré ou estimé), donne des informations sur l'état de santé du moteur [CHA17] .

### **I.6.4. Analyse de courant statorique :**

Parce qu'il est facilement accessible, et vue 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) [CHE14] .

### I.6.5. Analyse de vibratoire :

Le diagnostic vibratoire est une méthode très ancienne et très utilisée pour la détection des défauts dans les machines électriques. Toutes les machines électriques produisent du bruit et des vibrations. Leur analyse peut être employée pour fournir des informations sur l'état de la machine. Plus souvent, les mesures sont faites comme une procédure non fréquente ou lorsqu'un problème est suspecté, les mesures sont faites en utilisant des accéléromètres ou des capteurs de vitesse à boulons. Des sondes de déphasage sont aussi employées pour le contrôle du mouvement de l'arbre. Le désalignement entre les centres des supports donnant naissance à un entrefer non uniforme produit la vibration à une fréquence double, tandis que le déséquilibre mécanique engendre la vibration à la vitesse angulaire, au moment où les deux dépendent de la réponse mécanique à cette fréquence.

Les signaux de vibrations détectés contiennent des informations essentielles sur l'état de la machine. L'analyse spectrale de ces signaux nous renseigne sur les différents défauts qui sont à l'origine de ces vibrations [HAR08] .

### I.7. Conclusion

Dans ce chapitre nous avons discuté le principe du fonctionnement du moteur asynchrone triphasé à cage en mentionnant ses composants. En plus, on a cité les différents défauts qui affectent la MAS et ses causes. Il existe plusieurs techniques de détections, ce chapitre a consacré une partie qui définit quelques techniques de diagnostic. Le chapitre suivant va définir la technique de détection qui se base sur l'Analyse du Flux Magnétique.

**Chapitre .II.  
Diagnostic Des Défaits De  
Roulement**

## II.1.Introduction

La machine asynchrone peut affecter aux plusieurs problèmes mécaniques ou électriques. Nous allons mentionner dans cette partie à l'endommagement des roulements. L'objectif du chapitre est de savoir comment réagir ce défauts sur les grandeurs électromagnétique. L'idée principale est donc de mettre un aperçu sur la technique d'analyse du flux magnétique sous un défaut mécanique .

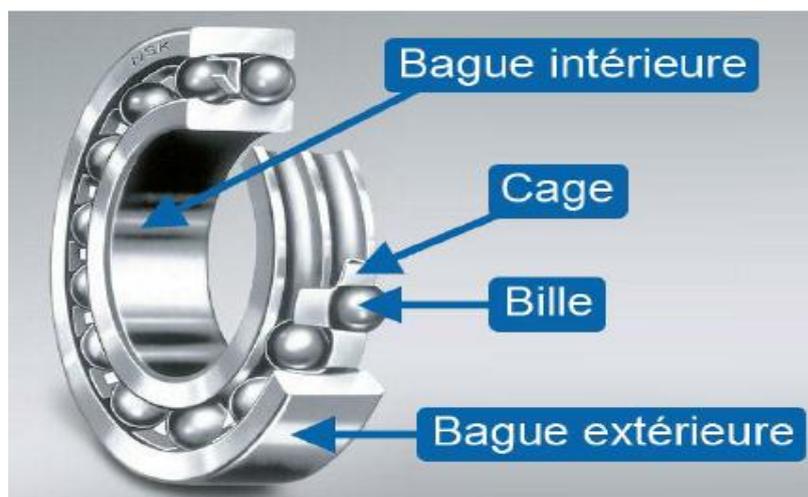
## II.2.Défaillances des roulements

Le roulement est un organe de base qui assure une liaison mobile entre deux éléments d'un mécanisme en rotation l'un par rapport à l'autre. Sa fonction est de permettre la rotation relative de ces éléments, sous charge, avec précision et avec un frottement minimal. La majorité des machines électriques utilisent les roulements à billes ou à rouleaux [IBR09] . Environ 40 % des défauts rencontrés dans les machines asynchrones sont liés aux Roulements [MOH15] .

Le roulement est composé des éléments suivants:

deux bagues concentriques en acier, appelés bague intérieure et bague extérieure, comportant des chemins de roulement (surfaces sur lesquelles "roulent" les corps roulants) ; des corps roulants, billes ou rouleaux généralement en acier, permettant le mouvement des deux bagues avec un frottement minimal; une cage séparant et guidant les corps roulants (en polyamide, tôle acier, laiton ou résine) [KHE13].

la figure suivante montre structure d'un roulement à billes :



**Figure.II.1.**Structure d'un roulement à billes [GRA13] .

**II.2.1.Causes défaillances des roulements :**

Les roulements peuvent être endommagés pour des raisons externes telles que:

- contamination du roulement par des particules extérieures : poussière, grains de sable.
- corrosion engendrée par la pénétration d'eau, d'acides.
- lubrification inadéquate qui peut causer un échauffement et l'usure du roulement.
- mauvais alignement du rotor.
- courant qui traverse le roulement et qui cause des arcs électriques [CHA15] .

Les défauts pouvant affecter le chargeur sont nombreux, et dans cette section nous pouvons décrire certains de ces défauts:

**II.2.1.a.Grippage:**

C'est un effet d'adhérence (blocage) de deux pièces en mouvement relatif .il est caractérisé par l'apparition des traces brunes d'échauffement, laminage du métal. Il est dû à leurs dilatation (jeu résiduel nul) ou à une absence de lubrification figure(II.2).donc, on peut dire que le grippage est un phénomène caractérisé par des micro- arrachements des particules métalliques [ADB10] .



**Figure.II.2.**Grippage sur la bague intérieure d'un roulement [TRO01].

**II.2.1.b.Détérioration des cages:**

La vibration inadmissible ainsi que les coups durant le montage sont responsables de la déformation et de la détérioration de la cage. Il s'agit même de la déformation et de la rupture de la cage du roulement [BEN17] .



**Figure.II.3.**Déformation de cage d'un roulement [TRO01].

### II.2.1.c.Corrosion:

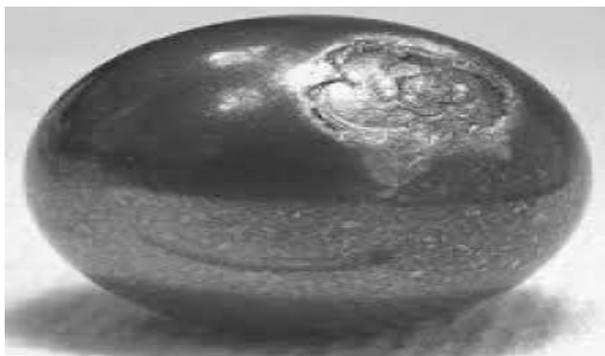
Causée par la présence de l'humidité au points de contact des éléments roulants avec les chemins. La figure représente une corrosion sur bague intérieure d'un roulement à rouleaux conique, voir figure II.4 [BEN17] .



**Figure.II.4.**Corrosion de contact sur la bague Intérieur  
d'un roulement à rouleaux [BEA02] .

### II.2.1.e.Usure :

Le glissement des différents éléments, progresse avec l'introduction de particules contaminant au montage ou pendant le fonctionnement. Il est vrai que l'usure d'un roulement à billes peut être une source de contamination [BES17] .



**Figure.II.5.**Usure à Bille [HAM18] .

### II.2.1.f. Jeu de roulement:

Comme indiqué sur la figure ci-dessous, on peut distinguer plusieurs positions des vides: bagues intérieure ou extérieure, billes ou cage, le jeu est très dangereux puisqu'il aggrave l'état de roulement rapidement (ex. écaillage) et fait une dégradation des contacts mécaniques surtout dans un milieu pollué. Le jeu radial ou axial au niveau de roulement peut provoquer l'usure (figure.II.6)[BEN17] .

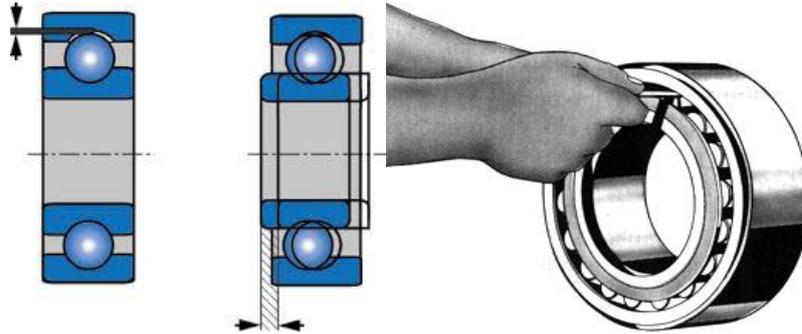


Figure.II.6. Jeu de roulement (axial et radial) [BLO13],[COU03] .

