



Université Mohamed Khider de Biskra
Faculté des Sciences et de la Technologie
Département de Génie Electrique
Filière d'Electrotechnique

MÉMOIRE DE MASTER

Commande Electrique
Réf. :

Présenté et soutenu par :
GAHMOUCHE Abdelhak

Le: Samedi 6 juillet 2019

Diagnostic de la machine asynchrone par mesure de champ Magnétique de dispersion

Jury

Pr. ALLOUI Lotfi
Pr. ZOUZOU Sallah -Eddine
Dr. GHOGGEL Adel

Professeur
Professeur
MCA

Président
Encadreur
Examineur

Année universitaire : 2018/2019



Université Mohamed Khider de Biskra
Faculté des Sciences et de la Technologie
Département de Génie Electrique
Filière d'Electrotechnique

MÉMOIRE DE MASTER

Commande Electrique

Présenté et soutenu par :
GAHMOUCHE Abdelhak

Le: Samedi 6 juillet 2019

Diagnostic de la machine asynchrone par mesure de champ Magnétique de dispersion

Présenté par :
GAHMOUCHE Abdelhak

Avis favorable de l'encadreur :
ZOUZOU Sallah -Eddine *Signature*

Avis favorable du Président du Jury :
ALLOUI Lotfi *Signature*

Cachet et signature

Remerciements

Je remercie, avant tout, Allah, le Tout-Puissant, de m'avoir accordé parmi Ses innombrables Grâces, santé et courage pour accomplir ce travail.

*Mes plus vifs remerciements vont à mon encadreur pour sa disponibilité et la qualité de son encadrement, **Prof ZOUZOU Salah -Eddine**, Maître de conférences à l'Université Mohamed Khider de BISKRA.*

*Mes remerciements vont à Dr **LAADJAL Khaled** pour l'aide.*

*Mes remerciements vont à Mes collègues **ZAATER Mohamed lamine** et **YOUCEF Oussama** et **LEMBARKI Elys** sur l'esprit de coopération au cours de la réalisation de notre mémoire.*

Mes vifs remerciements vont également aux membres de jury de soutenance de ce mémoire :

***Mr. ALLOUI lotfi**, d'avoir accepté la présidence de jury de soutenance.*

***Mr. GHOGGEL Adel**, pour avoir accepté d'examiner mon travail et faire partie du jury.*

Je n'oublierai pas d'exprimer un profond respect à tous mes professeurs qui m'ont inculqué les fondements scientifiques tout au long des cursus de mon étude.

Mes derniers mots s'adressent tous ma famille

Dédicaces

Je dédie ce mémoire :

✚ *A mon père, à ma mère*

✚ *A mes frères et mes sœurs*

✚ *A la mémoire de mes grands parents*

✚ *A tous mes amis (es)*

✚ *A tous mes maîtres et professeurs : du primaire au supérieur*

Gahmouche Abdelhak

Sommaire

Liste des symboles utilisés.....	
INTRODUCTION GENERALE.....	1
Chapitre I : Etat de l'art de la machine asynchrone.....	
I. 1. INTRODUCTION	2
I. 2. CONSTITUTION DE LA MACHINE ASYNCHRONE	2
I. 3. LES PRINCIPAUX DEFAUTS DANS LA MACHINE ASYNCHRONE TRIPHASEE A CAGE	4
I. 3 .1. Défauts statoriques	6
I. 3. 2. Défaut rotorique.....	6
I. 4. LA MAINTENANCE	6
I.4.1. Définition	6
I.4.1.1. Maintenance Corrective.....	7
I.4.1.2 Maintenance Préventive	7
I.4.1.2.1. Maintenance préventive systématique	7
I.4.1.2.2. Maintenance préventive conditionnelle	7
I.5.METHODE DE DIAGNOSTIC DES MACHINES ASYNCHRONES	8
I.5.1. L'estimation de paramètres physiques	8
I.5.2. L'estimation d'état	8
I.5.3 Traitement de signaux	8
a) - Analyse spectrale	9
b) - Analyse cepstrale	9
c) - Les méthodes de détection de fréquences connues	9
d) - Méthodes temps –fréquence	9
e) - Méthode temps-échelle	9

I.6. TECHNIQUE DE DIAGNOSTIC DES MACHINES ELECTRIQUE	9
I.6.1. Diagnostic par mesure du courant statorique	10
I.6. 2. Diagnostic utilisant les courants de Park	10
I.6.3. Diagnostic par l'analyse de la puissance instantanée	10
I.6.4. Diagnostic par mesure du flux de fuite	11
I.6.5. Diagnostic par l'analyse du couple électromagnétique	11
I.6.6. Diagnostic par mesure des vibrations	11
I.7. SIGNATURES SPECTRALES DES DEFAUTS DANS LE SPECTRE DU COURANT STATORIQUE	12
I.7.1 Les harmoniques de la fmm dans la machine asynchrone	12
I.7.2 Les signatures spectraux pour révéler les défauts	12
I.7.2.1 Les défauts statoriques	12
I.7.2.2 Les défauts des barres rotoriques	13
I.7.2.3 Les défauts d'excentricité	14
I.7.2.4 Les défauts de roulements	15
Chapitre II : la simulation par le logiciel flux 2D
II.1. INTRODUCTION	17
II.2. CONSTRUCTION DU MODELE DE LA MACHINE ASYNCHRONE	17
II.2.1. Présentation du logiciel Flux2D	17
II.2.2. Les caractéristiques de la machine asynchrone	17
II.3. Résultats de simulation	19
II.4.LIGNES DU CHAMP MAGNETIQUE A L'EXTERIEUR DE LA MACHINE.....	19
II.4.1. A moitié de la charge	20
II.4.2. A pleine charge	22
II.5. ANALYSE DU FLUX A L'ETATS SAIN ET DEFECTIEUX	24
II.5.1. Résultats de la simulation	24
II.5.2. Fonctionnement à moitié de la charge	24
II.5. 3. Fonctionnement en pleine de la charge	26
Chapitre III : Etude expérimental
III.1 : INTRODUCTION	29
III.2. La Transformée de Fourier	29

III.3. Champ de dispersion	30
III.4. PRESENTATION ET REALISATION DU BANC D'ESSAI	31
III.4.1. Schéma synoptique	32
III.4.2. Banc d'essai	32
III.5. ANALYSE DU FLUX DE FUITE A L'ETATS SAIN ET DEFECTIEUX	34
III.5.1. Résultats expérimentaux	34
III.5.1.1. Fonctionnement à vide	34
III.5.1.2. Fonctionnement 25% de la charge	36
III.5.1.3. Fonctionnement 50% de la charge	38
III.5.1.4. Fonctionnement 75% de la charge	40

List des figures

Chapitre I

Figure. I.1. Eléments de constitution d'une machine asynchrone à cage d'écureuil.....	2
Figure. I.2. Vue schématique en perspective du stator.....	3
Figure. I.3. Photo du stator d'une machine asynchrone.....	4
Figure. I.4. Vue schématique en perspective du rotor.....	4
Figure I.5. Répartition des défauts pour des machines de faibles et moyennes puissances....	5
Figure I.6. Répartition des défauts pour des machines de grandes puissances.....	6
Figure I.7. les mesures utilisées pour la surveillance et le diagnostic des machines asynchrones.....	10
Figure I.8. Types d'excentricité : (a) rotor concentré ; (b) excentricité statique (c) excentricité dynamique.....	14
Figure I.9. Dimension du roulement à billes.....	15

Chapitre II

Figure II.1. Lignes de champ magnétique à l'extérieur de la machine saine.....	20
Figure II.2. Lignes de champ magnétique à l'extérieur de la machine défectueux.....	21
Figure II.3. Lignes de champ magnétique à l'extérieur de la machine saine.....	22
Figure II.4. Lignes de champ magnétique à l'extérieur de la machine défectueux.....	23
Figure II.5. le signal de la force électromotrice en fonction du temps à l'état sain.....	24
Figure II.6. Le signal de la force électromotrice en fonction du temps à l'état défectueux...	24
Figure II.7. Analyse spectrale de la force électromotrice à l'état sain.....	25
Figure II.8. Analyse spectrale de la force électromotrice à l'état défectueux.....	25
Figure II.9. le signal de la force électromotrice en fonction du temps à l'état sain.....	26
Figure II.10. Le signal de la force électromotrice en fonction du temps à l'état défectueux..	26
Figure II.11. Analyse spectrale de la force électromotrice à l'état sain.....	27
Figure II.12. Analyse spectrale de la force électromotrice à l'état défectueux.....	27

Chapitre III

Figure III.1. Principe de la transformée de Fourier.....	30
Figure III.2. Répartition de lignes de flux de fuite dans une machine électrique.....	31

Figure III.3. Parties du champ extérieur.....	31
Figure III.4. Schéma synoptique du banc d'essai.....	32
Figure III.5. Banc d'essai expérimental.....	34
Figure III.6. Rotor utiliser dans la cassure de barre.....	34
Figure III.7. le signal de la force électromotrice en fonction du temps à l'état sain.....	35
Figure III.8. Le signal de la force électromotrice en fonction du temps à l'état défectueux...	35
Figure III.9. Analyse spectrale de flux de fuites à l'état sain.....	36
Figure III.10. Analyse spectrale de la force électromotrice à l'état défectueux.....	36
Figure III.11. Le signal de la force électromotrice en fonction du temps à l'état sain.....	37
Figure III.12. Le signal de la force électromotrice en fonction du temps à l'état défectueux.	37
Figure III.13. Analyse spectrale de la force électromotrice à l'état sain.....	38
Figure III.14. Analyse spectrale de la force électromotrice à l'état défectueux.....	38
Figure III.15. le signal de la force électromotrice en fonction du temps à l'état sain.....	39
Figure III.16. Le signal de la force électromotrice en fonction du temps à l'état défectueux.	39
Figure III.17. Analyse spectrale de la force électromotrice à l'état sain.....	40
Figure III.18. Analyse spectrale de la force électromotrice à l'état défectueux	40
Figure III.19. Le signal de la force électromotrice en fonction du temps à l'état sain.....	41
Figure III.20. Le signal de la force électromotrice en fonction du temps à l'état défectueux.	41
Figure III.21. Analyse spectrale de la force électromotrice à l'état sain.....	42
Figure III.22. Analyse spectrale de la force électromotrice à l'état défectueux.....	42

Liste des tableaux

Tab. II. 1: Tableau II.1. Les caractéristiques de la machine	18
Tab. III.1. La Caractéristiques de la machine utilisée.....	33

Liste des symboles

N_e : Le nombre d'échantillons.

Δf : La résolution fréquentielle.

f_e : La fréquence d'échantillonnage.

FFT : Fast Fourier transform (Harmoniques de temps).

g : Glissement.

T : Temps.

F : Fréquence.

K : constant.

f_b : fréquence de cassure de barre.

Ta : Le temps d'acquisition .

N_1 : vitesse du synchronisme (statorique).

N : vitesse de la rotation rotorique.

f_s : Fréquence fondamentale (Fréquence d'alimentation statorique).

f_r : Fréquence rotorique

f_{exe} : Fréquence d'excentricité.

p : Nombre de paires de pôles.

N_b : Nombre de barres rotoriques.

INTRODUCTION GENERALE

La plus part des machines utilisées dans l'industries sont les machines asynchrones, et pour assurer la continuité de service et le bon fonctionnement il faut suivre un programme de maintenance (corrective et préventive et conditionnel) dépende la stratégie de l'entreprise par contre la fiabilité et la sûreté de leur fonctionnement permettent en partie d'assurer la sécurité des personnes et l'environnement de travail avec donner une très bonne qualité du service et la rentabilité des installations.

Par les anciennes techniques de la détection de défaut dans les machines électriques c'est l'analyse de courant et de vibration et prouver dans les laboratoires de recherche pour les applications dans le demain industrie.

Récemment l'évolution des science les chercheurs découvrent des nouvelles techniques par ces technique on choisit une technique basée sur l'analyse de flux de fuite

La plus part des chercheurs qui fait le diagnostic nécessite la connaissance de l'état sain de la machine avec quelle que soit les grandeurs physiques et on fait la comparaison de la signature d'un état donné avec celle de l'état supposé sain parce que notre référence c'est l'états sain.

Par considération que le capteur utiliser dans cette méthode est très sensible.

Dans ce mémoire nous nous sommes intéressés au diagnostic des défauts au niveau du rotor dans un moteur asynchrone à cage d'écureuil parce que dans l'industrie prends un pourcentage considérable, L'étude a été répartie en trois chapitres :

-Dans le premier chapitre, on présente les causes et les natures des différents défauts et aussi les méthodes de diagnostic, c'est en quelque sorte, l'état de l'art du problème.

-Le deuxième chapitre est consacré à la présentation du logiciel Flux 2D et la simulation avec analyse spectral des résultats du signal de flux de fuite.

-Pour le troisième chapitre cette partie on fait l'essai expérimentale on rôle prend des informations sur la caractérisent de défaut et nous faisons une comparaison entre les mesures effectuée sur un signal référence à l'état sain et l'autre signal lorsque nous avons un défaut.



Chapitre I

Etat de l'art

I.1.INTRODUCTION

Dans ce chapitre, nous allons commencer par présenter certaines notions de base concernant la constitution de la machine asynchrone et les différents types de défauts électriques ou mécanique, et les activités de maintenance. A la fin nous présentons les différents méthodes de diagnostic actuellement utilisés dans l'industrie et appliqué à la machine asynchrone.

I.2. CONSTITUTION DE LA MACHINE ASYNCHRONE

La machine asynchrone, souvent appelée machine à induction, comprend une partie fixe appelée stator et une partie tournante appelée rotor (Figure I. 1). Contrairement aux machines synchrones classiques et à courant continu, seuls les enroulements statoriques sont couplés à un réseau d'alimentation. Les enroulements du rotor sont raccordés sur eux mêmes. La machine asynchrone ne possède donc ni enroulement d'excitation, ni aimants permanents. Le flux rotorique nécessaire pour la création du couple électromagnétique est produit à partir de la variation de flux magnétique statorique. Les circuits magnétiques statorique et rotorique sont réalisés à partir d'un empilement de tôles ferromagnétiques fines et découpées

Fig. (I.1) [1].

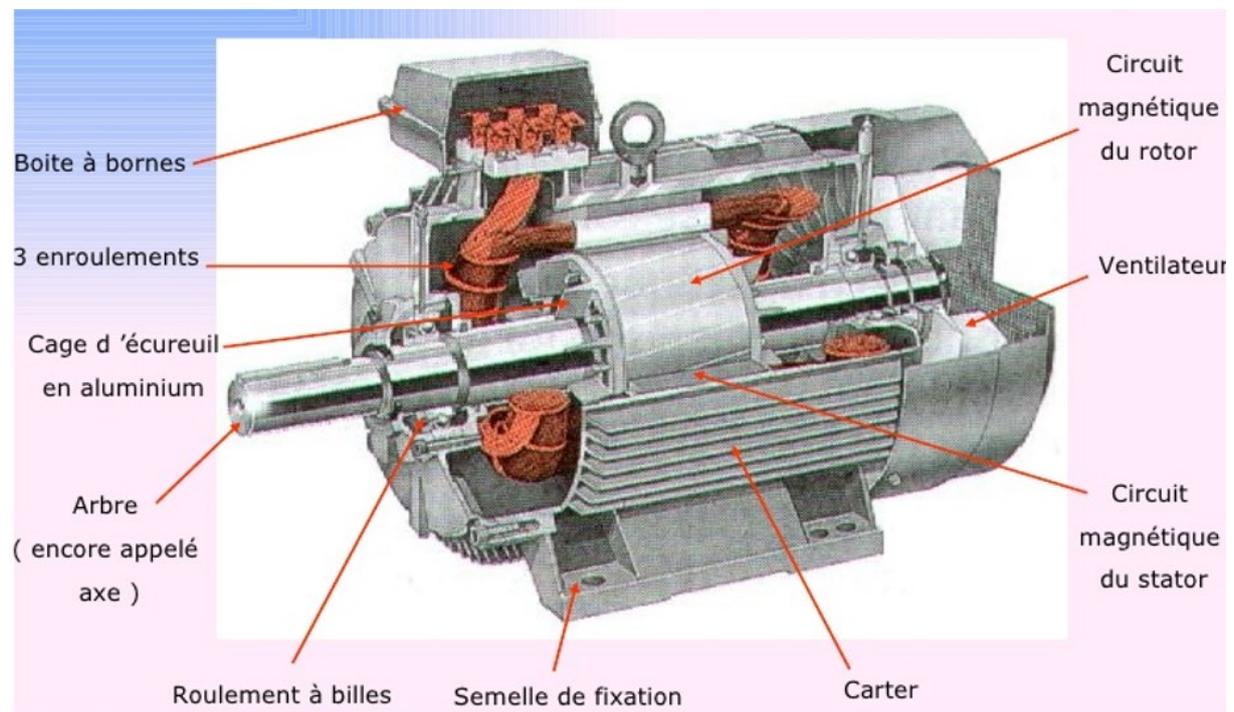


Fig. I.1. Eléments de constitution d'une machine asynchrone à cage d'écureuil.