### II.2.2. Fréquences caractéristiques des défauts de roulement :

La relation entre les vibrations des roulements à billes et le spectre du courant statorique est basée sur le fait que toutes les excentricités interfèrent sur le champ dans l'entrefer de la machine asynchrone. Un défaut de roulement à billes se manifeste par la répétition continue du contact défectueux avec la cage de roulement extérieur comme intérieur [HUS02].

la fréquence de répétition sera pour la cage intérieure et extérieure : [RIZ18]

$$f_{\text{int}} = (nb/2) f_r [1 + (Db/Dc) \cos \theta] ; [\text{HZ}] \quad (\text{II.1})$$

$$f_{\text{int}} = (nb/2) f_r [1 - (Db/Dc) \cos \theta] ; [\text{HZ}] \quad (\text{II.2})$$

Le spectre en courant est alors décrit par : [KER16]

$$f_{\text{int}, \text{ext}} = f_s \pm [n (nb/2) f_r [1 \pm (Db/Dc) \cos \theta]] ; [\text{HZ}] \quad (\text{II.3})$$

Cette expression contient des données spécifiques au roulement à billes.

- $f$  = fréquence d'alimentation; [HZ]
- $f_r$  = fréquence de rotation mécanique; [HZ]
- $n = 1, 2, 3, \dots, n \in \mathbb{N}$  ;
- $n_B$  = nombre de billes ;
- $D_b$  = diamètre des billes ; [mm]

- $D_c$  = La distance entre les centres des billes diamétralement opposées ;[mm]
- $\Theta$ = l'angle de contact de la bille avec la cage.[rad]

En considérant que le nombre de billes est compris entre 6 et 12 habituellement, deux relations couramment rencontrées sont : [HAR08]

$$f_{\text{ext}} = 0,4 \cdot \text{nb} \cdot f_r \quad (\text{II.4})$$

$$f_{\text{int}} = 0,6 \cdot \text{nb} \cdot f_r \quad (\text{II.5})$$

donc le spectre en courant sera enrichi de :

$$f_{\text{int}, \text{ext}} = f_s \pm n f_r (\text{ext, int}) ; [\text{HZ}] \quad (\text{II.6})$$

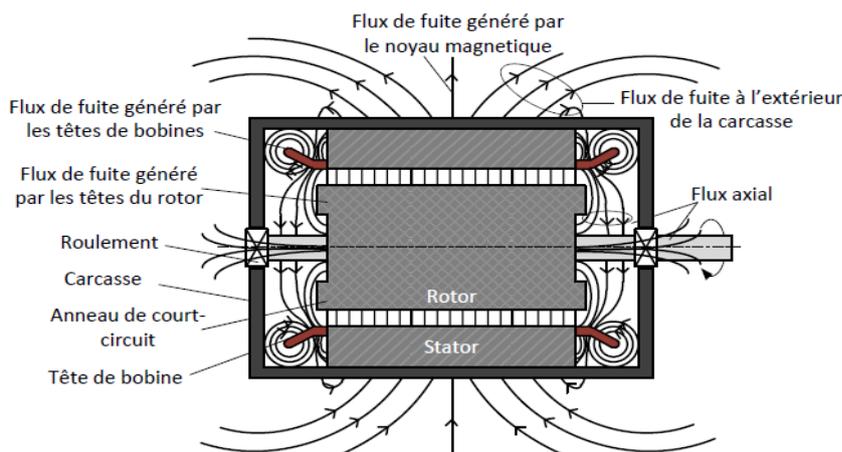
### II.2.3.Conséquences des défauts de roulement :

- 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 [MED12] .

Sur le système, ce type de défaut se traduit par des oscillations du couple de charge, une apparition de pertes supplémentaires et un jeu entre la bague interne et la bague externe du roulement entraînant des vibrations par les déplacements du rotor autour de l'axe longitudinale de la machine. Dans le cas le plus défavorable, la présence d'un roulement défectueux peut amener au blocage du moteur [OLI06].

### II.3.Diagnostic par mesure du flux magnétique

Les signaux de diagnostic de base du moteur à induction sont les signaux de tension et de courant du circuit statorique. En plus des valeurs des courants dans les enroulements du stator et du rotor, le niveau du flux magnétique est une autre caractéristique distinctive des moteurs à induction. Dans les machines à induction symétrique, les liaisons de flux ont un composant uniquement dans une direction radiale. Pour toute asymétrie des moteurs à induction, les liaisons de flux se décomposent en outre en une composante axiale. La composante axiale provoque non seulement des pertes supplémentaires dans les enroulements d'extrémité du stator, mais elle agit également comme un porteur d'informations de diagnostic contenues dans les harmoniques de temps de champ électromagnétique disponibles par la mesure [JAR16].



**Figure.II.7.**Répartition de lignes de flux de fuite dans une machine électrique [AND12] .

### II.3.1.Diagnostic par mesure du Flux magnétique axial de fuite :

Dans le cas idéal de fonctionnement, les courants et les tensions statoriques de la machine sont équilibrés. Mais lors d'un défaut quelconque, il entraîne un déséquilibre électrique et magnétique dans la partie statorique, ce qui provoque l'apparition des flux de fuite axial de valeurs liées au degré de sévérité du défaut. Pour analyser ce flux axial, on place à l'extrémité de la machine ou autour de l'arbre une bobine .elle sera le siège d'une force électromotrice induite. Le flux de mesure peut être utilisé dans l'analyse spectrale pour le suivi de l'état électrique et détecter le type de défauts d'un MSA à cage [ALL10] .



**Figure.II.8.**Mesure du flux axial [VOI03].

### II.3.2. Diagnostic par mesure du Flux magnétique radial de fuite:

La mesure du flux magnétique extérieur s'effectue à l'aide d'un capteur bobiné. Celui-ci est placé sur le côté de la machine, à égale distance des extrémités de la culasse et à une distance  $x$  de l'axe, comme indiqué sur la figure(II.9). Le contenu spectral du flux axial, concernant les fréquences de ses composantes, sera similaire à celui du flux radial. En fait il sera moins riche, car il existe plusieurs conditions pour

qu'un harmonique d'induction génère une composante de courant associée. D'autre part, le fait de placer le capteur à mi-distance des extrémités de la culasse minimise l'influence de la composante axiale. C'est pourquoi la caractérisation du flux mesuré résultera uniquement de l'induction d'entrefer, qui nous offre une image plus réelle sur l'état de santé de notre machine [SAH03] .



Figure.II.9.Mesure du flux radial [ALL10].

## II.4. Capteur de flux magnétique

Les capteurs magnétiques peuvent être utilisés directement pour les mesures de champ, mais aussi pour la distance, la vitesse et le courant, dont certains sont mentionnés :

### II.4.1. Capteurs à Effet Hall :

La plupart des capteurs magnétiques qui sont produits utilisent l'effet Hall. Ils peuvent être appliqués à la mesure de courant. Les capteurs de Hall sont réalisés à partir de matériaux semi-conducteurs. Ils nécessitent d'être alimentés par un courant I [HEL16] .

#### II.4.1.1.Applications des capteurs à effet Hall :

- Pour la caractérisation du type d'un semi-conducteur.
- Pour la mesure sans contact de courant forts.
- Pour la mesure des inductions magnétiques : tesla mètre, gaussmètre, magnétomètre.
- Pour la détection des câbles électriques cachés dans un mur [HAM17] .

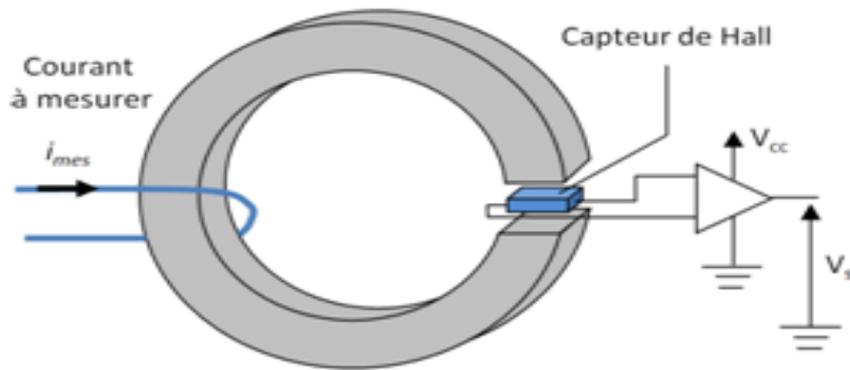


Figure.II.10.Schéma de principe d'un capteur de Hall [EVO13].

#### II.4.2.Capteurs magnéto-résistifs :

On désigne par magnéto-résistance la variation de la résistance d'un matériau sous l'action d'un champ magnétique. Celui-ci peut agir directement sur les électrons de conduction ou indirectement en affectant l'aimantation, la résistance dépendant alors de l'état magnétique du système [HAM17] .