Le bobinage statorique peut se décomposer en deux parties (Figure I. 2) et (Figure I. 3) [1]:

les conducteurs d'encoches et les têtes de bobines. Il est réalisé par la mise en série et parallèle de spires élémentaires. L'organisation des spires est faite en fonction de la vitesse, du couple et distensions d'alimentation désirées de la machine. Les conducteurs d'encoches permettent de créer dans l'entrefer le champ magnétique à l'origine de la conversion électromagnétique de l'énergie. 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 dans l'entrefer une distribution de courant la plus sinusoïdale possible, afin de limiter les ondulations du couple électromagnétique[1].

Dans le cas des rotors à cage d'écureuil (Figure I. 4), les conducteurs sont réalisés par coulage d'un alliage d'aluminium, ou par des barres massives de cuivre pré-formées et frettés dans les tôles du rotor. Il n'y a généralement pas, ou très peu, d'isolation entre les barres rotoriques et les tôles magnétiques. La résistance électrique de ces barres est suffisamment faible pour que les courants ne circulent pas dans les tôles. Les anneaux de court-circuit permettent la circulation des courants d'une barre rotorique à l'autre. Si ce type de réalisation ne permet pas véritablement d'obtenir une distribution sinusoïdale de courant à sa surface, il est par contre extrêmement robuste, peu couteux, et donc très répandu [1].

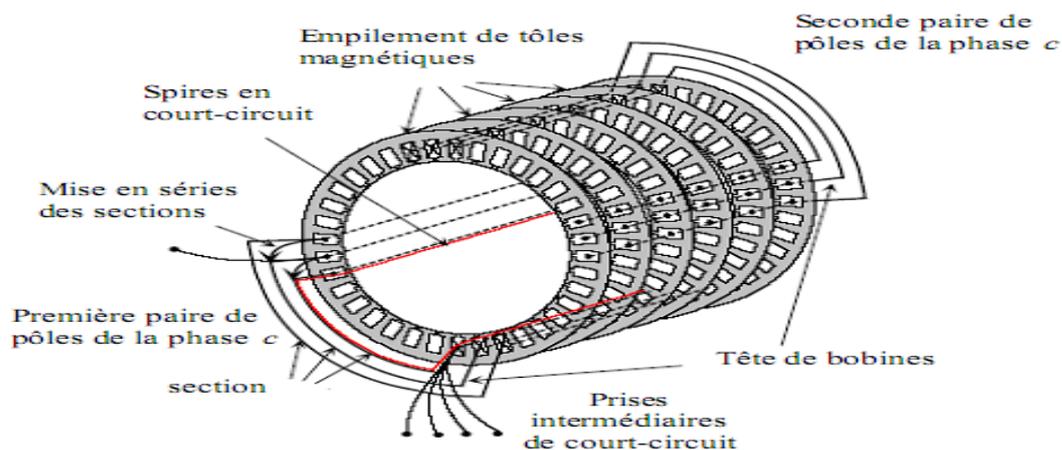


Fig. I.2. Vue schématique en perspective du stator (circuit magnétique, conducteurs d'encoches, tête de bobines). (Enroulement statorique d'une machine à 4 pôles) [1]..



Fig. I.3. Photo du stator d'une machine asynchrone[1].

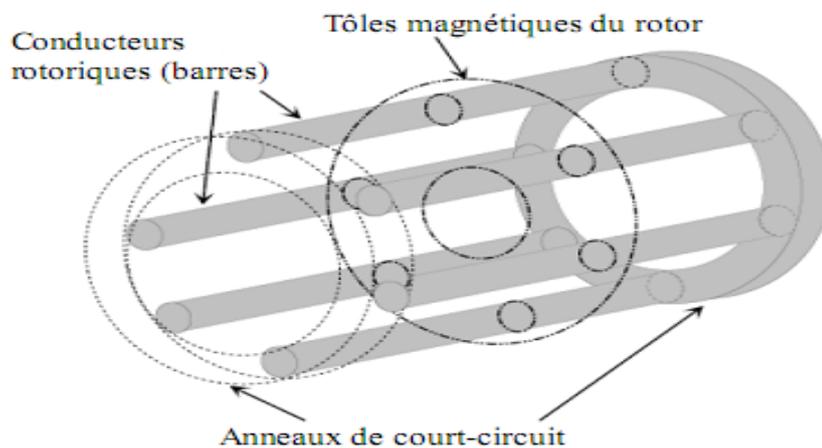


Figure. I.4. Vue schématique en perspective du rotor (tôles magnétiques, conductrices d'encoches (barres) et anneaux de court-circuit[1].

I.3. LES PRINCIPAUX DEFAUTS DANS LA MACHINE ASYNCHRONE

TRIPHASEE A CAGE

Dans la littérature, plusieurs études statistiques ont été émises concernant les défauts qui peuvent affecter la machine. Une étude statistique est effectuée en 1988, par une compagnie d'assurance allemande de systèmes industriels, sur les pannes des machines asynchrones de moyenne puissance (de 50kW à 200kW) a donné les résultats suivants[1] :

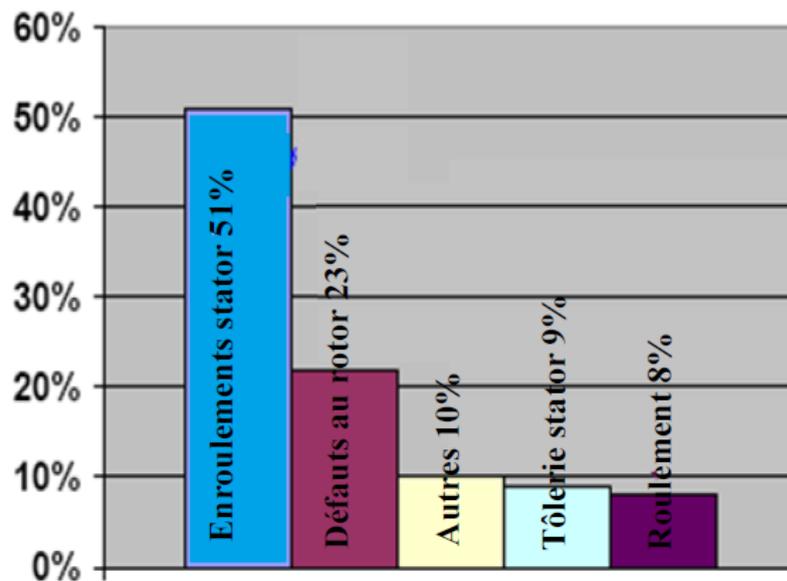


Figure I.5. Répartition des défauts pour des machines de faibles et moyennes puissances[1].

Une autre étude statistique a été faite sur les machines de grande puissance (de 100kW à 1MW) a donnée les résultats suivants[1] :

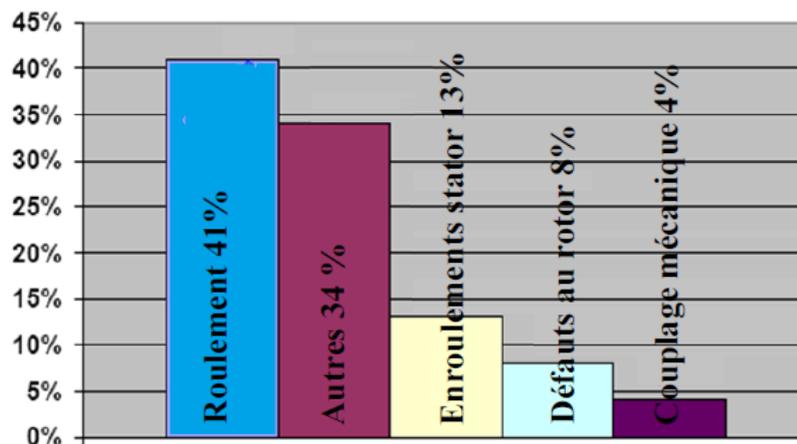


Figure I.6. Répartition des défauts pour des machines de grandes puissances[1]

D'après les statistiques données par la figure I.6, on remarque que la probabilité d'occurrence des défauts rotoriques (sans prendre en considération les défauts de roulements) est plus faible que la probabilité d'occurrence des défauts de roulements, cependant, la vitesse de propagation et l'évolution rapide de ces défauts conduisant aux autres problèmes majeurs dans l'installation globale. Il est donc logique, du point de vue scientifique et industriel, d'augmenter les efforts sur la surveillance et le diagnostic de ces défauts[1] .

Si on élimine les pannes dues à des causes intrinsèques, c'est-à-dire, résultant d'une mauvaise conception (mauvais choix des matériaux), d'une mauvaise fabrication (défauts d'usinage) ou

d'un mauvais montage (serrage, désalignement) du moteur, les défauts usuelles d'une machine asynchrone sont les suivantes [1] :

I.3.1. Défauts statoriques :

- a) Court-circuit entre phases statoriques ou entre spires d'une même phase.
- b) Ouverture d'une phase.
- c) Défaut du circuit magnétique (ruptures de tôles) [3] .

I.3.2. Défauts rotoriques :

- a) Rupture de barres ou d'anneaux de court-circuit.
- b) Défaut du circuit magnétique (ruptures de tôles).
- c) Défaut de roulements.
- d) Excentricité statique et/ou dynamique...[3] .

Ces dégâts peuvent avoir pour origines des problèmes de nature très différentes, souvent reliés les uns aux autres :

- a) Causes thermiques : balourds, points chauds, température ambiantes élevée, ...
- b) Causes électriques : transitoire d'alimentation, déséquilibres, ...
- c) Causes mécaniques : chocs en service, vibrations, jeux, ...
- d) Causes chimiques : corrosion, humidité, ... [3] .

La diversité des défauts et des causes possibles entraînant une panne dans la machine asynchrone, facilite les erreurs sur la nature et la localisation de cette panne. Un diagnostic fiable, nécessite donc une bonne connaissance des mécanismes des défauts à surveiller, ainsi que leurs conséquences sur les signaux issus de la machine [3] .

I.4. LA MAINTENANCE :

I.4.1. Définition

La tâche principale d'un ingénieur est de garantir la disponibilité des systèmes industriels, c'est-à-dire, d'assurer que le système fonctionne lorsqu'on le sollicite. La responsabilité de cette tâche repose sur la maintenance. Selon l'association française de normalisation (AFNOR), la maintenance est « ensembles des activités destinées à maintenir ou à établir un bien dans un état pour accomplir une fonction requise ». Il y a deux grandes classes de la maintenance :

_ Maintenance corrective ;

_ Maintenance préventive : - systématique ; - conditionnelle [3]..

I.4.1.1. Maintenance Corrective

C'est un ensemble des activités réalisées après la défaillance d'un bien. Autrement dit, la maintenance corrective est effectuée après la détection d'une panne : Elle devra s'appliquer automatiquement aux défaillances complètes et soudaines. Ce type de maintenance sera réservé aux matériels peu coûteux, non stratégiques pour la production et dont la panne aurait peu d'influence sur la sécurité [3].

I.4.1.2 Maintenance Préventive

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

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

On distingue deux types de la maintenance préventive [3]:

I.4.1.2.1. Maintenance préventive systématique

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

Généralement, la maintenance préventive systématique s'adresse aux éléments dont le coût des pannes est élevé, mais ne revenant pas trop cher en changement (les meilleurs exemples sont le changement systématique de l'huile, des filtres, changement de la courroie de synchronisation, des roulements, des paliers de rotation ...) [3].

I.4.1.2.2. Maintenance préventive conditionnelle

C'est un type de maintenance déclenché suite à un symptôme observable (température, vibration, jeu excessif, ...) permettant de prédire une défaillance prochaine. Il s'agit là d'intervenir juste avant que la panne ne survienne. La maintenance préventive conditionnelle est réalisée dès lors qu'une mesure dépasse une valeur précise (seuil) d'une grandeur physique (température, pression...) [3].

I.5.METHODE DE DIAGNOSTIC DES MACHINES ASYNCHRONES :

Il existe une variété de technique de diagnostic et de détection de défauts, On parle de quelques-unes qui concernent la détection des défauts de la machine [5].

I.5.1. L'estimation de paramètres physiques

La détection et la localisation des défaillances par estimation paramétrique consistent à identifier les paramètres structuraux d'un modèle de connaissance, puis d'extraire le paramètre physique du système à partir des lois de connaissance. Le point essentiel du diagnostic par identification paramétrique est le choix du modèle. De ce choix dépend le type de défaut que l'on pourra détecter sur la machine. En effet pour détecter et localiser un défaut au stator ou au rotor, il faut que ce dysfonctionnement puisse être discriminé au niveau des paramètres physique estimés [5].

I.5.2. L'estimation d'état

La détection de défauts par estimation d'état a surtout été étudiée avec le modèle de PARK. Les techniques de détection de défauts les plus répandues en automatique reposent sur la génération de résidus à partir d'un modèle de fonctionnement sain. Différentes approches, que l'on peut classer sous le terme générique d'estimation d'état, ont été étudiées et évaluées par plusieurs méthodes :

- a) Banc d'observateur à entrées inconnues avec découplage non linéaire, sur la base du modèle de Park.
- b) Observateur d'état à mode glissant.
- c) Génération de résidus par projection des équations du modèle de Park dans l'espace de parité.

En diagnostic, l'objectif est d'estimer les variables d'état du système à partir d'un modèle de comportement parallèle rebouclé de façon à s'affranchir essentiellement des problèmes d'initialisation des grandeurs d'état. Ces grandeurs estimées sont comparées aux grandeurs mesurées afin de détecter le dysfonctionnement dans le système surveillé [5].

I.5.3 Traitement de signaux

Pour effectuer le diagnostic d'une installation, les opérateurs de maintenance analysent un certain nombre de symptômes tels que le bruit, la température, les vibrations,...etc.

En s'appuyant sur leur expérience. Ces symptômes ne sont que la manifestation flagrante d'une modification des caractéristiques temporelles et fréquentielles d'un certain nombre de grandeurs mesurables.

Toutes les méthodes de traitements de signal disponibles pour le diagnostic des machines tournantes peuvent être classées dans cinq groupes différents [5]:

a) - Analyse spectrale

L'analyse spectrale est certainement la méthode la plus naturelle pour le diagnostic des barres cassées. En règle générale, la seule grandeur intéressante accessible au stator est le courant et l'intérêt de son analyse spectrale est de pouvoir détecter et identifier l'élément défectueux en fonction de sa fréquence[5].

b) - Analyse cepstrale

Le cepstre est une anagramme du mot 'spectre' la raison de ce choix tient à ce qu'on obtient le cepstrum en effectuant une analyse spectrale supplémentaire sur le spectre fréquentiel du signal observé. Le cepstre est plus particulièrement utilisé dans les analyses vibratoires des machines tournantes. Les principales applications concernent la détection des défauts dans les roulements, les turbines ou encore les engrenages[5].

c) - Les méthodes de détection de fréquences connues

Ces méthodes reposent sur le principe que les défauts se caractérisent par l'apparition ou le renforcement d'une raie à une fréquence fixe ou proportionnelle à la vitesse de rotation de la machine[5].

d) - Méthodes temps –fréquence

Les méthodes d'analyse temps –fréquence ont été développées pour l'étude des signaux non-stationnaires. Plus généralement elles s'appliquent à des signaux dont le contenu fréquentiel ou les propriétés statistiques évoluent au cours du temps. Pour décrire cette évolution temporelle il faut réaliser une analyse spectrale évolutive[5].

e) - Méthode temps-échelle

Ce mode de représentation est utilisé pour détecter des phénomènes qui se déroulent sur des échelles de fréquence différentes rencontrées dans un signal [5].

I.6. TECHNIQUE DE DIAGNOSTIC DES MACHINES ELECTRIQUE

Parmi les méthodes utilisées, il y a celles qui nécessitent de prélever un ou plusieurs signaux pour les traiter, analyser et conclure avec certitude s'il y a une défaillance ou non. Les paramètres caractéristiques de la machine asynchrone peuvent servir de très bons indicateurs de défauts. Les techniques de diagnostic et de détection des défauts utilisent en générale les signaux suivants :

- a) Le courant statorique ;
- b) les courants de Park;
- c) Le flux de fuite de la machine ;

- d) Les vibrations ;
- e) La vitesse de rotation ;
- f) L'analyse du couple électromagnétique ;
- g) L'analyse de la puissance instantanée.