##### II.4.2.1.Applications des magnéto-résistifs :

- Pour la lecture de la tête et de la boussole.
- Pour une utilisation dans les capteurs de courant .
- Pour mesurer la vitesse angulaire .
- Pour mesurer le champ magnétique.

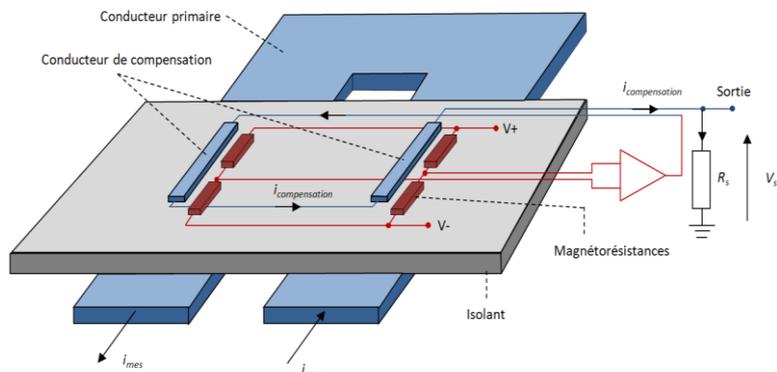
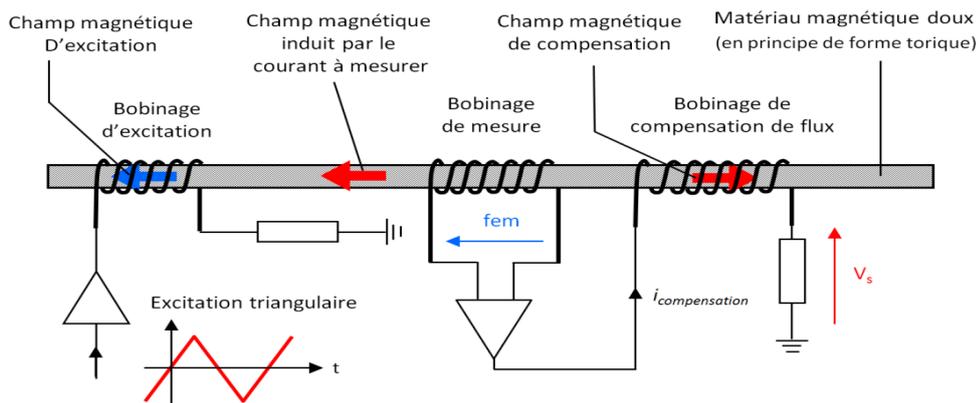


Figure.II.11.Schéma de principe d'un capteur magnéto-résistif monté en pont de Wheatstone et opérant en boucle fermée [EVO13] .

#### II.4.3.Capteur Les fluxgate :

Le capteur fluxgate le plus simple se compose d'un noyau fait d'un matériau magnétique doux, le plus souvent un alliage ferromagnétique, et d'au moins deux bobines : une pour l'excitation et l'autre pour la détection figure.II.11 [HAM17] .



**Figure.II.12.**Schéma de principe d'un capteur fluxgate opérant à flux nul [EVO13].

#### II.4.3.1.Applications des Capteur Les fluxgate :

- Pour des mesures de champ précises .
- Utilisé pour mesurer le géomagnétisme.

#### II.5.Position du capteur de flux magnétique

Du fait de la circulation supposée des lignes de champ, le capteur sera plus sensible au champ axial ou radial, selon la position de cette bobine sur le pourtour de la machine.

Si la bobine est plaquée en position 1 (Pos.1), elle va mesurer le champ axial. Dans ce cas l'amplitude du flux mesuré est maximale au niveau des flasques (près des têtes de bobines), et que le minimum se situe au milieu de la longueur de la machine ; ce minimum étant pratiquement nul.

Si la bobine est plaquée en position 2 (Pos.2), elle va mesurer le champ radial, mais elle peut également embrasser une partie du champ axial selon que le capteur est plus ou moins éloigné des têtes de bobines.

La position 3 (Pos.3) correspond à la mesure du champ qualifié de "radial pure" puisque, en théorie, aucune ligne de champ axial ne peut traverser la section du capteur bobiné dans cette position.

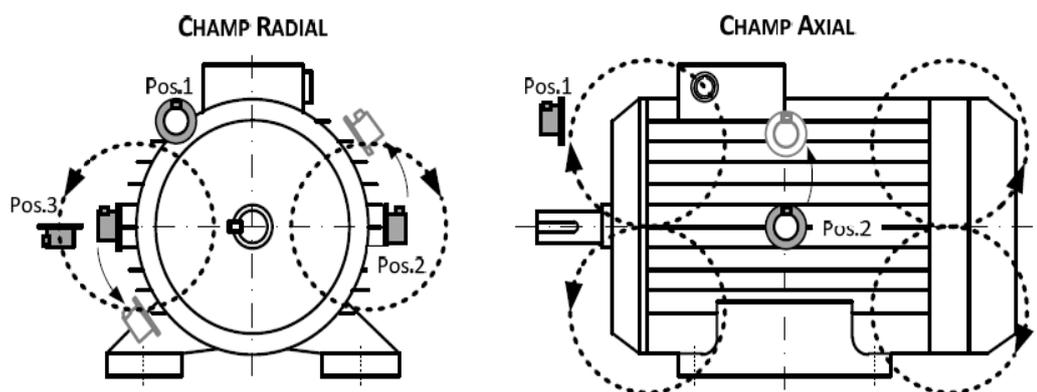


Figure.II.13.Position du capteur de flux magnétique [AND12] .

## II.6.Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons donné une présentation du défaut de roulement dans machine asynchrone qui est affecté diverses parties du moteur asynchrone en mentionnant de la technologie du flux magnétique et du capteur de flux magnétique afin de comprendre les phénomènes affectés par ce défaut .

Nous ferons une analyse complète du défaut de roulement dans le prochain chapitre en se basant sur l'Analyse des Signatures de Flux Parasite « ASFP » qui est en Anglais : Stray Flux Signature Analysis (SFSA) .

**Chapitre. III.**  
**Analyse des défauts de  
roulement dans la bague  
extérieure**

### III.1. Introduction

Les méthodes de diagnostic sont divisées en deux grandes catégories, celles qui utilisent un modèle analytique du système et celles sans ce modèle, l'approche analytique est inspirée par les ingénieurs en automatisation, car chaque méthode a des caractéristiques spécifiques et des résultats de détection variables les uns des autres .

Dans ce chapitre, nous nous sommes concentrés sur une étude à travers laquelle les défauts sont détectés en utilisant la technique (ASFP), grâce à l'endroit où la détection des défauts est détectée roulement exact dans la bague extérieure .

#### Remarque :

- Dans ce chapitre, tout ce qui est simulé en bleu indique une MAS sain (a) .
- La couleur rouge indique l'état défectueux de la MAS (b) .

### III.2. Analyse des résultats

Comme nous avant dit , cette partie sera appliquer la technique de SFSA-FFT afin de détecter le défaut de la bague extérieur (BE) .

#### III.2.1. Préparation du défaut :

De nombreux types de défauts mécaniques provoquent un couple supplémentaire. La charge appliquée au moteur asynchrone à des effets des changements périodiques du couple de charge qui affecte sur la distribution du flux magnétique de la MAS. La Figure III.1 présente une photo l'image d'un roulement défectueux .



**Figure.III.1.**Photos d'un roulement défectueux dans la BE [BES17] .

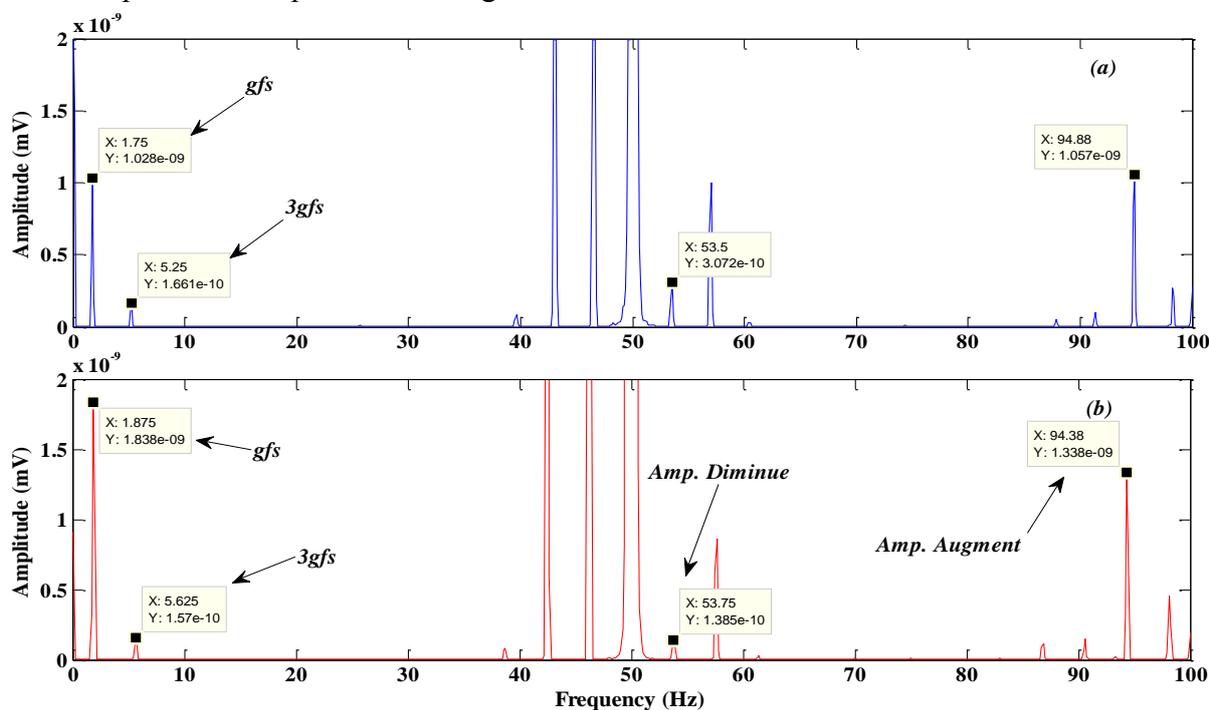
#### III.2.2. Analyse du défaut dans la bague extérieure :