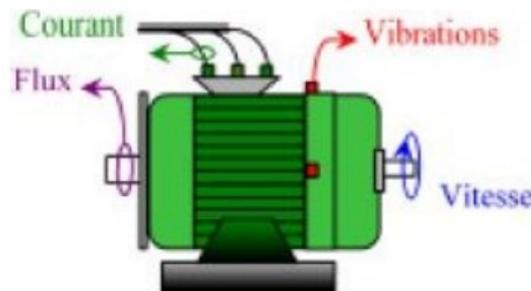


Figure I.7. les mesures utilisées pour la surveillance et le diagnostic des machines asynchrones[4].

I.6.1. Diagnostic par mesure du courant statorique

L'analyse du courant statorique du moteur est l'une des techniques qui permet de détecter la présence des anomalies mécaniques et électriques, non seulement dans le moteur, mais également dans la charge. Des améliorations considérables sont apportées à cette technique qui est dénommée dans la littérature l'Analyse des Signatures du Courant du Moteur (ASCM). Des composantes fréquentielles ont été déterminées pour chaque type de défaut. Il est important de noter, que l'amplitude de la composante fréquentielle augmente avec la sévérité du défaut [4].

I.6.2. Diagnostic par les courants de Park

Il existe une autre méthode d'analyse du courant c'est l'analyse par l'approche des vecteurs de Park. Elle est utilisée pour les moteurs alimentés par un système triphasé. Les trois grandeurs de la machine sont transformées en grandeurs biphasées selon les axes " d " et " q ", et qui sont utilisées pour tracer la courbe de Lissajou " $I_q=f(I_d)$ ". Le changement de la forme et de l'épaisseur de cette courbe donne une information sur le défaut. L'analyse spectrale du module des deux vecteurs de Park est aussi un moyen pour surveiller l'état de la machine [4].

I.6.3. Diagnostic par l'analyse de la puissance instantanée

L'utilisation de la puissance instantanée pour la détection des défauts dans les moteurs asynchrones, Il est clair que le niveau d'informations portées par le signal de la puissance est plus grand que celui donné par le courant d'une seule phase, ce qui représente l'avantage de cette méthode par rapport aux autres. Cette méthode est utilisée pour la détection des défauts mécaniques ou encore les défauts électriques tels que les courts-circuits entre spires statorique. Dans cette direction, l'utilisation de la puissance apparente pour la détection d'un défaut d'excentricité [3].

I.6.4. Diagnostic par mesure du flux magnétique

Théoriquement les courants rotoriques et statoriques sont équilibrés, ce qui annule la composante axiale de fuites. En réalité, ces flux de fuites sont présents dans toutes les machines électriques à cause des défauts de fabrication et des fluctuations du réseau électrique.

Le flux de fuite axial peut être détecté, non seulement par une bobine enroulée autour de l'arbre de la machine, mais aussi par n'importe quel arrangement symétrique simple des bobines placées à l'extrémité de la machine ou par d'autres dispositifs sensibles telles que les sondes à effet hall.

L'analyse spectrale de la tension induite dans les bobines peut être utilisée pour identifier les différents défauts tels que :

Ruptures d'une ou de plusieurs barres rotoriques ;

Court-circuit entre une ou plusieurs bobines de l'enroulement statorique ;

Excentricité statique et/ou dynamique.... etc [4].

I.6.5. Diagnostic par l'analyse du 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 de ce signal, donne des informations pertinentes sur l'état du moteur. Cependant, la nécessité d'un équipement assez coûteux pour l'acquisition de cette grandeur représente l'inconvénient major de cette méthode [3].

I.6.6. Diagnostic par mesure des vibrations

Toutes les machines électriques produisent du bruit et des vibrations. Même une amplitude très petite des vibrations de l'armature de la machine peut produire un bruit élevé. Le bruit et les vibrations sont provoqués principalement par des forces qui sont d'origine magnétique, mécanique ou aérodynamique, proportionnelles au carré de l'induction magnétique :

$$\sigma = \frac{B^2}{2\mu_0} \quad (1.1)$$

Où B et μ_0 sont respectivement l'induction magnétique et la perméabilité magnétique de l'air.

Les accéléromètres piézoélectriques sont les capteurs, les plus largement utilisés pour la mesure des vibrations, ceci en raison de leur gamme de fréquence élevée, de leur fiabilité et leur robustesse. En termes de diagnostic, les signaux de vibrations détectés contiennent des informations importantes sur l'état de la machine. L'analyse spectrale de ces signaux nous renseigne sur les différents défauts qui sont à l'origine des vibrations [4].

I.7. SIGNATURES SPECTRALES DES DEFAUTS DANS LE SPECTRE DU COURANT STATORIQUE

I.7.1 Les harmoniques de la fmm dans la machine asynchrone

Dans l'étude de la machine asynchrone, des hypothèses simplificatrices sont supposées, par Exemple : la tension d'alimentation est purement sinusoïdale, l'entrefer est lisse, la perméabilité du fer est infinie et la FMM (ou bien l'induction B) dans l'entrefer est sinusoïdale...etc. Ces hypothèses simplificatrices sont acceptées pour étudier le principe de fonctionnement de la MAS, cependant, elles ne sont pas applicables pour les problèmes de diagnostic où se trouve une dissymétrie.

En réalité, l'induction magnétique dans l'entrefer n'est pas sinusoïdale, elle est fonction de différents paramètres, tel que les composantes fréquentielles apparaissent dans les tensions d'alimentation ces composantes dites harmoniques de temps et la disposition du bobinage statorique et de la structure de la cage rotorique dans le cas des moteurs à cage. A cause de cette structure, Il a été démontré qu'en plus de l'harmonique fondamental, apparaissent dans le spectre du courant statorique d'autres harmoniques dites harmoniques d'espace (harmoniques d'encoches rotoriques) ayant pour fréquences

$$f_{he} = \left[\frac{kN_b}{p} (1 - g) \pm n_{ws} \right] \cdot f_s \quad (1.2)$$

Avec f_s la fréquence de tension d'alimentation, ($n_{ws} = \pm 1, \pm 3, \pm 5 \dots$), p le nombre de paires de pôles, N_b le nombre de barres rotoriques, n_{ws} l'ordre des harmoniques de temps de la tension, et k un entier positif. Pour $k=1$ et $n_{ws} = 1$ on définit ce qui sont appelés 'harmoniques d'encoches principales' (PSH) [6].

I.7.2 Les signatures spectraux pour révéler les défauts

I.7.2.1 Les défauts statoriques

Pour déceler les défauts de court-circuit, plusieurs approches ont été mises en oeuvre, à savoir l'utilisation d'une bobine concentrique placée autour de l'arbre de la machine afin de capter puis analyser le flux axial de la machine. Ce type de défauts entraîne l'apparition d'une série d'harmoniques dans le spectre du flux axial donnée par :

$$f_{st} = f_s \cdot \left(k \pm \frac{n \cdot (1-g)}{p} \right) \quad (1.3)$$

Avec $k=1,3$ et $n=1,2, 3 \dots (2p-1)$.

Le diagnostic des courts-circuits statoriques peut être effectué via la MCSA, et est basé sur la détection des composantes fréquentielles données par l'expression (I.2), du fait que cette onde de flux tournant sera l'origine des composantes de courant équivalentes dans l'enroulement statorique.

Les harmoniques 150Hz, 250Hz...apparaissent en cas de court-circuit entre spires, mais sont souvent présents à cause de la saturation et de n'importe quel défaut susceptible d'entraîner un déséquilibre d'impédance, tel que le déséquilibre de tension. Aussi, il a été démontré que les harmoniques d'encoques rotoriques et de saturation subissent des variations en cas de défauts statoriques [6] .

❖ Défaut de court-circuit :

La signature fréquentielle de ce défaut se manifeste par l'apparition d'harmonique aux fréquences $f=n.f_s$ avec $n = \{1, 2,3,\dots\}$ et f_s la fréquence d'alimentation.

La variation des paramètres se fait comme suit [6] :

- a) La résistance statorique augmente.
- b) La résistance rotorique diminue.
- c) L'inductance rotorique diminue.
- d) L'inductance de magnétisation diminue.

I.7.2.2 Les défauts des barres rotoriques

Un défaut dans le rotor va engendrer une sorte d'asymétrie qui, dans le cas d'une alimentation par un système de tensions triphasées symétrique, va être à l'origine d'un champ magnétique inverse de fréquence $-gf_s$ dans le circuit rotorique. Cela va engendrer des courants circulant dans le circuit statorique à une fréquence de $(1 - 2g)f_s$. Une autre composante apparaît aussi dans le spectre du courant statorique à une fréquence de $(1 + 2g)f_s$. Cette composante est due aux fluctuations de la vitesse provoquées par les oscillations du couple. Il

a été démontré qu'un processus répétitif donne naissance à une série d'harmoniques dont les fréquences sont données par

$$fb = (1 \pm 2kg)fs \quad (1.4)$$

Avec $k=1,2,3,\dots$

D'autres composantes spectrales peuvent apparaître dans le spectre du courant statorique à des fréquences données par l'expression suivante :

$$f_b = \left[\frac{k}{p/2} (1 - g) \pm g \right] \cdot f_s \quad (1.5)$$

Avec $\frac{k}{p/2}=1,3,5,7,\dots$

Les défauts de cassure de barres génèrent également dans les signaux du couple et de vitesse des composantes de fréquences $2gf_s$ et $2gf_s$ [5].

I.7.2.3 Les défauts d'excentricité

L'excentricité se répartit en deux catégories : statique et dynamique (voir la **Figure I.8**). L'excentricité statique se distingue par le fait que le centre du rotor n'est pas égal à celui du stator. L'excentricité dynamique est caractérisée par le fait que le centre du rotor tourne autour du centre du stator

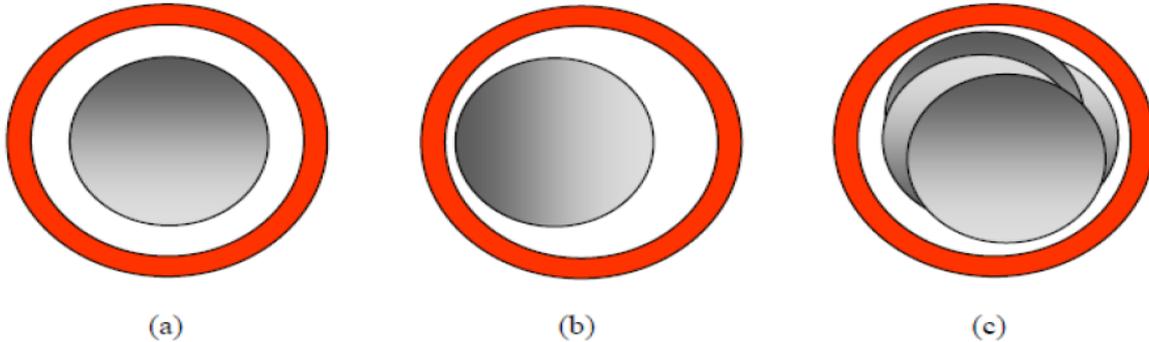


Figure I.8. Types d'excentricité : (a) rotor concentré ; (b) excentricité statique ;
(c) excentricité dynamique[5].

Même à l'état sain, la machine présente toujours un certain degré d'excentricité statique résiduelle dû aux inévitables erreurs de fabrication .La présence de l'excentricité se manifeste par la création d'harmoniques dans le spectre du courant à des fréquences f_{ecc} données par :

$$f_{ecc} = \left[\left(\frac{kN_b \pm n_d}{p} \right) (1 - g) \pm n_{ws} \right] \cdot f_s \quad (1.6)$$

Avec k un entier et $n_{ws} = 1,2,3 \dots$ l'ordre de l'excentricité n_d est égal à 0 pour l'excentricité statique, et 1,2, 3, ... pour l'excentricité dynamique[5].

Une autre série d'harmoniques liés à la coexistence des deux types d'excentricité en même temps (excentricité mixte), apparaît de part et d'autre de la fondamentale à des fréquences données par

$$f_{mix} = |f_s \pm kf_r| \tag{1.7}$$

Tel que k est un entier positif. Il n'est pas besoin avec cette expression de connaître les paramètres de la machine tel que ω , et c'est ce qui la rend parfois avantageuse. b N

Les défauts d'excentricité peuvent également être décelés par une analyse vibratoire, sachant que des composantes de hautes fréquences de vibration générées par l'excentricité sont données par une formule similaire à (I.6) [5].

I.7.2.4 Les défauts de roulements

Parce que les éléments roulants du roulement supportent le rotor, quelque soient les défauts dans les roulements, ils vont produire des mouvements radiaux 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 [5]:

$$f_{roul} = |f_s - kf_v| \tag{1.8}$$

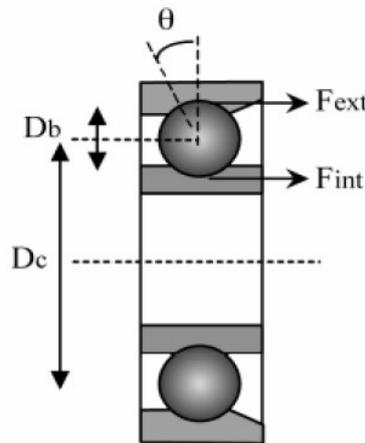


Figure I.9. Dimension du roulement à billes [5] .

Avec $k=1,2,\dots$ et est l'une des fréquences caractéristiques des vibrations, soit f_{bille} et $f_{b.int}$ ou $f_{b.ext}$ (figure I.9).

a) -Défaut au niveau d'une bille :

$$f_{bille} = \frac{D_c}{D_b} \cdot f_r \left[1 - \left(\frac{D_c}{D_b} \cos \vartheta \right)^2 \right] \tag{1.9}$$

b) -Défaut sur la bague intérieure :

$$f_{b.int} = \frac{nb}{2} \cdot f_r \left[1 + \frac{D_c}{D_b} \cos \vartheta \right] \tag{1.10}$$

b) -Défaut sur la bague extérieure :

$$f_{bille} = \frac{nb}{2} \cdot f_r \left[1 - \frac{D_c}{D_b} \cos \vartheta \right] \quad (1.11)$$

Tel que nb le nombre d'éléments roulants, D_b le diamètre d'un élément roulant, D_c la distance entre les centres des billes diamétralement opposées et ϑ l'angle de contact des billes avec les bagues du roulement [5].

I.8.CONCLUSION

Dans ce chapitre nous avons parlé des principales notions de la machine et diagnostic tels que les défauts peuvent affecter la machine asynchrone, nous avons parlé aussi des causes des défauts et nous avons indiqué de la maintenance et les différents types de la maintenance avec avantages de chaque type, nous avons indiqué aussi les différentes méthodes utiliser pour le diagnostic

Chapitre II

*la simulation
par le logiciel
flux 2D*

II.1. INTRODUCTION

Dans ce chapitre nous allons parler du diagnostic qui consiste à mesurer les signaux de la machine électrique de champ magnétique de dispersion de moteur par l'utilisation du programme Flux 2D pour étudier les deux cas de la machine (états sains et états défectueux) avec différentes charges et nous voyons si l'étude donne le même résultat de l'étude expérimentale ?

Dans ce chapitre nous allons prendre un modèle de la machine asynchrone et nous allons faire la simulation dans les deux cas (états sains et états défectueux) et nous allons prendre les résultats et traiter par la méthode FFT.

II.2. CONSTRUCTION DU MODELE DE LA MACHINE ASYNCHRONE

II.2.1. Présentation du logiciel Flux2D

Flux2D/3D est un logiciel de simulation numérique utilisé en conception assistée par ordinateur. Il utilise la méthode des éléments finis et permet le calcul des états magnétiques, électriques ou thermiques des dispositifs en régimes permanents, transitoires et harmoniques, avec des fonctionnalités d'analyse multiparamétrique étendues, les couplages circuit et cinématique. Ceci nécessite la résolution d'équations diverses : équations de Maxwell, de la chaleur, loi de comportement des matériaux. De par la difficulté de la résolution simultanée de ces équations, le code est découpé en un ensemble de modules chargés de résoudre chacun un type de problème donné (c'est-à-dire les équations à utiliser et les hypothèses associées).

Flux est développé (en collaboration avec le G2ELab, fusion du Laboratoire d'Electrotechnique de Grenoble, du Laboratoire d'Electrostatique et Matériaux Diélectriques et du Laboratoire de Magnétisme du Navire) et distribué en France par la société CEDRAT S.A [9].