Dans cette partie, le moteur asynchrone est analysé sous un défaut dans la bague extérieure. Le but de cette analyse est de détecter les signatures qui marquent le défaut.

- Nous avons remarqué que l'état de sain et l'état en présence du défaut dans la bague extérieure du roulement sont inclus dans les plages fréquentielles le long du

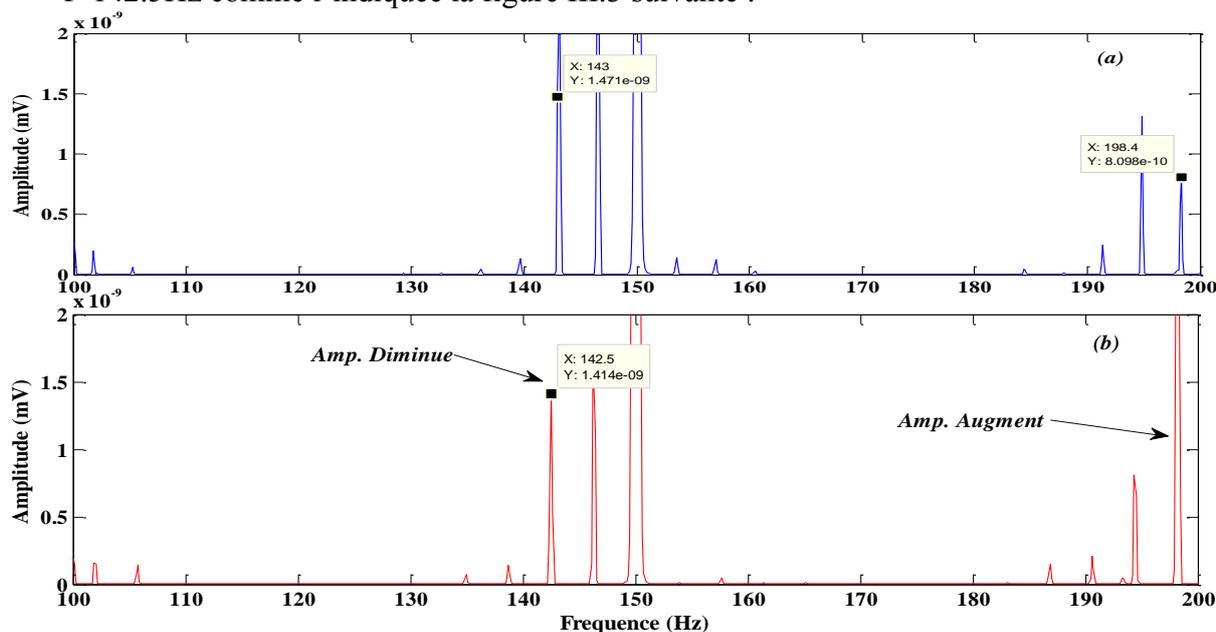
## Chapitre .III. Analyse des défauts de roulement dans la bague extérieure

[0; 100]. Nous remarquons également une augmentation d'amplitude de la fréquence  $f=94.34\text{Hz}$  et une diminution de la fréquence  $f=53.75\text{Hz}$  où les valeurs d'amplitudes indiquées dans la figure III.2



**Figure.III.2.**Spectre de flux de 0-100Hz

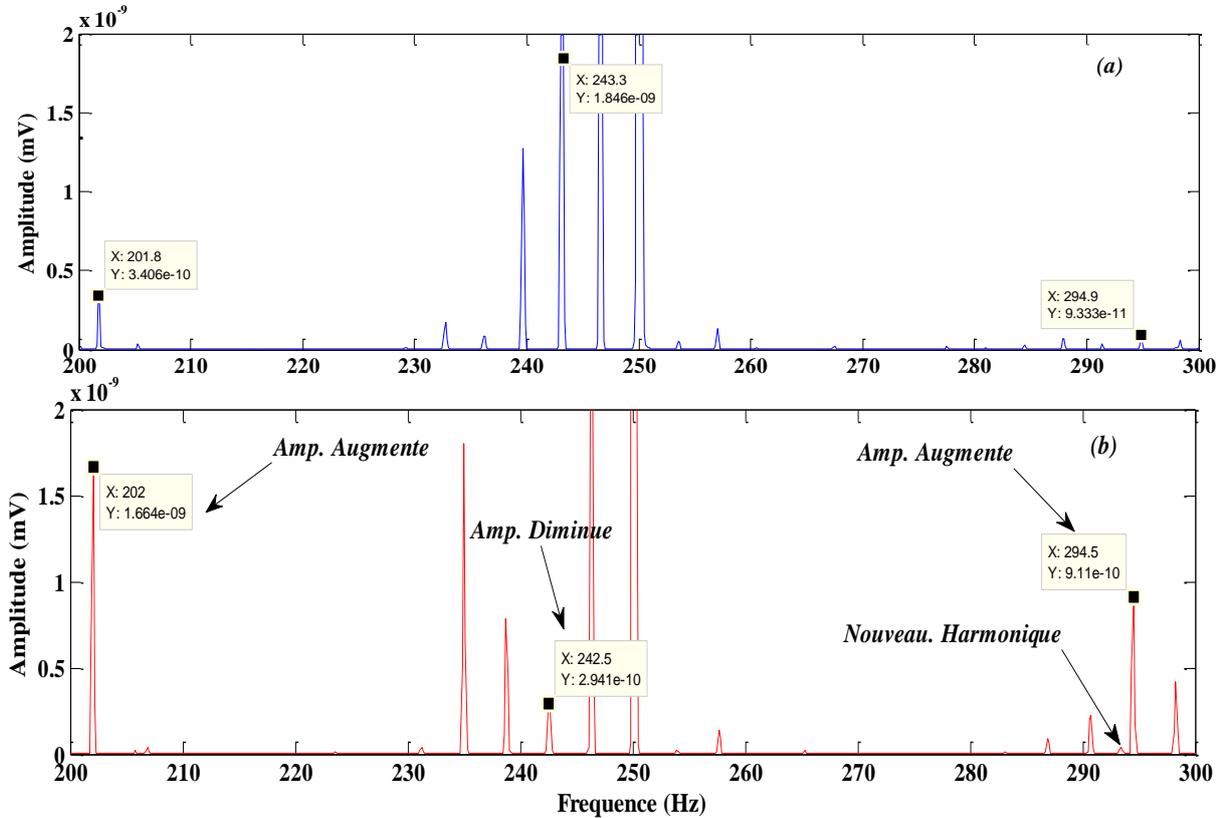
- Nous avons indiqué aussi que l'état de sain et l'état défectueux de la MAS sont inclus dans les fréquences le long de la bande des fréquences [100; 200]. On a vu une nouvelle variation d'amplitude de fréquence dans cette bande ; comme la fréquence  $f=198\text{Hz}$ . Mais, on voit une diminution d'amplitude de la fréquence  $f=142.5\text{Hz}$  comme l'indiquée la figure III.3 suivante :



**Figure.III.3.**Spectre de flux de 100-200Hz .

## Chapitre .III. Analyse des défauts de roulement dans la bague extérieure

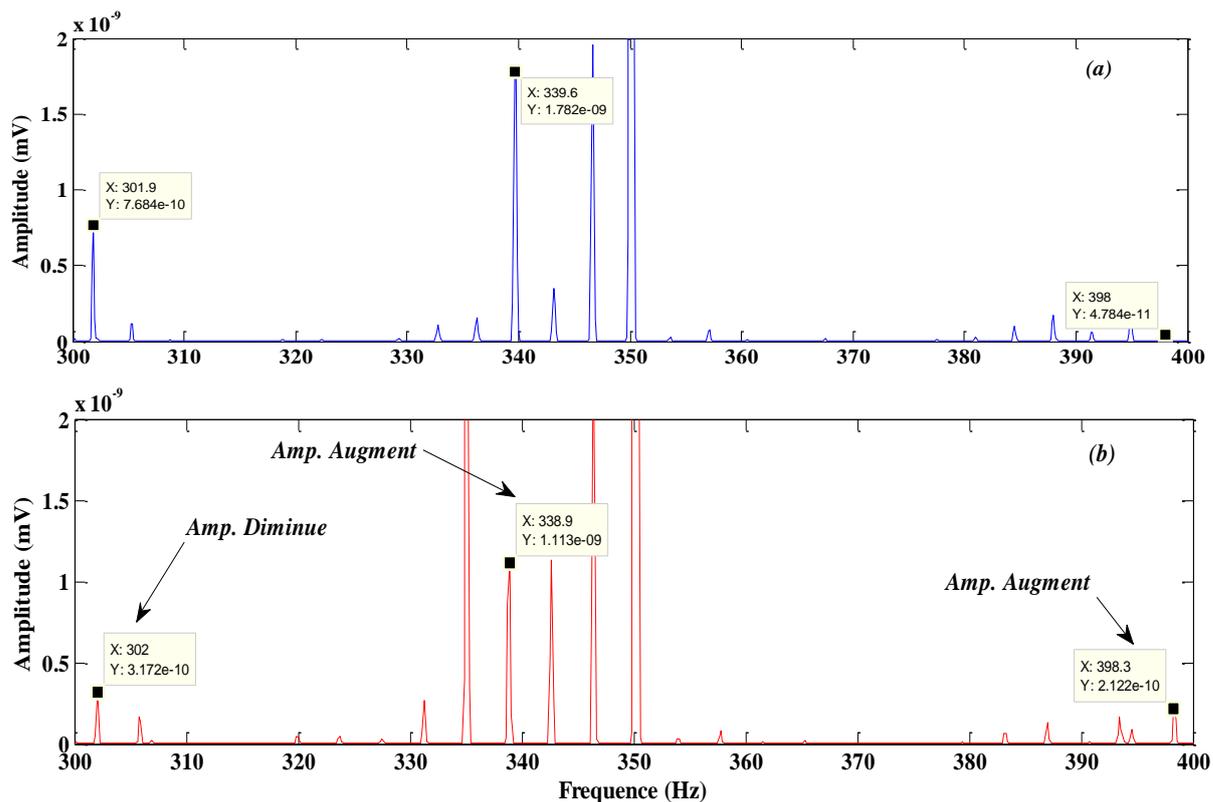
- On peut noter aussi aux fréquences dans la bande [200 ;300] pour un état sain de la MAS et un état défectueux de celle-ci. Comme les remarques précédentes, une augmentation pour  $f=202\text{Hz}$  et une diminution pour  $f=242.5\text{Hz}$  tout concernant leurs amplitudes figure III.4



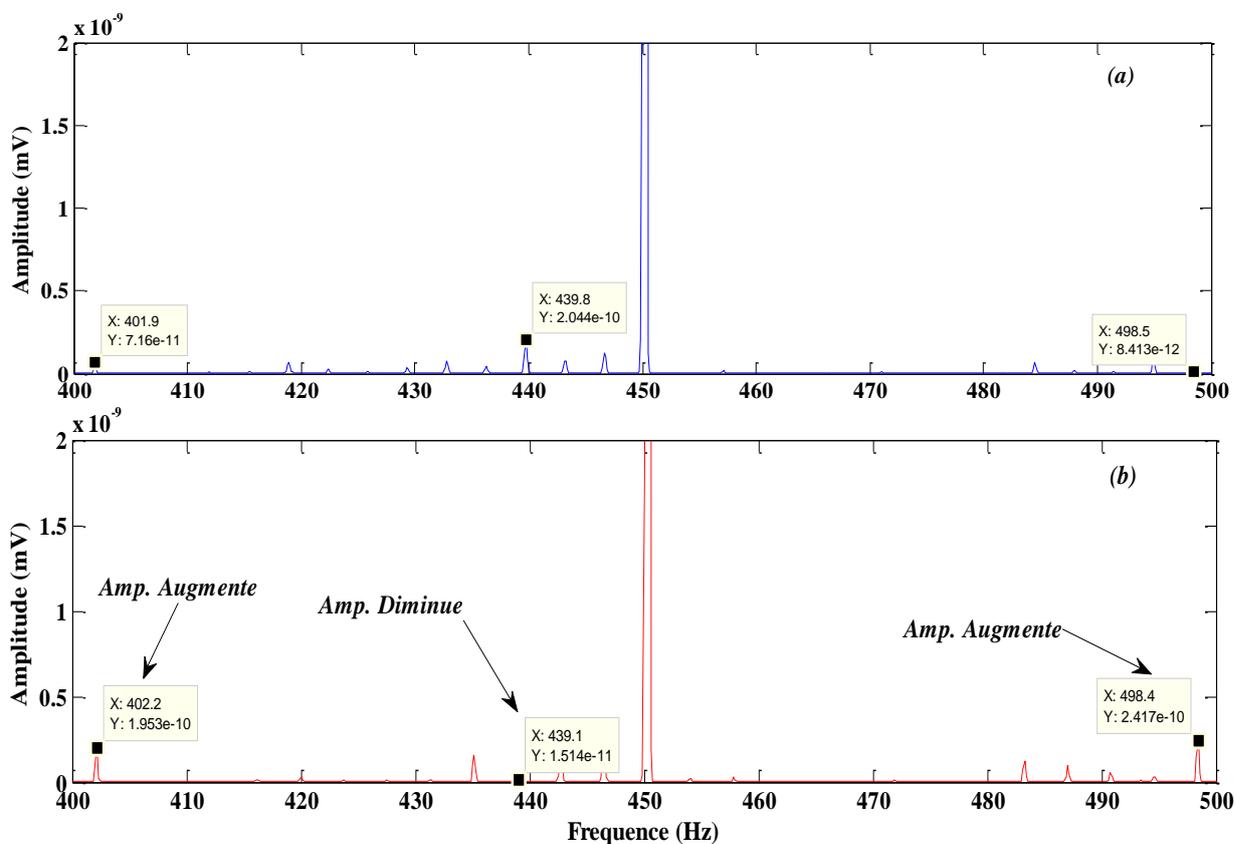
**Figure.III.4.**Spectre de flux de 200-300Hz .

- De même façon, les bandes fréquentielles : [300 ; 400], [400 ; 500], [500 ; 600] et [600 ; 700] ont quelques fréquences qui ont été touchées au niveau d'amplitude comme :  $f=398.3\text{Hz}$ ,  $f=302\text{Hz}$ ,  $f=402.2\text{Hz}$ ,  $f=498.4\text{Hz}$ ,  $f=593.6\text{Hz}$ ,  $f=598\text{Hz}$ ,  $f=627.7\text{Hz}$  et  $f=698\text{Hz}$ . Les figures ci-dessous montrent bien ces changements.