II.2.2. Les caractéristiques de la machine asynchrone

Les caractéristiques de la machine asynchrone sont données dans le tableau suivant :

Paramètre		Valeurs
MACHINE	Puissance	4 kW
	Fréquence	50Hz
	Vitesse nominale	1425tr/min
	Nombre de paires de pôles	2
	Longueur du paquet de tôles	146 mm
	Moment d'inertie	0.0131 kg.m ²
	Charge nominale	26 N.m
STATOR	Nombre d'encoches	48
	Nombre de spires par phase	352
	Connexion	Y
	Diamètre extérieur	147mm
	Diamètre intérieur	91 mm
	Résistance par phase	1.8 Ω
ROTOR	Nombre d'encoches	28
	Diamètre extérieur	90.5 mm
	Diamètre intérieur	28 mm
ENTREFER	Epaisseur	0.5 mm

Tableau II.1. Les caractéristiques de la machine

II.3. Résultats de simulation

Pour la résolution magnétique transitoire de notre modèle, l'obtention d'un fonctionnement en régime permanent de la machine passe par un fonctionnement en régime transitoire, cet état est atteint après juste environ 0.15 s. La simulation a été faite selon les paramètres suivants [1]:

- La fréquence d'échantillonnage : $f_e = 10000 \text{ Hz}$;
- Le temps d'acquisition : $T_a = 1.3 \text{ sec}$;
- Le nombre des échantillons : $N_e = \frac{T_a}{T_e} = f_e * T_a = 13000 \text{ échantillons}$;
- La résolution fréquentielle : $\Delta f = \frac{1}{T_a} = \frac{1}{1.3} = 0.76 \text{ Hz}$

Dans notre simulation nous avons choisi l'intervalle du temps 5s mais le temps de la simulation nécessite environ 20 jours alors nous étions obligés de stopper la simulation après 1.3s de calcul (4 jours de calcul) avec un micro-ordinateur de CORE-i5 et 4 Giga de RAM.

Le stockage en externe de fichier solution d'un seul modèle pour ce temps avoisine les 65 Giga.

II.4. LIGNES DU CHAMP MAGNETIQUE A L'EXTERIEUR DE LA MACHINE

Les lignes du champ magnétique à l'extérieur de la machine sont représentées aux différents pas de temps : 0.25 s, 0.5 s et 0.75 s 1 s, de façon à conserver une rotation du champ rotorique sur la périphérie du rotor.

II.4.1. A moitié de la charge

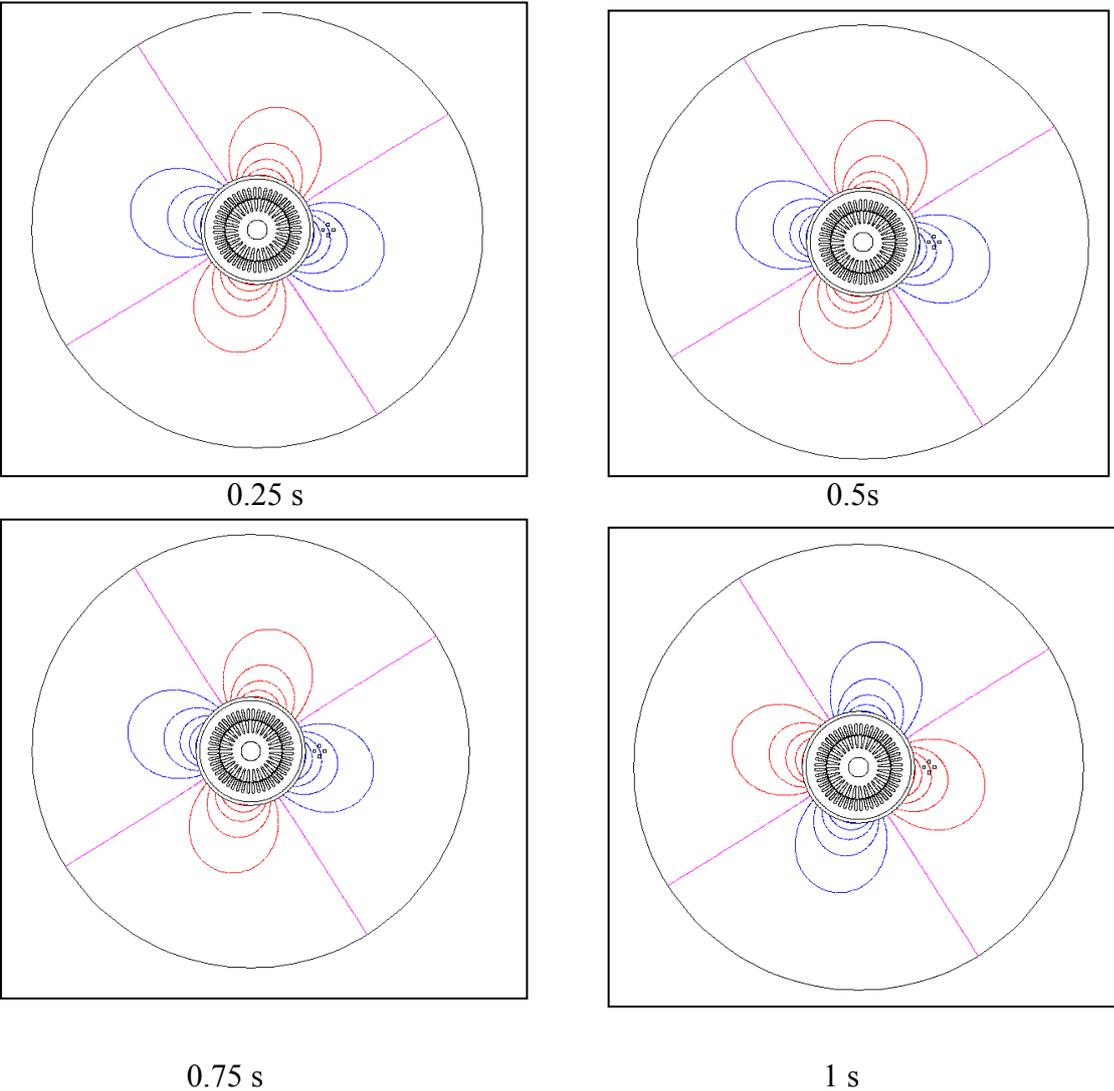


Figure II.1. Lignes de champ magnétique à l'extérieur de la machine saine.

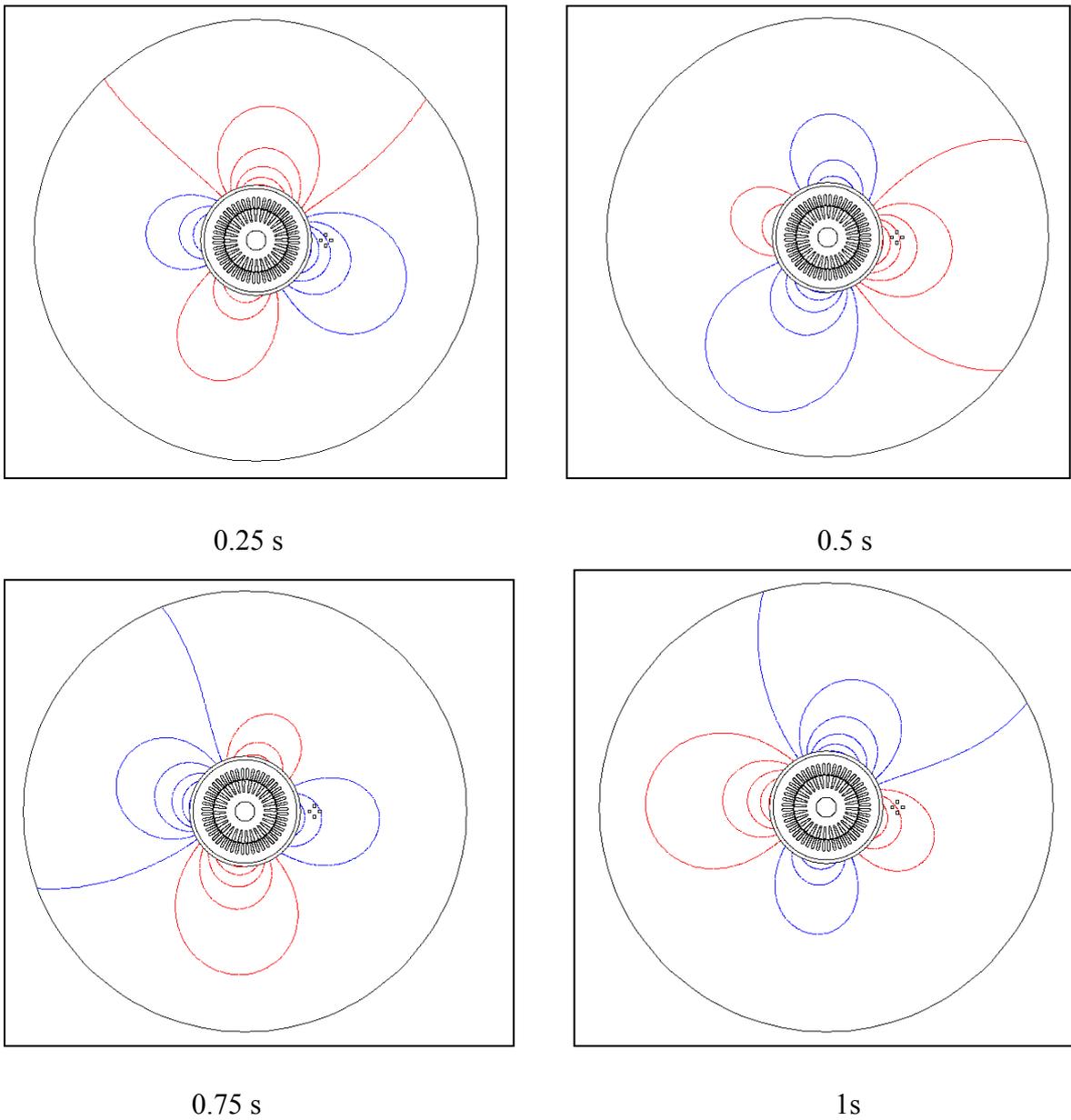
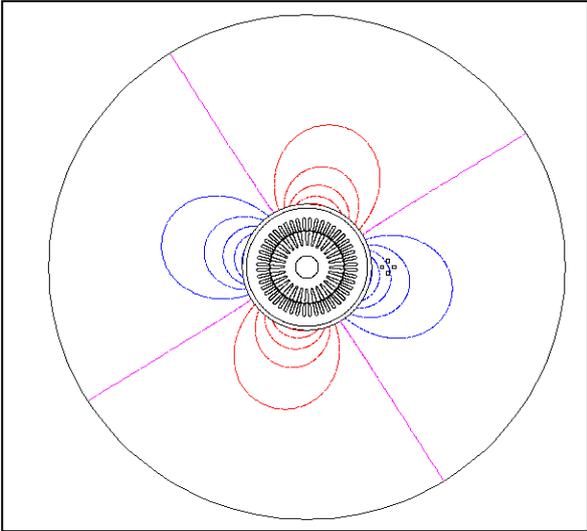
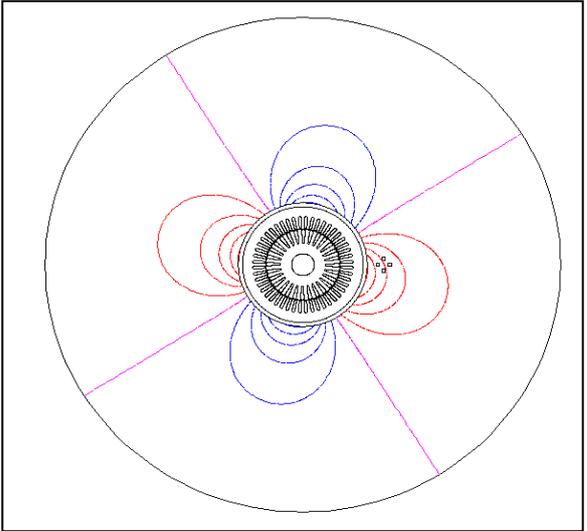


Figure II.2. Lignes de champ magnétique à l'extérieur de la machine défectueux.

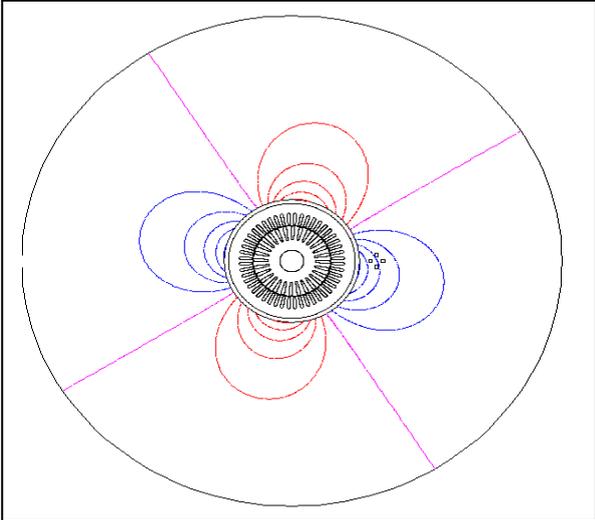
II.4.2. A pleine charge



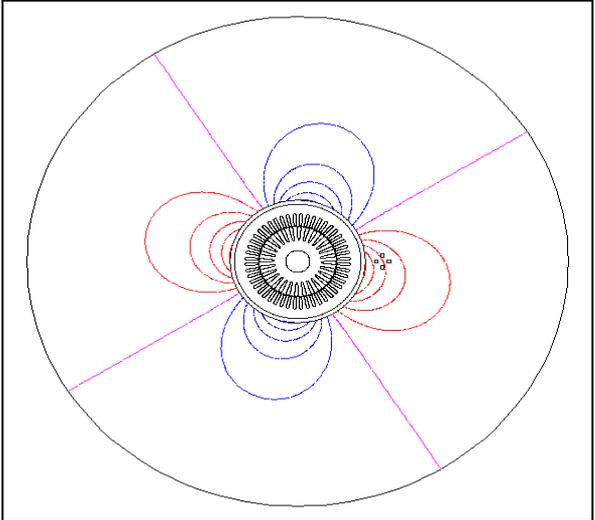
0.25 s



0.5 s



0.75 s



1 s

Figure II.3. Lignes de champ magnétique à l'extérieur de la machine saine.

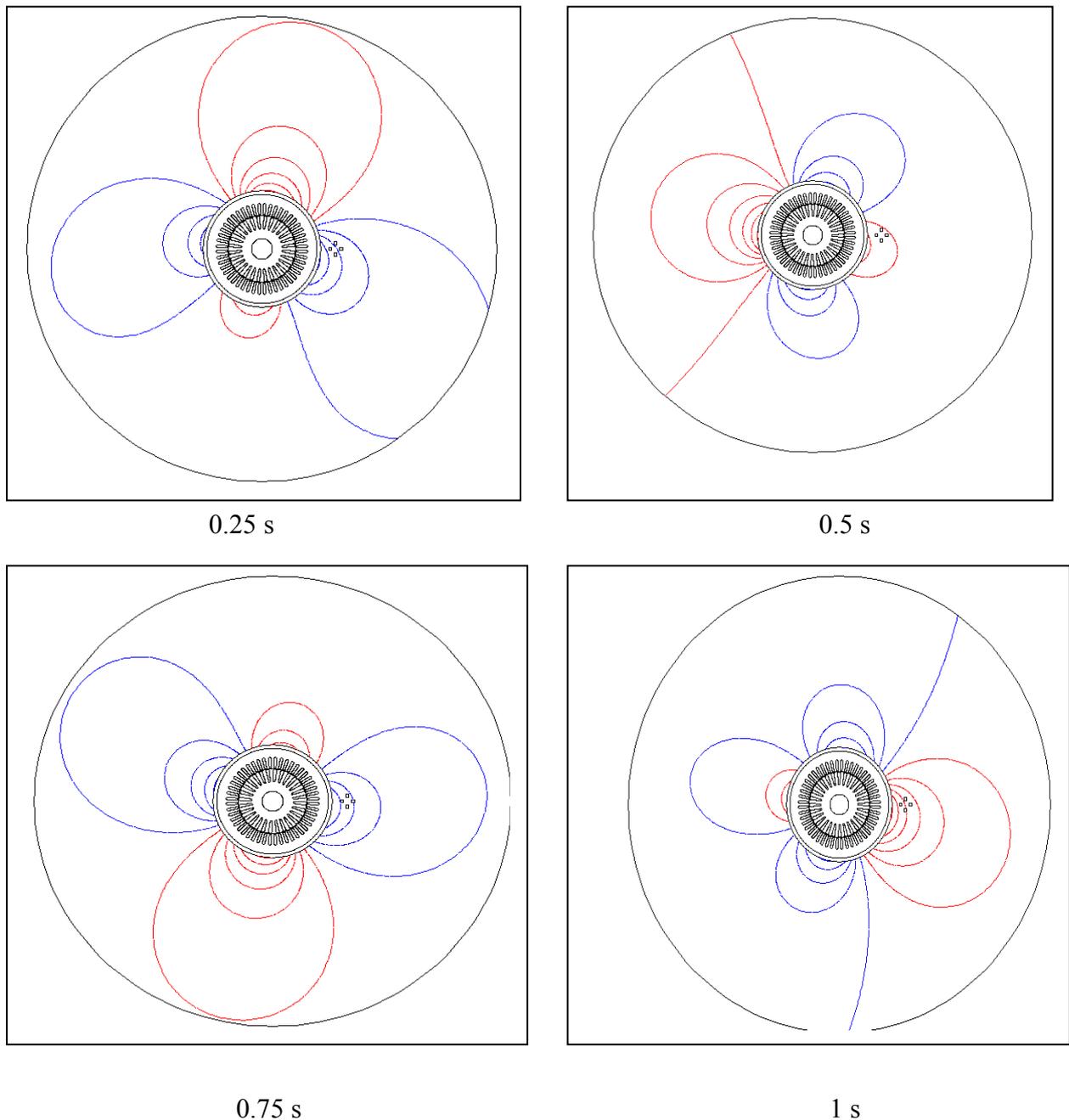


Figure II.4. Lignes de champ magnétique à l'extérieur de la machine défectueux.

Discussion des résultats :

Nous remarquons que pour la machine saine, les lignes de champ magnétique différents pas de temps restent symétriques comme nous voyons dans les figures III 10 et 8, lorsque la machine présente un défaut de barre cassée, ces lignes Figure III 9 et 11 sont très influencées par le défaut et elles sont distribuées à cause de la dissymétrie de courants rotoriques.

II.5. ANALYSE DU FLUX A L'ETATS SAIN ET DEFECTIEUX

II.5.1. Résultats de la simulation

Dans notre étude nous avons 2 modèles dans la simulation états sain et états défectueux (2 barres cassé) et nous essayons de à détecter le défaut rotorique en se basant sur la méthode d'analyse spectrale du champ magnétique. et nous avons faire la simulation avec 2 charges (plan charge et moitié de la charge).

II.5.2. Fonctionnement à moitié de la charge

Théoriquement :

La vitesse égal 1462tr /min donc $s = (1500 - 1462) / 1500 = 0.0260$.

Alors $f_s * s = 1.3$ et $3f_s * s = 3.9$

Pratiquement :

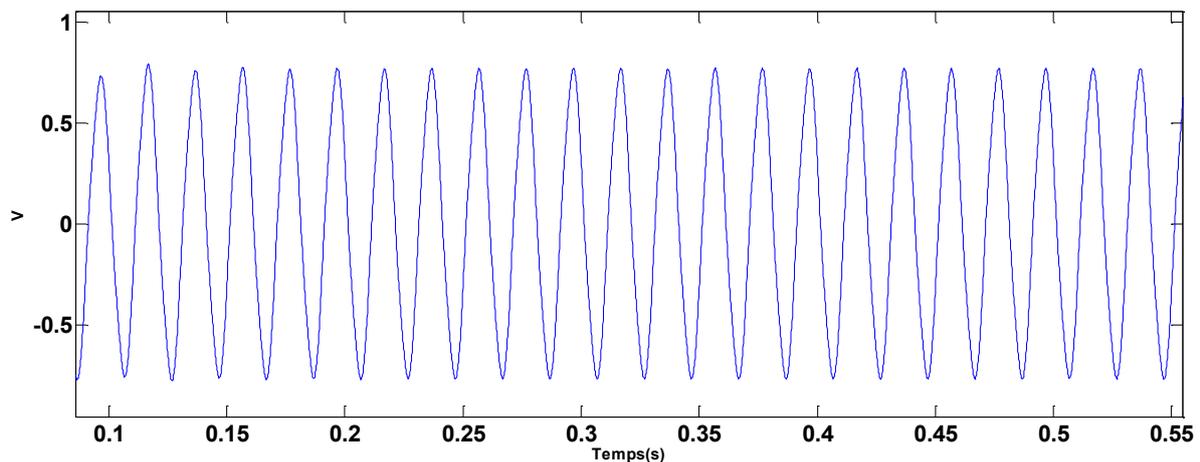


Figure II.5. le signal de la force électromotrice en fonction du temps à l'état sain

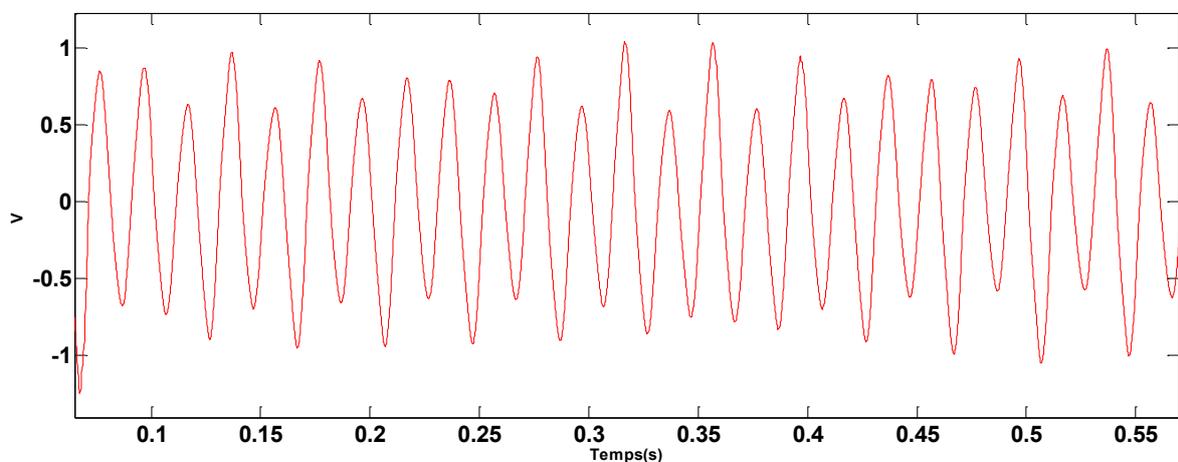


Figure II.6. Le signal de la force électromotrice en fonction du temps à l'état défectueux

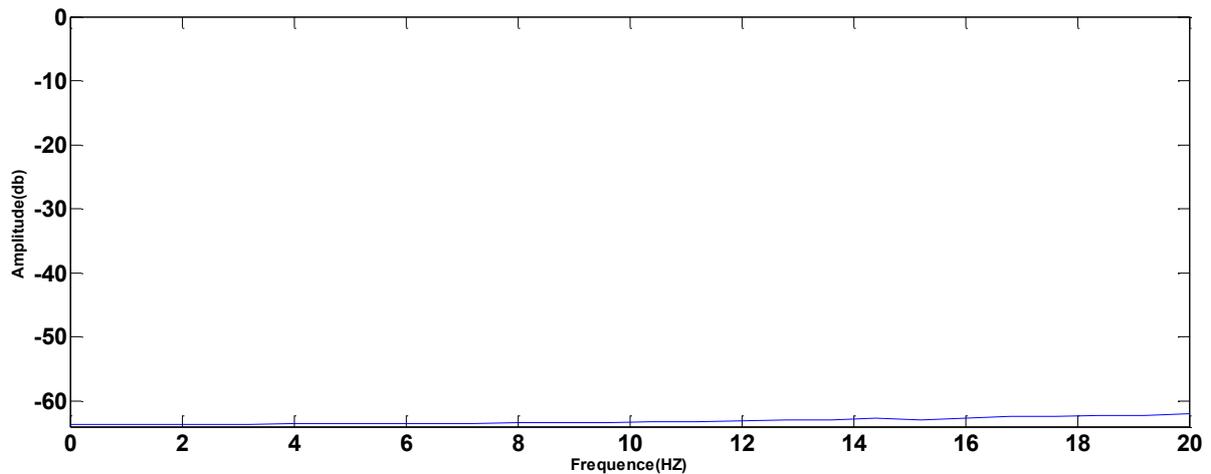


Figure II.7. Analyse spectrale de la force électromotrice à l'état sain

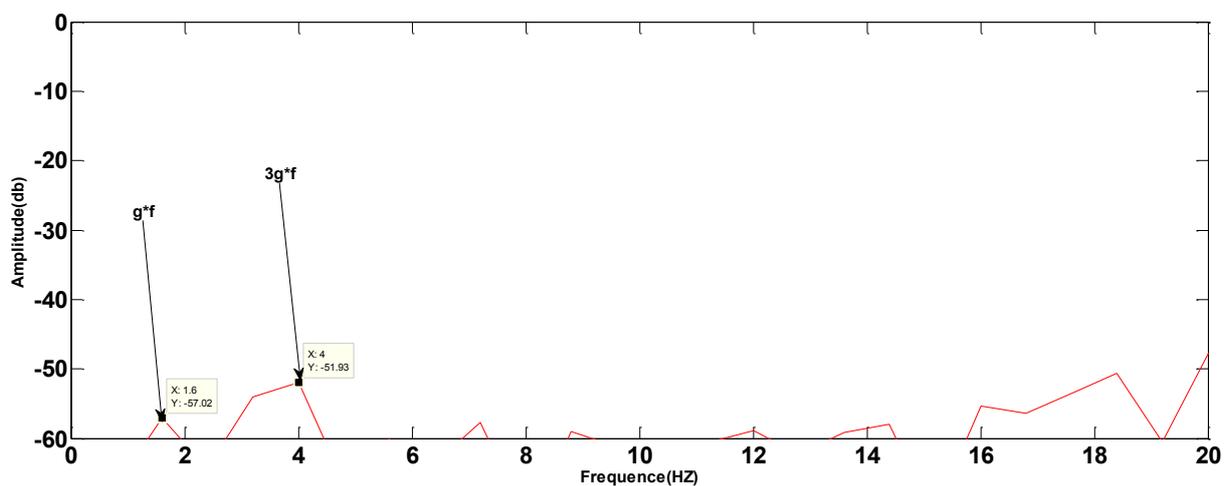


Figure II.8. Analyse spectrale de la force électromotrice à l'état défectueux

Discussion des résultats :

Nous observons que lorsque on augmente le couple résistif nous remarquons que les harmoniques gf et $3gf$ devient clairs notre essai c'est une simulation ce n'ai pas comme la pratique donc les résultats qui nous aura presque comme les calculs théoriques. on voit un changement important sur la variation temporelle de E_c et la présence des composantes de fréquence gf et $3gf$;

II.5. 3. Fonctionnement en plein de la charge

Théoriquement :

La vitesse égal 1419tr /min donc $s = (1500-1419) / 1500 = 0.0540$.

Alors $f_s * s = 2.7$ et $3f_s * s = 8.1$

Pratiquement :

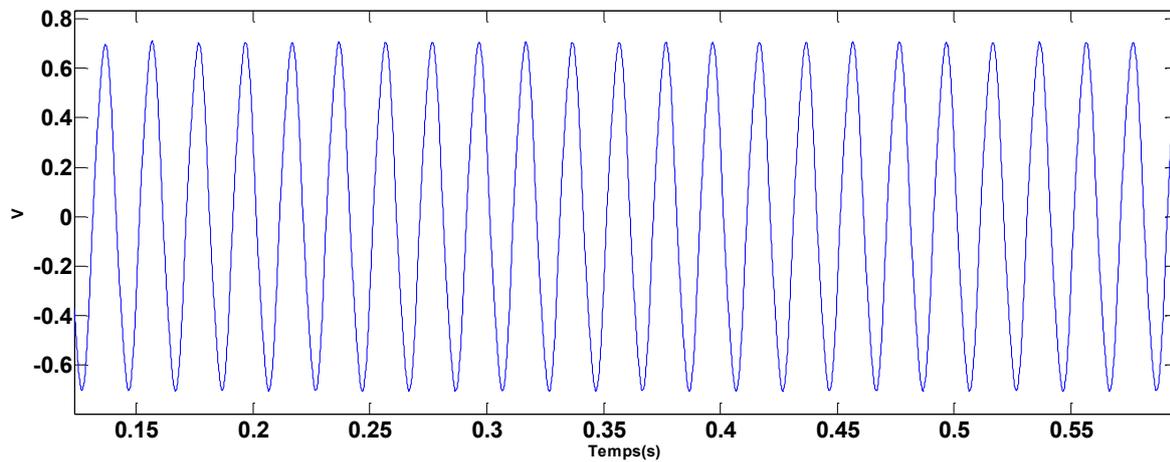


Figure II.9. le signal de la force électromotrice en fonction du temps à l'état sain

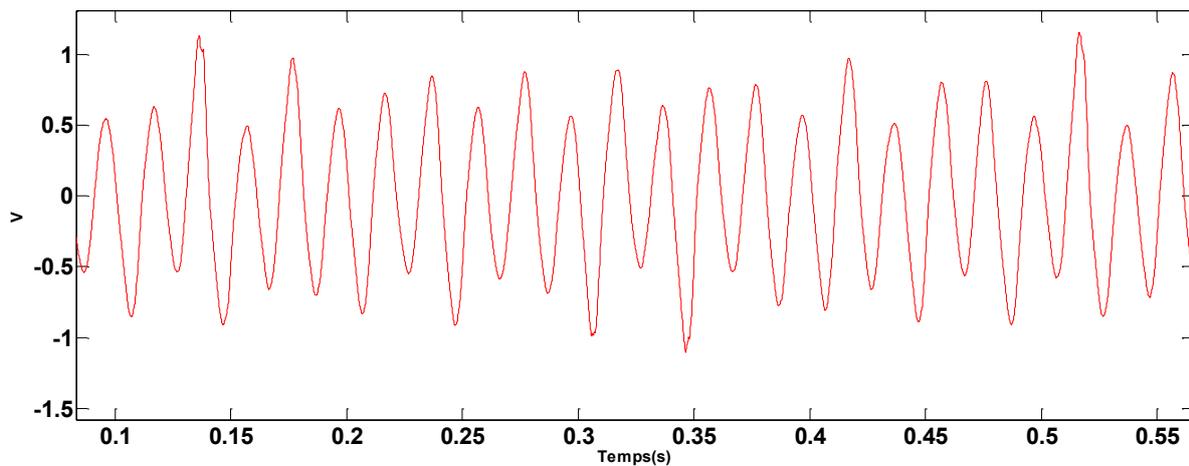


Figure II.10. Le signal de la force électromotrice en fonction du temps à l'état défectueux