### Chapitre .III. Analyse des défauts de roulement dans la bague extérieure



**Figure.III.5.** Spectre de flux de 300-400Hz .



**Figure.III.6.** Spectre de flux de 400-500Hz .

### Chapitre .III. Analyse des défauts de roulement dans la bague extérieure

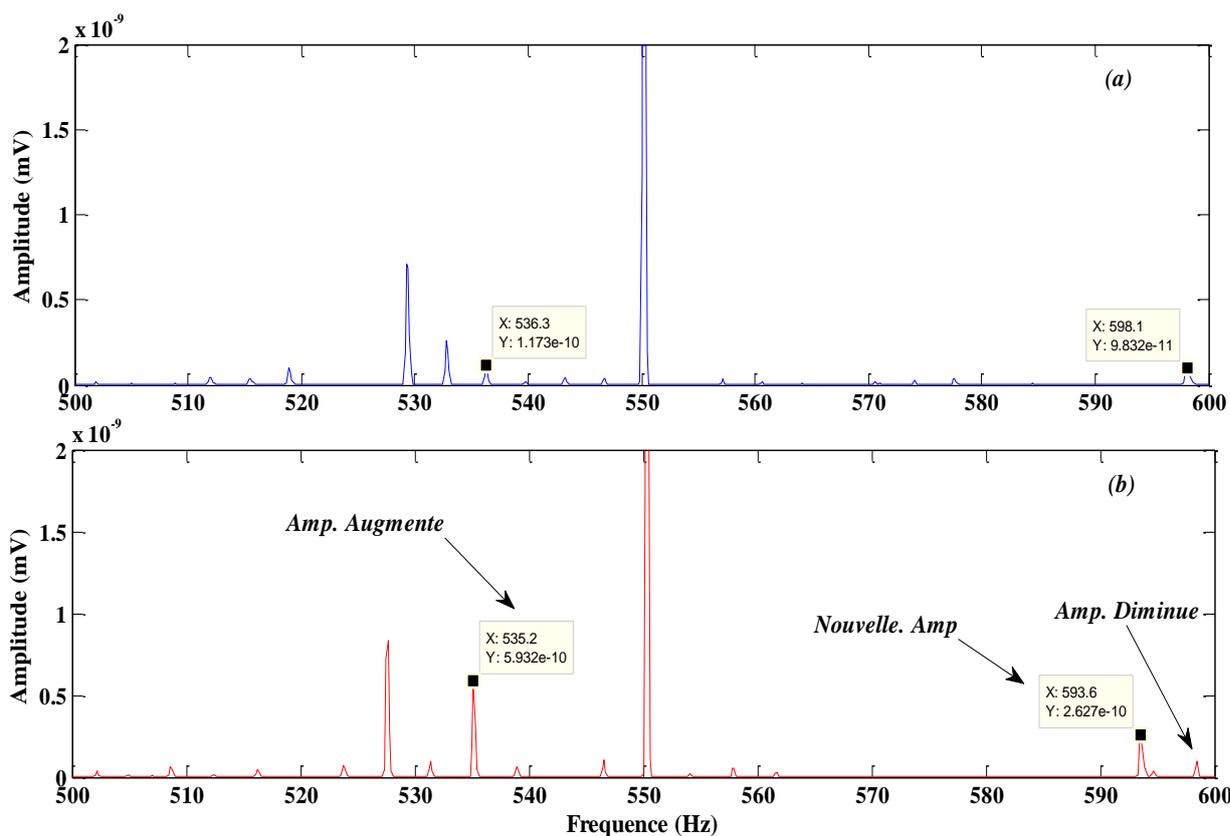


Figure.III.7.Spectre de flux de 500-600Hz .

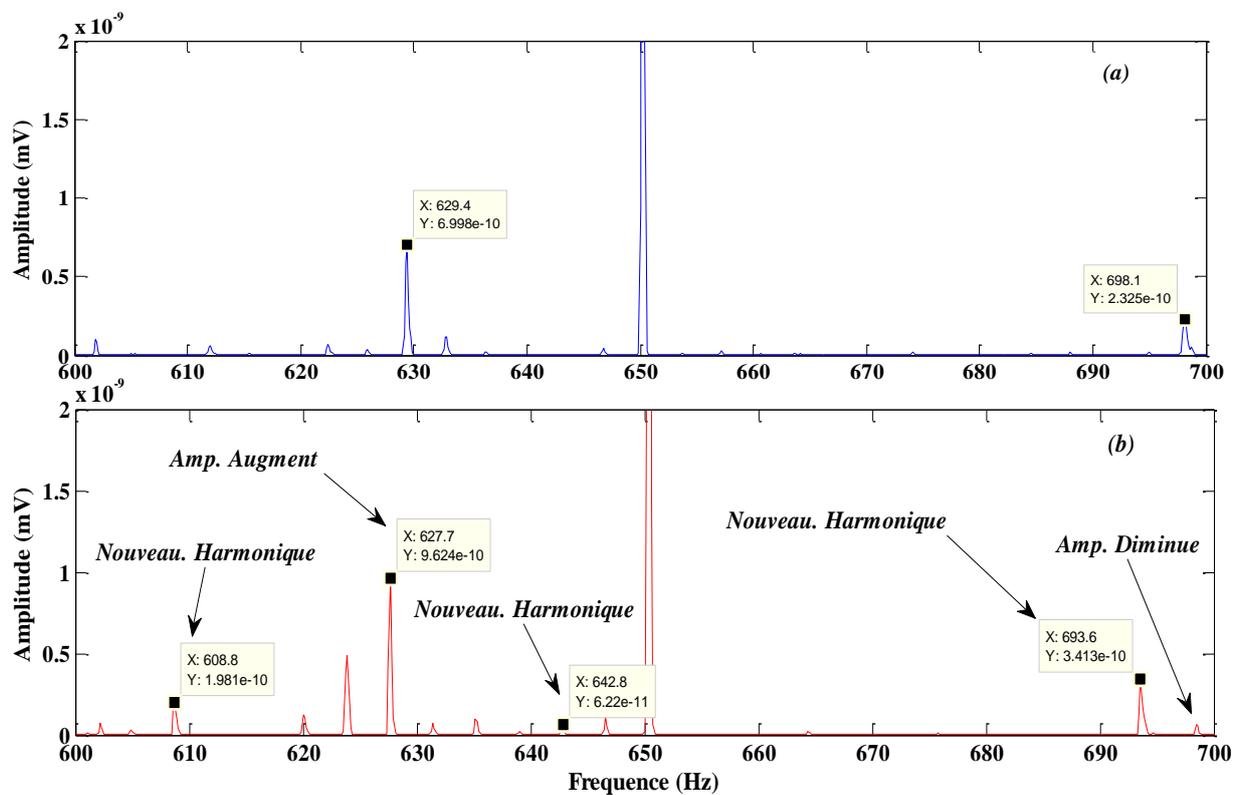


Figure.III.8.Spectre de flux de 600-700Hz .

### **III.2.3.Explication physique de l'analyse spectrale du flux magnétique**

Cette étude a montré des nouvelles harmoniques, une augmentation d'amplitudes de quelques fréquences et une diminution d'autres. Ces variations peuvent être des indications sur l'existence du défaut de la BE du roulement de la MAS.

L'apparition de vibrations et une augmentation de la consommation du courant électrique par rapport à sa consommation nominale est causée par la variation du flux magnétique dans la plupart des cas. Ce qui entraîne une élévation de la température et d'autres pertes comme la magnétisation du matériau. Cela peut conduire au mauvais fonctionnement de la MAS.

### **III.3.Conclusion**

L'analyse spectrale du flux est l'une des techniques les plus utilisées pour le diagnostic des défauts des machines électriques. Dans ce chapitre nous avons utilisé cette technique pour détecter le défaut du roulement. Des signatures ont été trouvées dans cette partie qui nous ont permis d'avoir une décision sur l'état de la machine. Mais, plusieurs fréquences caractéristiques du défaut dans la BE n'ont pas été trouvées.

## **CONCLUSION GENERALE**

## CONCLUSION GENERALE

Ce mémoire fait partie du diagnostic des machines asynchrones. La jauge de défaut de la machine nécessite inévitablement le développement d'un système de diagnostic fiable et efficace qui a l'objectif de diagnostiquer avec précision les défauts.

On a commencé ce travail par un rappel de différents défauts pouvant affecter le bon fonctionnement des machines asynchrones ainsi que leurs causes et techniques de détection. Selon la littérature et un bref aperçu des différentes méthodes de diagnostic ont été citées. Mais, ce travail a utilisé l'analyse du flux magnétique pour détecter le défaut du roulement dans la bague extérieure en raison de sa simplicité et de son efficacité à prédire, c'est pourquoi nous avons adopté cette technique.

Quant au deuxième chapitre, nous avons expliqué exactement où se trouvent les défauts, nous nous sommes donc concentrés sur le défaut dans la bague externe du roulement en mentionnant en détail la technique utilisée dans ce mémoire.

La troisième partie ont été traitée la détection du défaut en utilisant l'analyse du flux magnétique extérieur de la MAS. Nous avons effectué une analyse spectrale la transformation de Fourier rapide (TFR ou FFT en Anglais) par MATLAB.

En résumé, l'effet du défaut sur l'amplitude d'un nombre important d'harmoniques est remarquable dans des bandes fréquentielles différentes tout à l'aide d'une analyse de signal du flux magnétique.

Enfin, ce travail propose une analyse spectrale afin de détecter et identifier le défaut du roulement dans la machine asynchrone. Il serait utile d'appliquer l'idée de la méthode adoptée dans ce mémoire pour mettre en œuvre le programme pratiquement afin de vérifier l'idée présentée.

## **Références Bibliographiques**

## Références Bibliographiques

### Chapitre .I.

[**BES07**]: Noureddine BESSOUS , "Contribution Au Diagnostic Des Machines Asynchrones" Présenté en vue de l'obtention du diplôme de magister en Electrotechnique, Université MENTOURI de CONSTANTINE Faculté des Sciences de L'ingénieur Département d'Electrotechnique. 2007

[**BAB14**]: BABAA FATIMA , "Contribution à la modélisation et à la commande de la machine asynchrone" : "Application au diagnostic des défauts statoriques"

Présentée pour obtenir le diplôme de Doctorat en sciences En électrotechnique UNIVERSITE CONSTANTINE Faculté des Sciences de la Technologie Département d'Electrotechnique . Soutenu le : 11/06/ 2014

[**ZEG09**]: ZEGAI, MOHAMMED. "Synthèses des techniques de commande DTC associe à l'intelligence artificielle appliquée au contrôle d'un moteur asynchrone alimenté par onduleur multiniveaux." PhD diss., Thèse de Doctorat de l'université de Bejaia, 2009. XIII, 2015.