II.5. ANALYSE DU FLUX A L'ETATS SAIN ET DEFECTIEUX

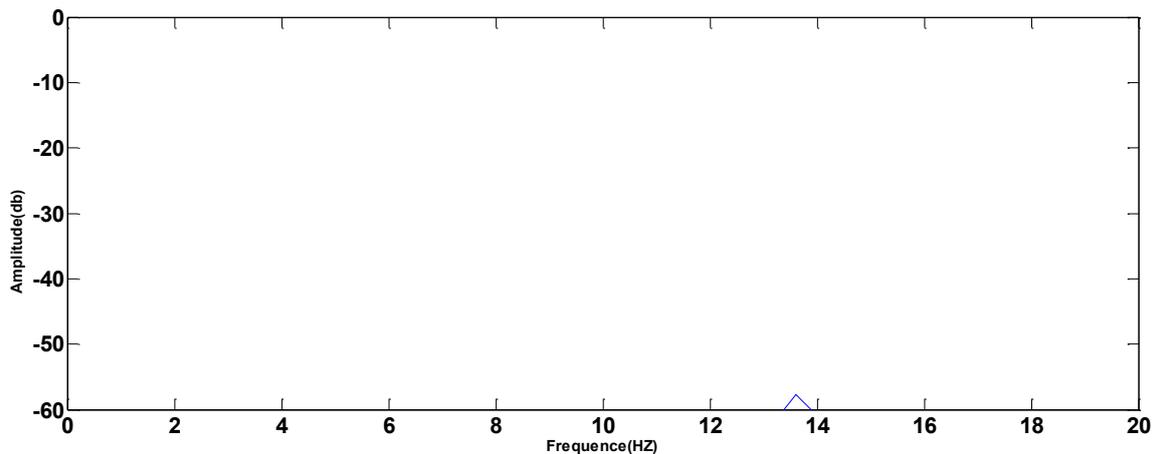


Figure II.11. Analyse spectrale de la force électromotrice à l'état sain

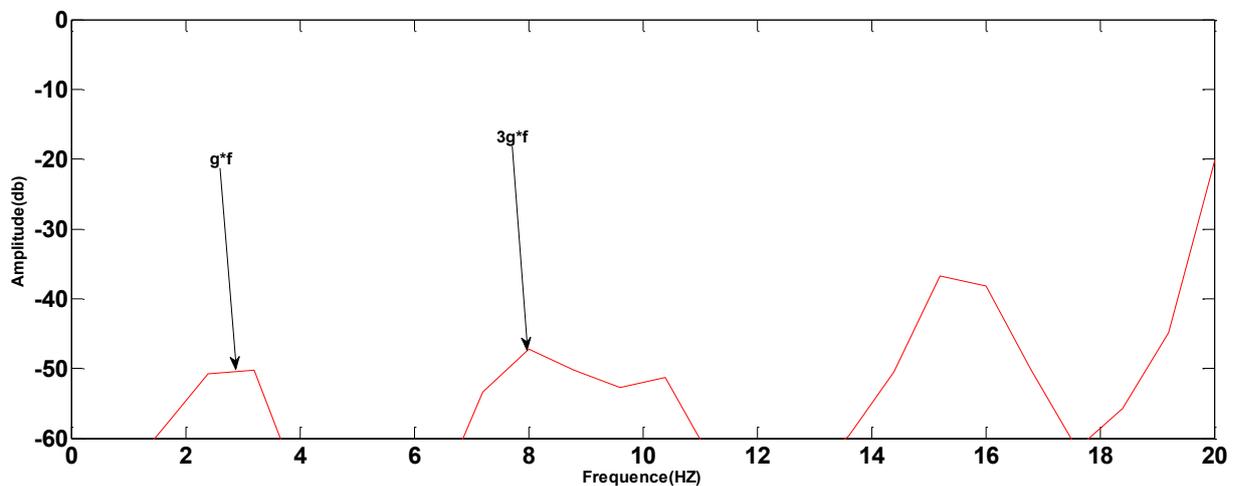


Figure II.12. Analyse spectrale de la force électromotrice à l'état défectueux

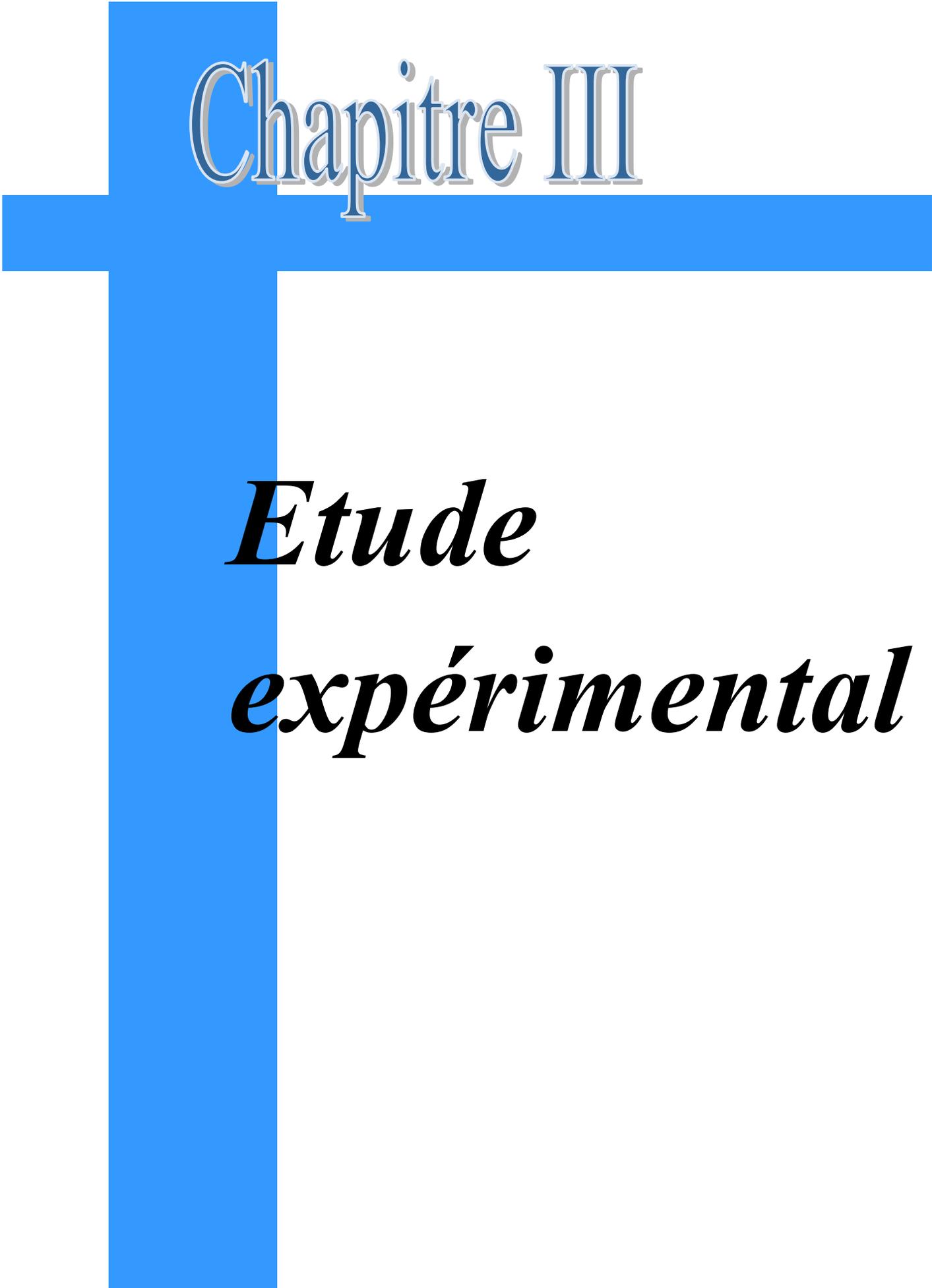
Discussion des résultats :

Nous observons que on a les mêmes résultats précédents et le seul changement c'est les harmoniques gf et $3gf$ devient claire parce que le glissement devient grand et il y a un grand changement dans le signal du flux par rapport à l'état sain.

Conclusion

Dans ce chapitre, la simulation permet d'avoir directement le champ magnétique extérieur correspondant au champ radial dans le cas d'une étude 2D et la simulation et les analyses spectral convaincant l'étude expérimentale de chapitre précédent parce que on a presque les mêmes résultats et il y a aussi les harmonique gf et $3gf$ lorsque nous avons une cassure de barre. Et nous avons conclu aussi lorsque la machine est saine les ligne du champ

magnétique est symétriques et lorsque on a une barre cassée dans la machine ces lignes sont très influencées par le défaut et elles sont distribuées à cause de la dissymétrie de courants rotoriques.



Chapitre III

Etude

expérimental

III.1 : INTRODUCTION

Dans ce chapitre nous allons parler du diagnostic qui consiste à mesurer les signaux de la machine électrique de champ magnétique de dispersion de moteur, a pour rôle prend des informations sur la caractérisent de défaut et nous faisons une comparaison entre les mesures effectuée sur un signal référence à l'état sain et l'autre signal lorsque nous avons un défaut.

Dans chapitre, nous allons présenter la détection et caractérisation de défaut de cassure de barre et l'analyse spectrale du champ magnétique de dispersion.

Nous allons tester l'approche sur un banc d'essai expérimental élaboré avec des moteurs déjà préparés spécialement pour les deux états (sain et défectueux).

Aussi, nous allons proposer une méthode d'analyse de champ magnétique par la transformé de Fourier rapide (FFT).

III.2. La Transformée de Fourier

On rappel que la transformée de Fourier Rapide $x(f)$ d'un signal continu dans le temps est donnée par :

$$x(f) = \int_{-\infty}^{+\infty} x(t). e^{j\omega t} dt \quad (\text{II.1})$$

L'analyse par FFT est utilisée principalement pour décrire un signal temporel dans le domaine fréquentiel avec une résolution fréquentielle constante sur une échelle linéaire de fréquence. Généralement, pour analyser un signal par la technique FFT, on doit prendre en compte les paramètres suivants :

- ❖ La fréquence d'échantillonnage : $f_e = 12800 \text{ Hz}$.
- ❖ Le temps d'acquisition : $T_a = 10 \text{ sec}$
- ❖ Le nombre d'échantillons : $N_e = \frac{T_a}{T_e} = f_e * T_a = 128000 \text{ échantillons}$.
- ❖ La résolution fréquentielle : $\Delta f = \frac{1}{T_a} = \frac{1}{10} = 0.1 \text{ Hz}$.

Avec un ordinateur, il est impossible de calculer la FFT $x(f)$ pour une valeur quelconque de la fréquence f . Donc, on ne calcule la FFT que pour des multiples Δf . C'est la notion de la

Transformée de Fourier Discrète (DFT). En conséquence, la DFT $x(n)$ d'un signal échantillonné

est donnée par :

$$x(n) = \sum_k^{ne} x(k) e^{j2\pi k \frac{n}{Ne}} \quad \text{avec } n = 1, 2, 3, \dots, Ne. \quad (\text{II.2})$$

Il est important de noter que la résolution fréquentielle joue un rôle primordial quant à la clarté du spectre, elle doit être de faible valeur pour qu'on puisse séparer les harmoniques proches. [7]

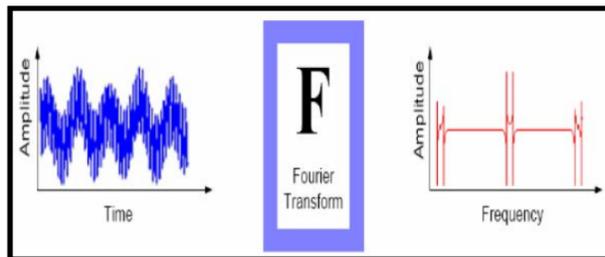


Figure III.1. Principe de la transformée de Fourier.

III.3. Champ de dispersion

Le flux de dispersion peut donner une information sur la présence d'un défaut, parfois la localisation de celui-ci. D'un point de vue diagnostic, l'avantage des méthodes basées sur la mesure du champ de dispersion est qu'elles sont non invasives. Ces méthodes sont simples à mettre en œuvre, elles consistent à disposer un capteur à la périphérie du moteur et de récupérer le signal du champ de fuite.

D'après la répartition des lignes de champ (Figure II.2.), on peut décomposer le champ extérieur en deux parties appelées champ de dispersion : le champ axial situé dans un plan qui comprend l'axe de la machine, il est généré par les courants dans les têtes de bobines de la machine (ou l'anneau de court-circuit) ; le champ radial situé dans un plan perpendiculaire à l'axe de la machine, c'est une image de l'induction d'entrefer qui est atténuée par le circuit magnétique statorique (paquet de toles) et par la carcasse extérieure de la machine. Il peut [8]

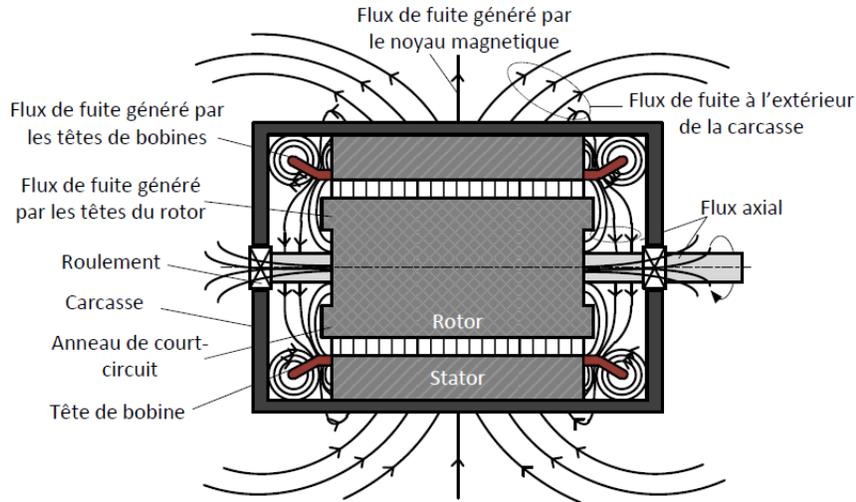


Figure III.2. Répartition de lignes de flux de fuite dans une machine électrique

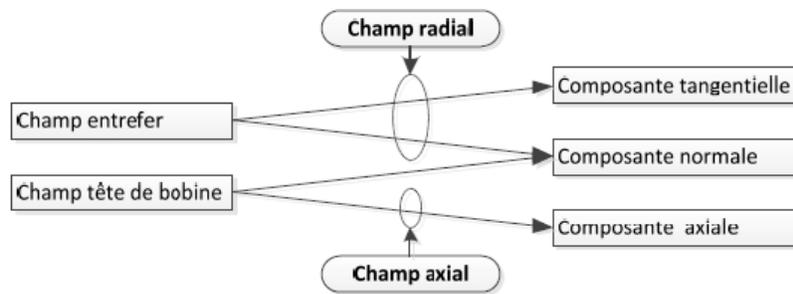


Figure III.3. Parties du champ extérieur

III.4. PRESENTATION ET REALISATION DU BANC D'ESSAI

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

Notre travail consiste à utiliser une méthode de diagnostic, parmi elle, flux de fuite avec les grandeurs mesurées on cite : la vitesse, le courant, la tension, le couple. Ces grandeurs sont mesurées, éventuellement acquises et mémorisées. Ce qui nécessite une transformation de ces grandeurs électrique directement proportionnelles pour qu'elles puissent être traitées. Pour cela les capteurs sont les moyennes les plus importants pour accomplir les tests.

Le banc d'essai de diagnostic d'une machine asynchrone permet d'expérimenter les défauts mécaniques et électriques.

L'élaboration de banc d'essai exige la possession de plusieurs machines de même type sous différents états tel que, moteur sain, avec barre cassées, rotor excentrique, défaut de roulement, court-circuit statorique et autres. Notre étude va se faire sur les MAS à rotor consentrer, on va couvrir le cas de cassure de barre.[8]

III.4.1. Schéma synoptique

La figure (Figure II.4) présent la structure du dispositif expérimental, et la mise en œuvre de la carte d'acquisition.

Le diagnostic est réalisé à travers une carte d'acqasition raccordé à un micro ordinateur PC.

Cette carte de développement comprend tout l'environnement proche du processeur du PC avec des outils logiciels nécessaires aux applications visées (eg .Matlab et Lab View).

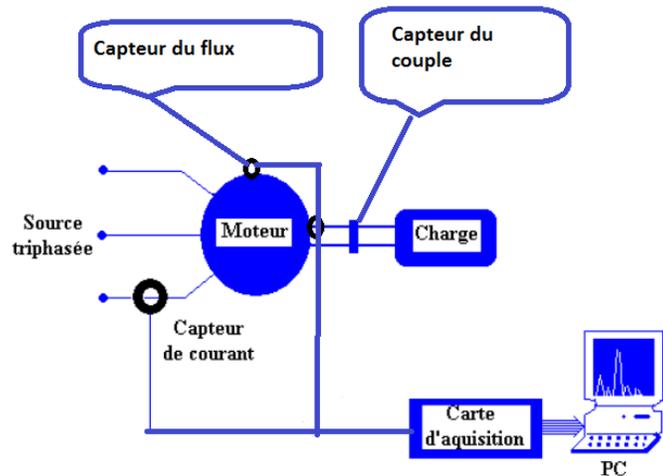


Figure III.4. Schéma synoptique du banc d'essai

Le bon choix de la résolution fréquentielle, permet de séparer les composantes les plus proches du fondamental. Notre acquisition des données a été effectuée par une fréquence d'échantillonnage de 12.8KHz.

III.4.2. Banc d'essai

La machine asynchrone à cage d'écureuil utilisée dans nos expérimentations est un moteur tétra polaire de 3 kW fabriqué par *Leroy sommaire*. Le stator est constitué de 48 encoches alors que le rotor se compose de 28 barres en Aluminium et le nombre de pair de pole=2. Notre moteur est alimenté directement par une source triphasée et il est accouplé alternateur. Le banc d'essai est équipé par un ensemble d'instruments de mesure, des capteurs de tension, de courant et de couple. et la carte d'acquisition et un pc.

Caractéristiques	Moteur asynchrone triphasés
La puissance	3 Kw
La vitesse nominale	1430 tr/min
La tension nominale	380 V
Le courant nominale	6.40 A
Nombre de barres rotoriques	28

Tab. III.1. La Caractéristiques de la machine utilisée.

Dans un premier temps, on a effectué quatre essais où le moteur à l'état sain a été couplé en étoile sans neutre et fonctionnait à : à vide, à 25% de la charge, à 50% de la charge et à 75% de la charge. Et après nous avons manipulé le moteur à l'état défectueux avec aussi quatre essais vide, à 25% de la charge, à 50% de la charge et à 75% de la charge.

La figure (Figure II.5) représente une photo du banc d'essai réalisé



Figure III.5. Banc d'essai expérimental



Figure III.6. Rotor utiliser dans la cassure de barre

III.5. ANALYSE DU FLUX DE FUITE A L'ETATS SAIN ET DEFECTIEUX

III.5.1. Résultats expérimentaux :

Notre étude dans cette partie consiste à détecter le défaut rotorique en se basant sur la méthode d'analyse spectrale du champ magnétique.[8] Notre étude théorique a été vérifiée par des essais expérimentaux (sur un moteur de 3kW) réalisés au niveau du laboratoire LGE de Biskra. Les résultats obtenus mettent en évidence la richesse en harmoniques [7]

III.5.1.1. Fonctionnement à vide

Théoriquement :

La vitesse égal 1497tr /min donc $s = (1500 - 1497) / 1500 = 0.002$.

Alors $f_s * s = 0.1$ et $3f_s * s = 0.3$

Pratiquement :

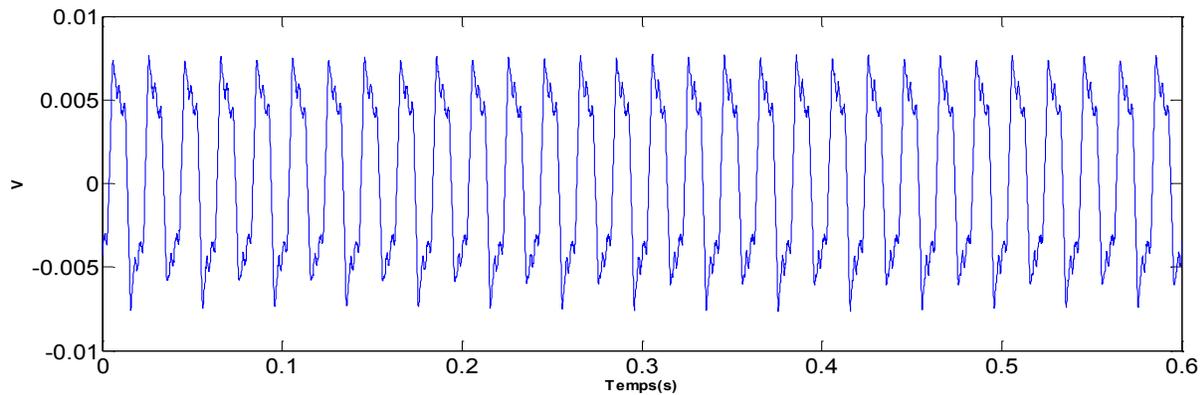


Figure III.7. le signal de la force électromotrice en fonction du temps à l'état sain

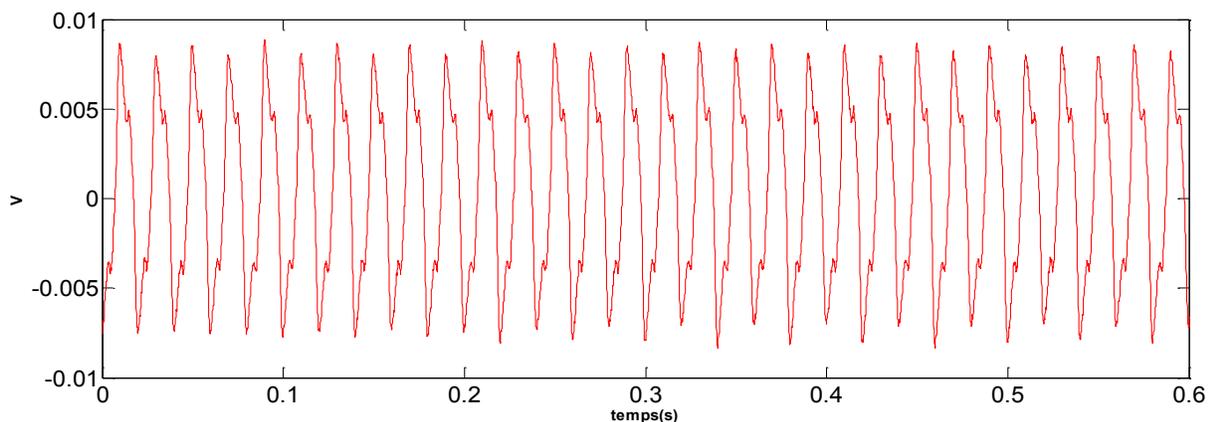


Figure III.8. Le signal de la force électromotrice en fonction du temps à l'état défectueux

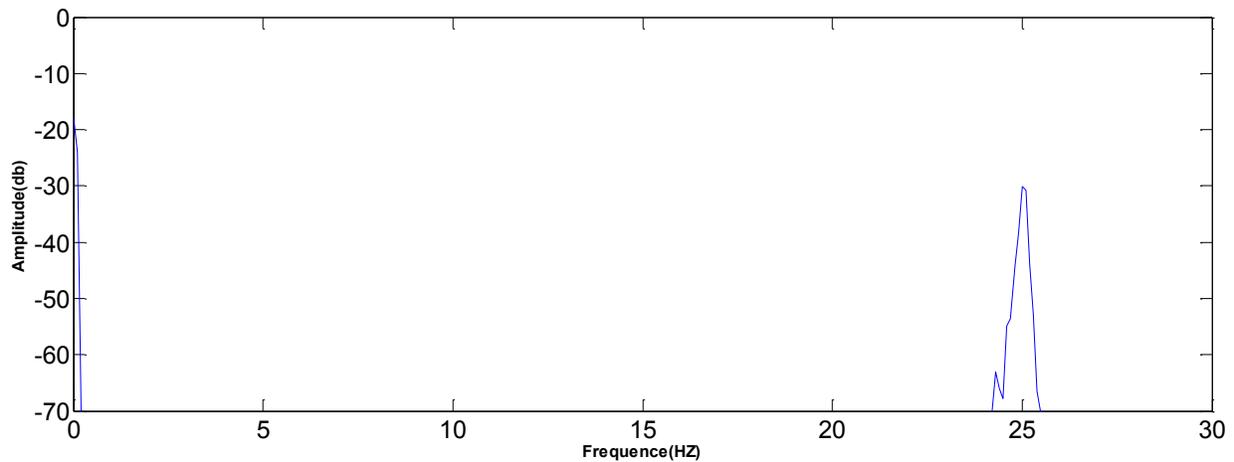


Figure III.9. Analyse spectrale de la force électromotrice à l'état sain

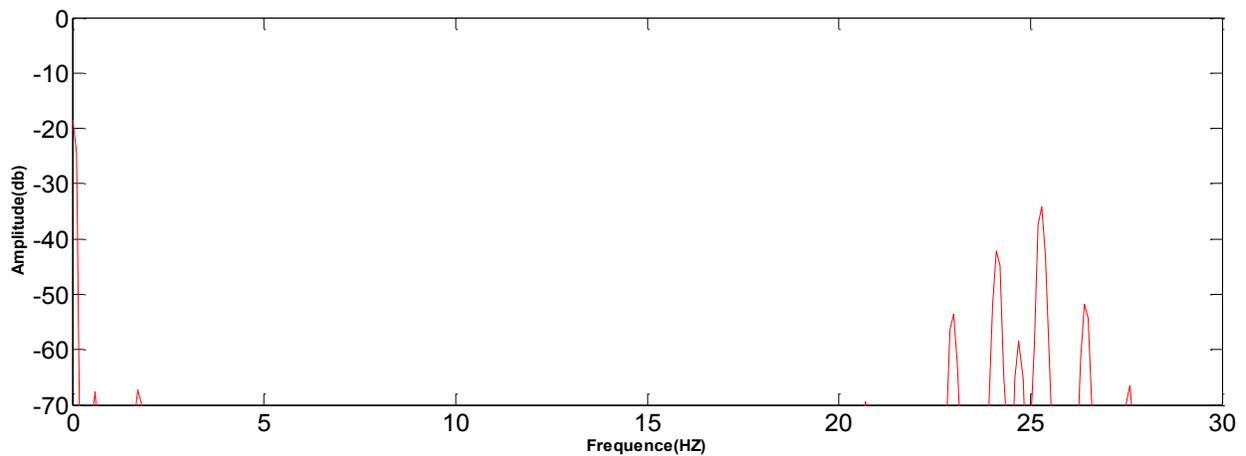


Figure III.10. Analyse spectrale de la force électromotrice à l'état défectueux

Discussion des résultats :

Nous observons que les harmonique gf et $3gf$ ne montre pas parce que la vitesse rotorique presque égal la vitesse statorique donc le glissement presque nul et les harmonique gf et $3gf$ presque nul

III.5.1.2. Fonctionnement 25% de la charge

Théoriquement :

La vitesse égal 1483tr /min donc $s = (1500 - 1483) / 1500 = 0.0113$.

Alors $f_s * s = 0.5650$ et $3f_s * s = 1.6950$

Pratiquement :

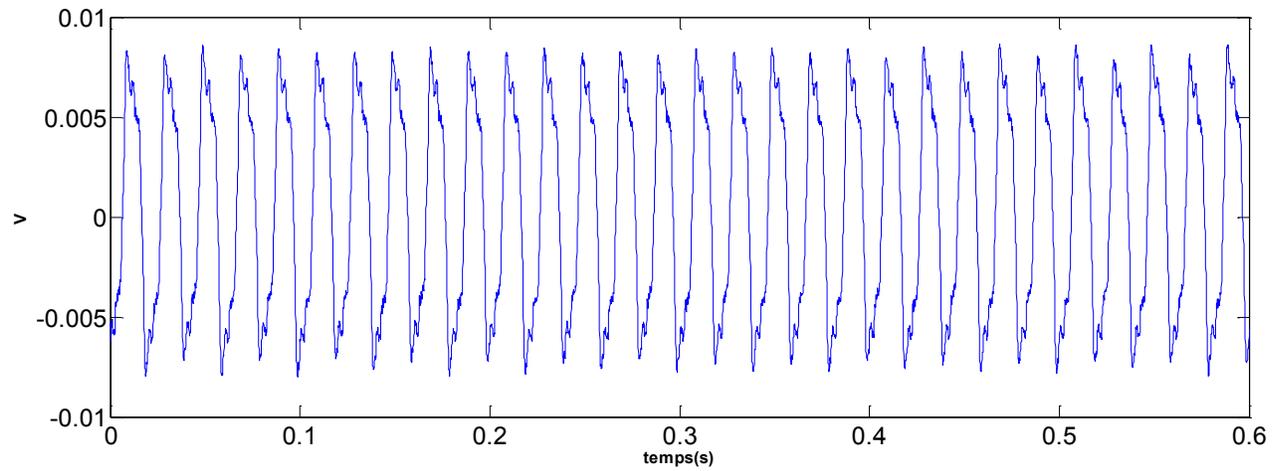


Figure III.11. Le signal de la force électromotrice en fonction du temps à l'état sain

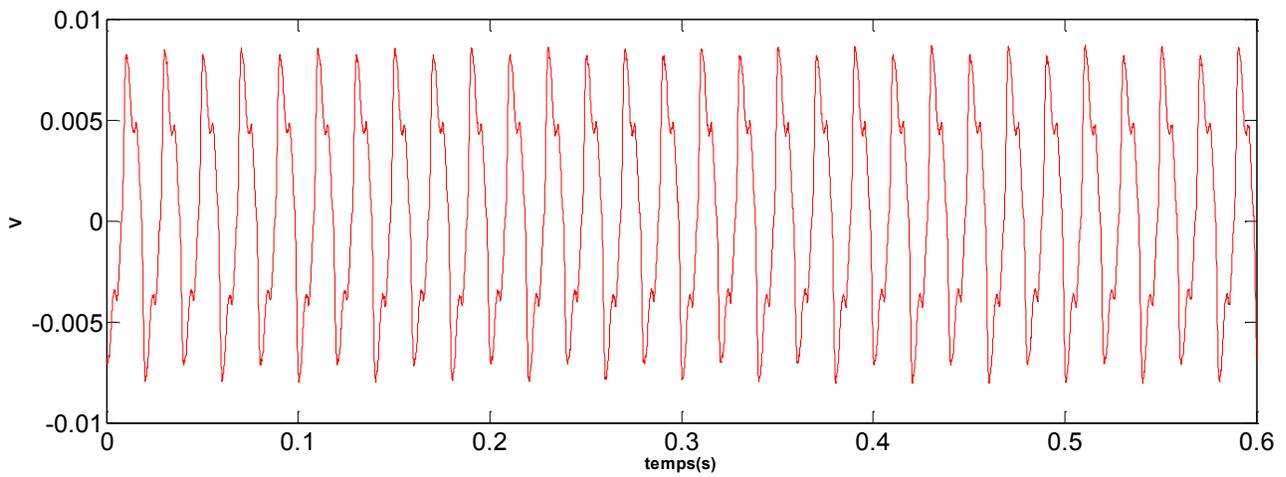


Figure III.12. Le signal de la force électromotrice en fonction du temps à l'état défectueux

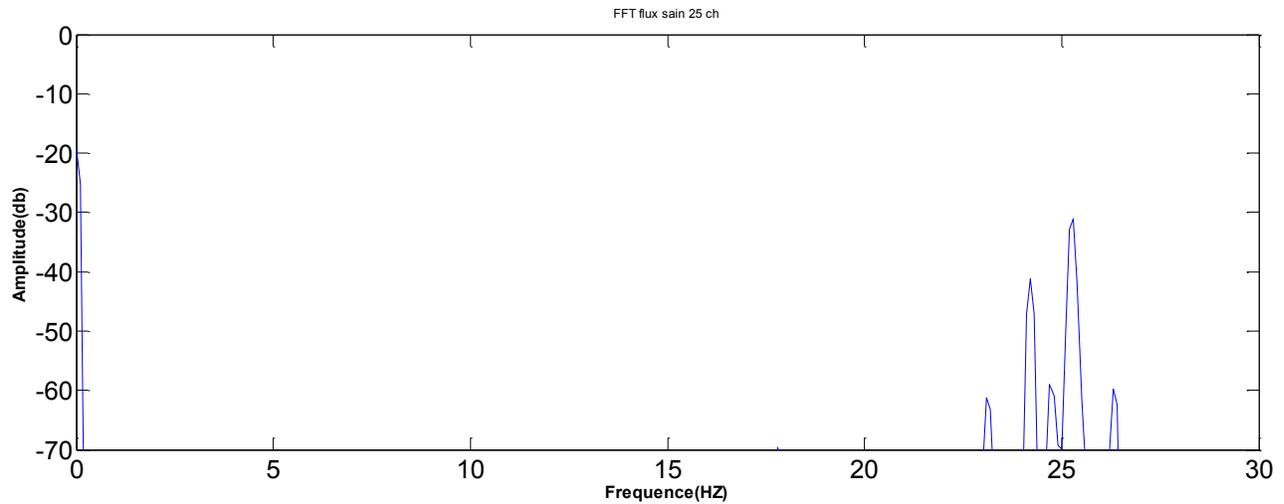


Figure III.13. Analyse spectrale de la force électromotrice à l'état sain

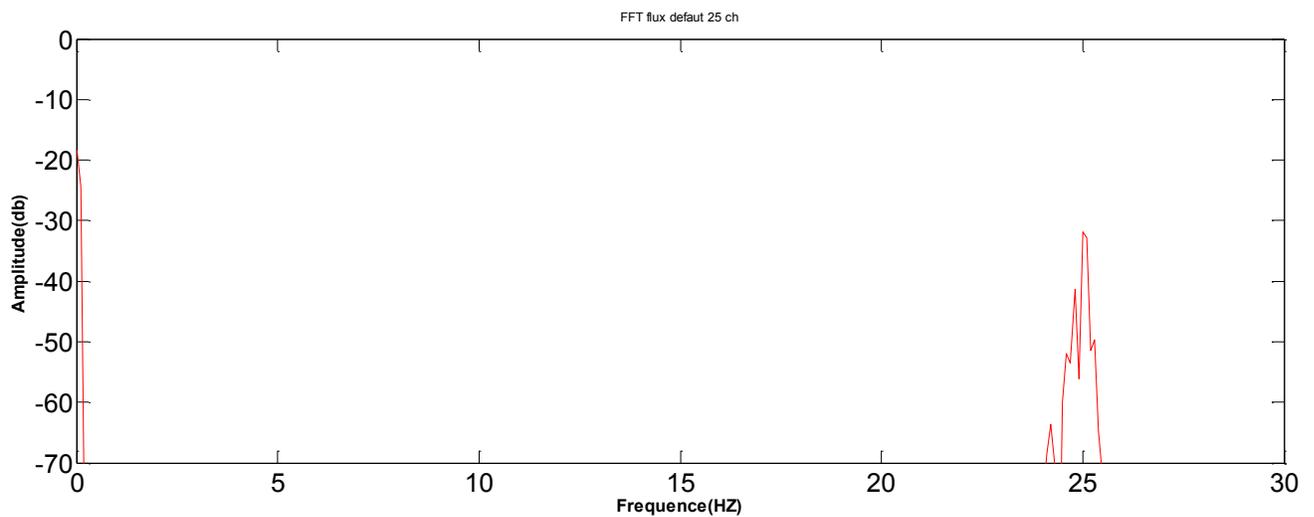


Figure III.14. Analyse spectrale de la force électromotrice à l'état défectueux

Discussion des résultats :

Nous observons que dans les petite charge ne remarquons pas les harmoniques $f_s \cdot s$ et $3f_s \cdot s$ car le glissement est presque nul donc les harmoniques $f_s \cdot s$ et $3f_s \cdot s$ est égal nul .