[**MED12**]: MEDOUED AMMAR , "Surveillance Et Diagnostic Des Défauts Des Machines Electriques: Applications Aux Moteurs Asynchrones Présentée en vue de l'obtention du diplôme de Docteur en Sciences Spécialité: Electrotechnique Université du 20 Août 1955-Skikda Faculté de Technologie Département de Génie Electrique . Soutenu le : 08 / 03 / 2012

[**OND06**] :ONDEL OLIVIER. "Diagnostic par reconnaissance des formes: Application à un ensemble convertisseur-machine asynchrone." PhD diss., 2006.

[**MER09**]: MERABET HICHEM , "Surveillance Et Détection De Défauts D'une Machine A Induction" Présenté pour l'obtention du diplôme de **Magister** ,Université Badji Mokhtar –Annaba Faculté des Sciences de l'Ingénieur Département d'électrotechnique Année 2009

[**CHR01**]:[<http://chris.duporge.free.fr>]

[**PMAS02**]:[[https://www.google.com/search?q=principe+de+fonctionnement+de+machine+asynchrone&rlz=1C1RLNS\\_frDZ853DZ888&source=lnms&tbn=isch&sa=X&ved=2ahUKEwjS\\_6XI8N\\_nAhW08uAKHc0bDUMQ\\_AUoAXoECBEQAw&biw=1366&bih=635#imgrc=kDXE-hUiKNpoNM&imgdii=RSIrrN4394ZGPM](https://www.google.com/search?q=principe+de+fonctionnement+de+machine+asynchrone&rlz=1C1RLNS_frDZ853DZ888&source=lnms&tbn=isch&sa=X&ved=2ahUKEwjS_6XI8N_nAhW08uAKHc0bDUMQ_AUoAXoECBEQAw&biw=1366&bih=635#imgrc=kDXE-hUiKNpoNM&imgdii=RSIrrN4394ZGPM)]

[**HAL15**]: HALEM Noura , "Modélisation des Machines Asynchrones Triphasées à Cage en Vue du Diagnostic par la Méthode des Eléments Finis" Thèse présentée en vue de l'obtention du diplôme de: **Doctorat en Sciences** Spécialité : Génie Electrique

## Références Bibliographiques

Université Mohamed Kheider –Biskra Faculté des Sciences et de la Technologie  
Soutenu publiquement le 07/04/2015

**[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 présentée en vue de l'obtention du diplôme de : **Doctorat en Sciences** Spécialité: Génie électrique Université Mohamed Khider – Biskra : Faculté des Sciences et de la Technologie , Département: Génie Electrique ,Soutenu publiquement le 28 /09 /2017 .

**[KHE12]** : KHELIF Samia , "Modélisation Des Machines Asynchrones en Vue du Diagnostic Prise en Compte Adéquate du Circuit Magnétique" Mémoire présenté en vue de l'obtention du diplôme de **Magister** en : Electrotechnique , Université Mohamed Khider – Biskra Faculté des Sciences et de la technologie Département: Génie Electrique ,Soutenu publiquement le 2012

**[GHO10]**: GHOGGAL ADEL, "Contribution A La Modélisation De La Machine Asynchrone Triphasée Dédiée Au Diagnostic "Thèse en Vue de l'Obtention du Diplôme de **Doctorat** en Science En Electrotechnique , Université Mohamed KHIDER Biskra Faculté des Sciences et de la Technologie Département de Génie Electrique Filière Electrotechnique , Soutenu publiquement le 13/07/2010

**[SAH10]**:SAHRAOUI Mohamed , "Etude Comparative des Méthodes de Diagnostic des Machines Asynchrones " Thèse en Vue de l'Obtention du Diplôme de **Doctorat** en Science En Electrotechnique , Université Mohamed KHIDER Biskra Faculté des Sciences et de la Technologie Département de Génie Electrique Filière Electrotechnique 2010

**[GHO05]**:GHOGGAL ADEL , "Diagnostic de la Machine Asynchrone Triphasée Modèle Dédié à la Détection des Défauts " Mémoire en Vue de l'Obtention du Diplôme de **MAGISTERE** En Electrotechnique Option Machines Electriques ,Université de Batna Faculté des sciences de l'Ingénieur Département d'Electrotechnique 2005

**[ZEM04]**: RYAD ZEMOURI , "Contribution à la surveillance des systèmes de production à l'aide des réseaux de neurones dynamiques: Application à la e-maintenance " Automatique / Robotique , Université de Franche-Comté, 2003. Français. <tel-00006003> , HAL Id: tel-00006003 ; Submitted on 3 May 2004 .

**[LEB06]**: ABDESSLAM LEBAROUD , " Modélisation et techniques orientées vers le diagnostic de la machine asynchrone associée à des sources variables "THESE

## Références Bibliographiques

Préparée à Département d'Electrotechnique de l'Université de Constantine ,Pour obtenir le titre de **Docteur** En Sciences Spécialité: Machines électriques , Soutenue le : 23 / 09/ 2006

**[HAR08]**: Mr HARIR Miloud , " Etude des Défauts dans La Machine

Asynchrone à Cage d'Ecureuil par l'Emploi de la Fonction d'Enroulement Modifiée " , Université des Sciences et de la Technologie d'Oran Mohamed Boudiaf Faculté de génie-Electrique Département D'électrotechnique Mémoire En Vue De L'obtention du diplôme De **Magister** Spécialité : Electrotechnique. OPTION : Commande Electrique. 2008

**[AND12]**:ANDRIAN CEBAN , "Methode Globale De Diagnostic Des Machines Electriques " , Thèse présentée et soutenue publiquement le 2 février 2012 en vue de l'obtention du grade de **Docteur** de l'Université Discipline : Génie Électrique, Université Lille de Nord de France – École doctorale SPI Université d'Artois – Laboratoire Systèmes Électrotechniques et Environnement .

**[CHE14]**:HAKIMA CHERIF , " Détection des défauts statorique et rotorique dans la machine asynchrone en utilisant l'analyse par FFT et ondelettes " Mémoire présenté en vue de l'obtention Du diplôme de **Magister** Option : Commande et motorisation des véhicules électriques Préparé au laboratoire de Génie Electrique LGEB de Biskra , Université Mohamed Khider – Biskra Faculté des Sciences et de la Technologie Département : Génie Electrique ,Soutenu publiquement le 30/09/2014 .

**[CHA17]**: ABDELGHANI CHAHMI. "Identification paramétrique de la machine asynchrone dédiée au diagnostic ". Energie électrique. université des sciences et technologie d'Oran -MB 2017. Français. <tel-01658902> , HAL Id: tel-01658902 ,Submitted on 8 Dec 2017

**[sch]**[https://www.google.com/search?tbs=simg:CAQSnQIJTwhYCWYUi8kakQILELCMpwgaYgpgCAMSKLIGqwa9EgoGoxKkEq8SswaiEr8GojOjM5Yz\\_1TKLPsszpzKM5sz9DYaMFjhJZftFauvga52tttb2phW3Hq3uN5SHGtKl6kElz-2VvaUnLy0E0LeobIZofbISAEDAsQjq7-CBoKCggIARIELKLzVgwLEJ3twQkaiQEKGOoHbWFjaGluZdqliPYDCgoIL20vMGRrdzUKFgoEdG9vbNqliPYDCgoIL20vMDdrMXgKFQoDZ2Fz2qWI9gMKCggvbS8wMzd4eQocCghvaWwgcHVtcNqliPYDDAoKL20vMDQzbtseAofCgxiYWxsIGJlYXJpbmfapYj2AwsKCS9tLzAxYzRkbAw&sxsrf=ALeKk01LY9zxcpnTwl4lepy-b85853meiA:1583452379029&q=machine&tbm=isch&sa=X&ved=2ahUKEwjOjckw4](https://www.google.com/search?tbs=simg:CAQSnQIJTwhYCWYUi8kakQILELCMpwgaYgpgCAMSKLIGqwa9EgoGoxKkEq8SswaiEr8GojOjM5Yz_1TKLPsszpzKM5sz9DYaMFjhJZftFauvga52tttb2phW3Hq3uN5SHGtKl6kElz-2VvaUnLy0E0LeobIZofbISAEDAsQjq7-CBoKCggIARIELKLzVgwLEJ3twQkaiQEKGOoHbWFjaGluZdqliPYDCgoIL20vMGRrdzUKFgoEdG9vbNqliPYDCgoIL20vMDdrMXgKFQoDZ2Fz2qWI9gMKCggvbS8wMzd4eQocCghvaWwgcHVtcNqliPYDDAoKL20vMDQzbtseAofCgxiYWxsIGJlYXJpbmfapYj2AwsKCS9tLzAxYzRkbAw&sxsrf=ALeKk01LY9zxcpnTwl4lepy-b85853meiA:1583452379029&q=machine&tbm=isch&sa=X&ved=2ahUKEwjOjckw4)



### Chapitre .II.

**[KER16]** :Kerfali Samir 'contribution à la surveillance et au diagnostic des défauts de la machine asynchrone' thèse présentée en vue de l'obtention du diplôme de doctorat soutenue le 10/05/2016 université badji Mokhtar Annaba .

**[HUS02]**:Ayman Hussain 'Contribution à la commande adaptative robuste par modes glissants ' thèse doctorat, Université de Reims Champagne Ardenne, 2009.

**[IBR09]**:ALI IBRAHIM'Contribution au diagnostic de machines électromécaniques : Exploitation des signaux électriques et de la vitesse instantanée' Thèse de Doctorat ÉCOLE DOCTORALE SCIENCES, INGÉNIERIE, SANTÉ Diplôme délivré par l'Université Jean Monnet le 10 Mars 2009.

**[HAR08]**: Mr HARIR Miloud , "Etude des Défauts dans La Machine Asynchrone à Cage d'Ecureuil par l'Emploi de la Fonction d'Enroulement Modifiée " Université des Sciences et de la Technologie d'Oran Mohamed Boudiaf Faculté De Génie-Electrique Département D'électrotechniques ; Memoire En Vue De L'obtention Du Diplome De **Magister** 2008.

**[OLI06]** : Olivier ONDEL , "Diagnostic Par Reconnaissance Des Formes : Application A Un Ensemble Convertisseur – Machine Asynchrone" THESE Présentée Devant L'ÉCOLE CENTRALE DE LYON Pour Obtenir Le Grade De DOCTEUR (Arrêté Du 30/03/1992) Spécialité : Génie Électrique Préparée Au Sein De L'ÉCOLE DOCTORALE ÉLECTRONIQUE, ÉLECTROTECHNIQUE, AUTOMATIQUE DE LYON , Soutenu le 17 Octobre 2006 devant la commission d'examen .

**[ALL10]** : ALLAL ABDERRAHIM , "Grandeurs non invasives pour le diagnostic des machines asynchrones " UNIVERSITE FERHAT ABBAS - SETIF- UFAS (ALGERIE) MEMOIRE Présenté à la faculté des sciences de l'ingénieur Département d'Electrotechnique Pour l'obtention du Diplôme de Magister En Electrotechnique Option : Machines Electriques et leurs commandes ,Soutenu publiquement le 05 / 05 / 2010 .

**[HAM17]** : HAMMA KHALISSA -MAHDJOURI SAMIA , "Détecteur De Champ Magnétique" Université Abou BakrBelkaïd de Tlemcen ,Faculté de Technologie Département de Génie Biomédical ; MEMOIRE DE PROJET DE FIN D'ETUDES Pour l'obtention du Diplôme de **MASTER** en GENIE BIOMEDICAL ,Soutenu le 19 Septembre 2017 .

## Références Bibliographiques

[**HEL16**] :HELENE HORSIN MOLINARO – Eric VOURC'H "Capteurs pour la mesure de courant" Edité le 22/01/2016 , université PARIS-SACLAY .

[**EVO13**]:E.Vourc'h. Systèmes électromagnétiques pour la mesure, l'analyse et la transmission d'informations (HDR, 2013) .

[**RIZ18**] :RIZI KHALED , "Contribution Au Diagnostic Et A La Detection Des Defauts D'un Générateur Asynchrone A Cage" UNIVERSITÉ BADJI MOKHTAR – ANNABA ,Faculté Des Sciences D'ingénieur Département D'électromécanique , Mémoire Pour l'obtention d'un diplôme de **Master 2** , Soutenu le : 20/06/2018 .

[**BES17**]: BESSOUS NOUREDDINE "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 Faculté des Sciences et de la Technologie Département: Génie Electrique,Thèse présentée en vue de l'obtention du diplôme de Doctorat en Sciences ,Spécialité: Génie électrique Option: ELECTROTECHNIQUE Soutenue publiquement le 28 /09 /2017 .

[**MED12**]: MEDOUED AMMAR " Surveillance Et Diagnostic Des Defauts Des Machines Electriques: Applications Aux Moteurs Asynchrones " Université du 20 Août 1955-Skikda Faculté de Technologie Département de Génie Electrique , THESE Présentée en vue de l'obtention du diplôme de **Docteur** en Sciences Spécialité: Electrotechnique ,Soutenue le : 08 / 03 / 2012 .

[**MOH15**]: MOHAMMED OBAID MUSTAFA " On Fault Detection, Diagnosis and Monitoring for Induction Motors" Control Engineering Group Division of Signals and Systems Department of Computer Science and Electrical Engineering Lulea University of Technology SE- 97 187 Lulea, Sweden , March 2015 .

[**ADB10**] : ADBI ZOHRA " étude des effets vibratoires sur la durée de vie des roulements e rouleaux " UNIVERSITE BADJI MOKHTAR-ANNABA , Faculté des sciences de l'ingénieur Année 2010 ,Département d'Electromécanique MEMOIRE Présenté en vue de l'obtention du diplôme de MAGISTER .

<https://www.nskeurope.com/en/services/troubleshooting/damage-by-type/seizure.html>.

[**TRO01**] :

<https://www.bearing-news.com/bearing-failure-rca-fretting/> . [**BEA02** ]

<http://biblio.univ-annaba.dz/ingeniorat/wp-content/uploads/2018/12/Hamis-Rabia.pdf> .

[**HAM18**]

<https://www.jesa.com/blog/2013/01/24/les-jeux-dans-les-roulements-a-billes/>.[ **BLO13**]

## Références Bibliographiques

<https://www.maxicours.com/se/cours/montage-des-roulements-2/>[COU03]

[BEN17]: BENINE HAMZA , DERDOURI MOHAMEDE AYMANE "etude de la vibration des machines a induction sous un défaut de roulement " université ECHAHID HAMMA Lakhdar d'El-Oued , Faculté des Sciences et de la Technologie Département: Génie Electrique, Thèse présentée en vue de l'obtention du diplôme de MASTER ACADEMIQUE en Sciences ,Spécialité: Génie électrique Option: ELECTROTECHNIQUE. 2017/2018 .

[KHE13] : ILYES KHELFI "Diagnostic Des Machines Tournantes Par Les Techniques De L'intelligence Artificielle "UNIVERSITE BADI MOKHTAR-ANNABA Année: 2013/2014 Faculté des Sciences de l'Ingénierat département de Génie Mécanique Thèse Présentée en vue de l'obtention du diplôme de Doctorat .

[VOI03 ]: VOITTO KOKKO "Condition Monitoring Of Squirrel-Cage Motors By Axial Magnetic Flux Measurements" Academic Dissertation to be presented with the assent of the Faculty of Technology, University of Oulu, for public discussion in Raahensali (Auditorium L10), Linnanmaa, on March 14th, 2003 .

[SAH 03]: SAHRAOUI MOHAMED "Contribution aux diagnostics des machines asynchrones triphasées à cage " Université Mohamed Khider Biskra, 10/2003 .

[CHA15]: CHAIB SID ALI et BOUSSAIDI AZEDDINE " Détection Et Caractérisations Des Défauts Des Roulements Par L'analyse Spectrale" Université M'HAMED BOUGARA BOUMERDES , Faculté des Sciences de l'Ingénieur Département : Maintenance industrielle Option : Génie électrique Spécialité : Signal et communication Mémoire de **Master** Année 2015/2016 .

[GRA13] : GRAD HICHAM, Apport de la MCSA par rapport à l'analyse vibratoire pour le suivi de l'état de la machine Asynchrone, Mémoire de Master en Electromécanique, Maroc, 2013.

[AND12] : ANDRIAN CEBAN "Méthode Globale De Diagnostic Des Machines Electriques" Université Lille de Nord de France – École doctorale SPI , Université d'Artois – Laboratoire Systèmes Électrotechniques et Environnement , présentée et soutenue publiquement le 2 février 2012 en vue de l'obtention du grade de **Docteur** de l'Université , Discipline : Génie Électrique .

[JAR16 ]: M.Sc. Eng. Jarosław Tulicki, Ph.D. Eng. Janusz Petryna, Ph.D. Eng. Maciej Sułowicz, Department of Electrical and Computer Engineering, Institute of

## **Références Bibliographies**

Electromechanical Conversion, Cracow University of Technology." Fault Diagnosis Of Induction Motors In Selected Working Conditions Based On Axial Flux Signals " 2016 .