III.5.1.3. Fonctionnement 50% de la charge

Théoriquement :

La vitesse égal 1470tr /min donc $s = (1500 - 1470) / 1500 = 0.02$.

Alors $f_s \cdot s = 1$ et $3f_s \cdot s = 3$

Pratiquement :

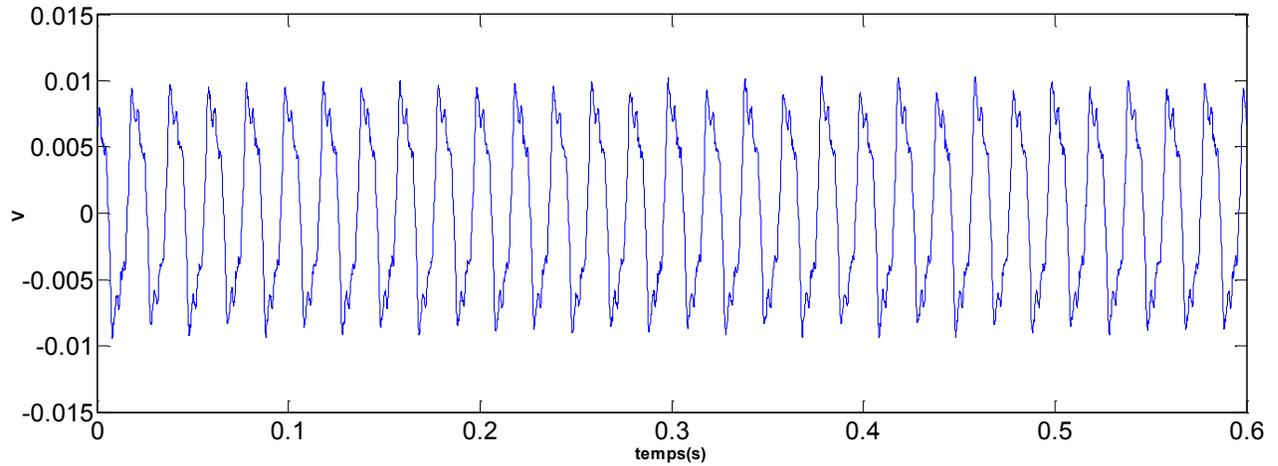


Figure III.15. le signal de la force électromotrice en fonction du temps à l'état sain

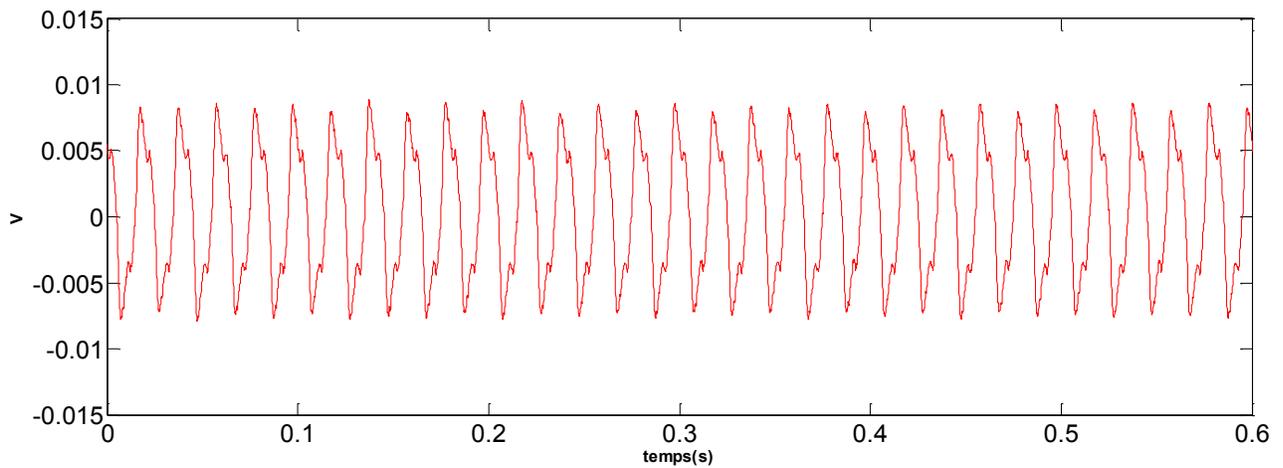


Figure III.16. Le signal de la force électromotrice en fonction du temps à l'état défectueux

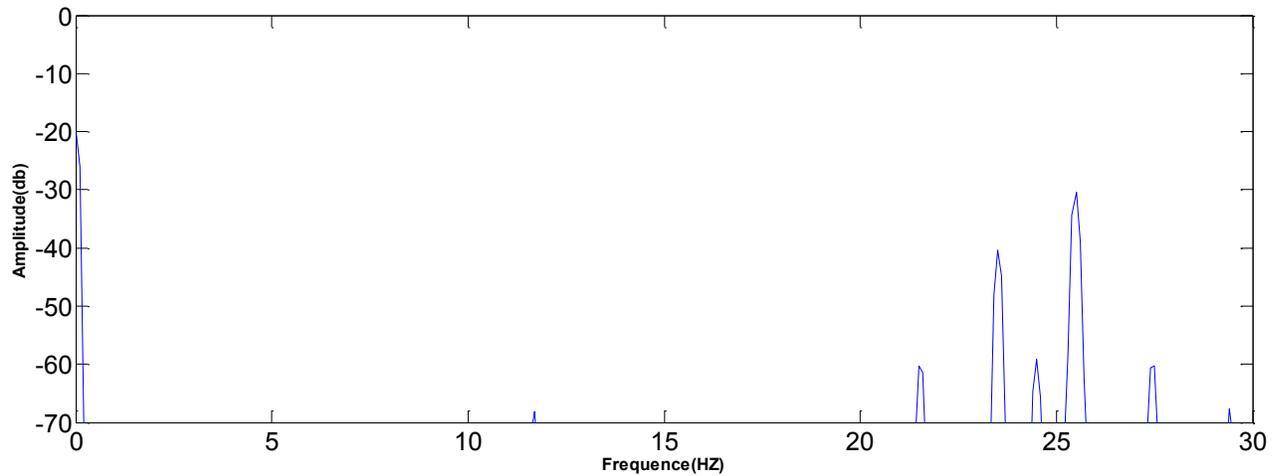


Figure III.17. Analyse spectrale de la force électromotrice à l'état sain

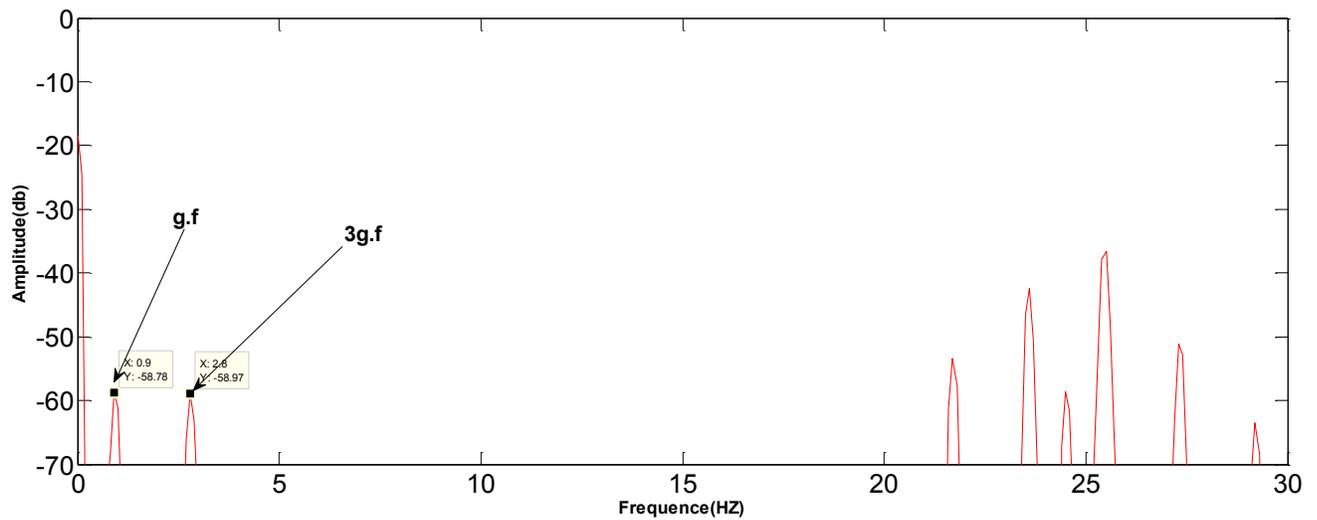


Figure III.18. Analyse spectrale de la force électromotrice à l'état défectueux

III.5.1.4. Fonctionnement 75% de la charge

La vitesse égal 1455tr /min donc $s = (1500 - 1455) / 1500 = 0.03$.

Alors $fs * s = 1.5$ et $3fs * s = 4.5$

Pratiquement :

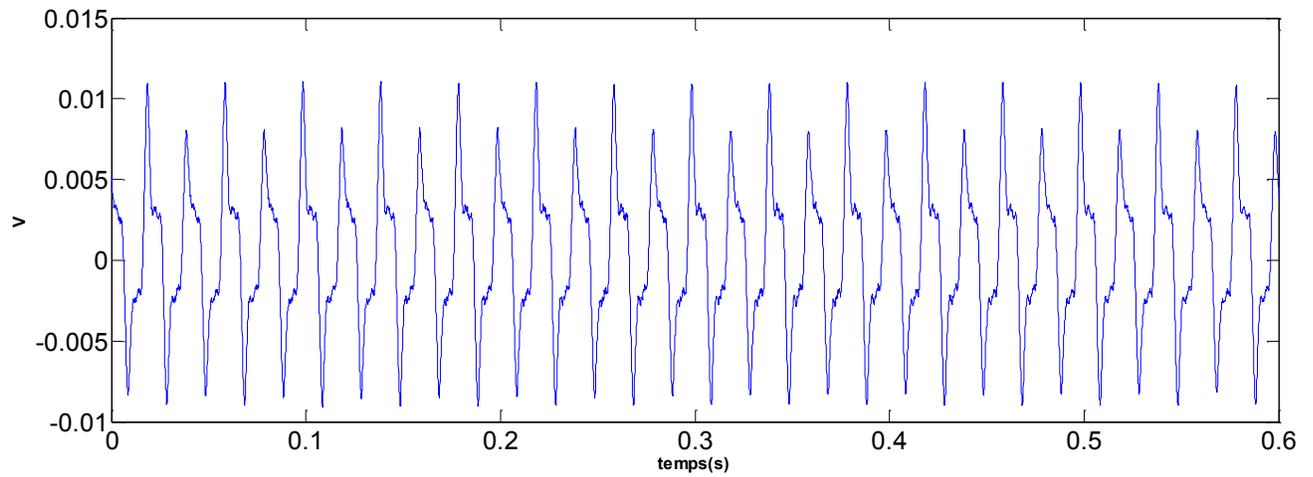


Figure III.19. Le signal de la force électromotrice en fonction du temps à l'état sain

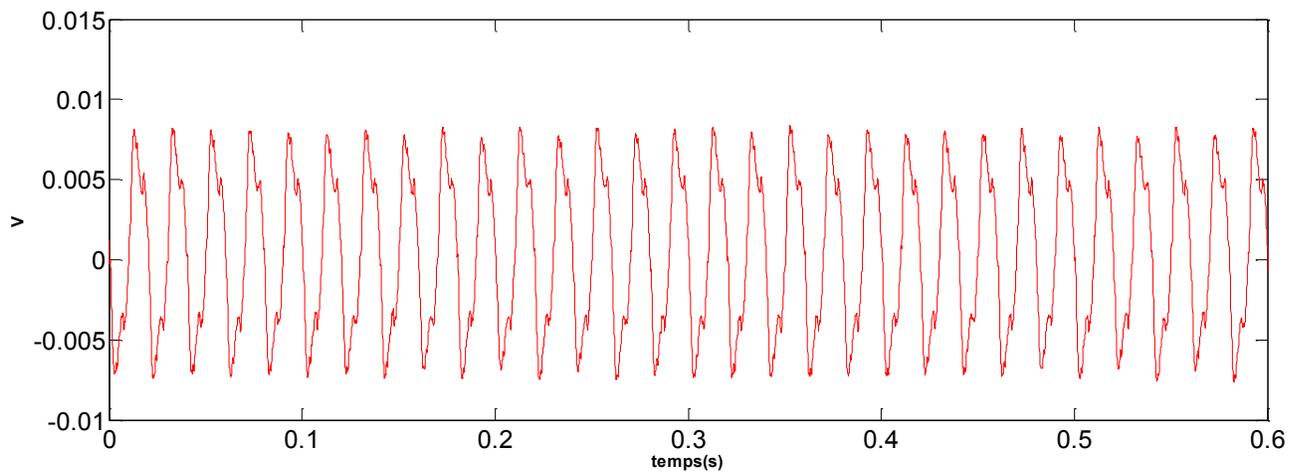


Figure III.20. Le signal de la force électromotrice en fonction du temps à l'état défectueux

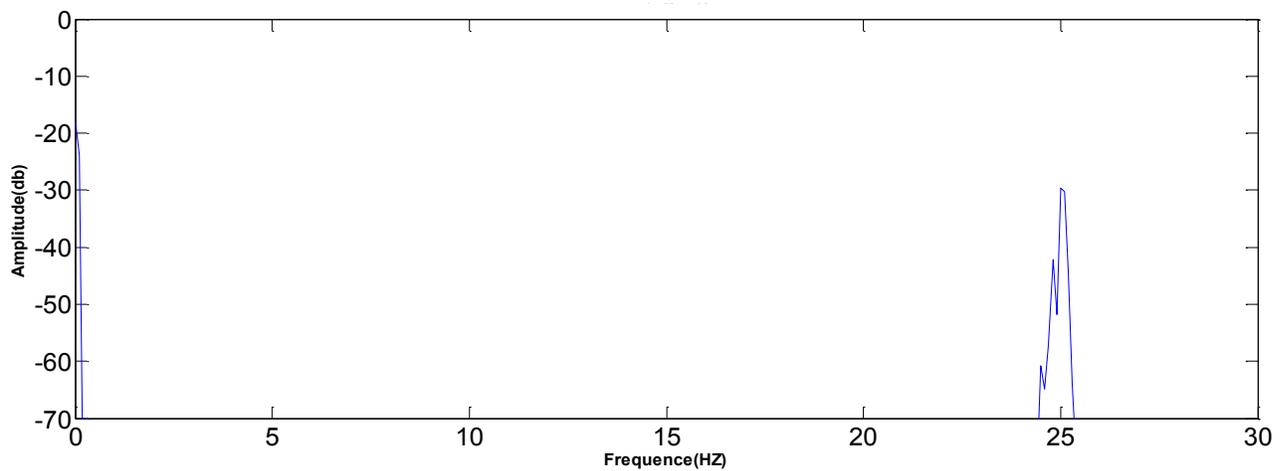


Figure III.21. Analyse spectrale de la force électromotrice à l'état sain

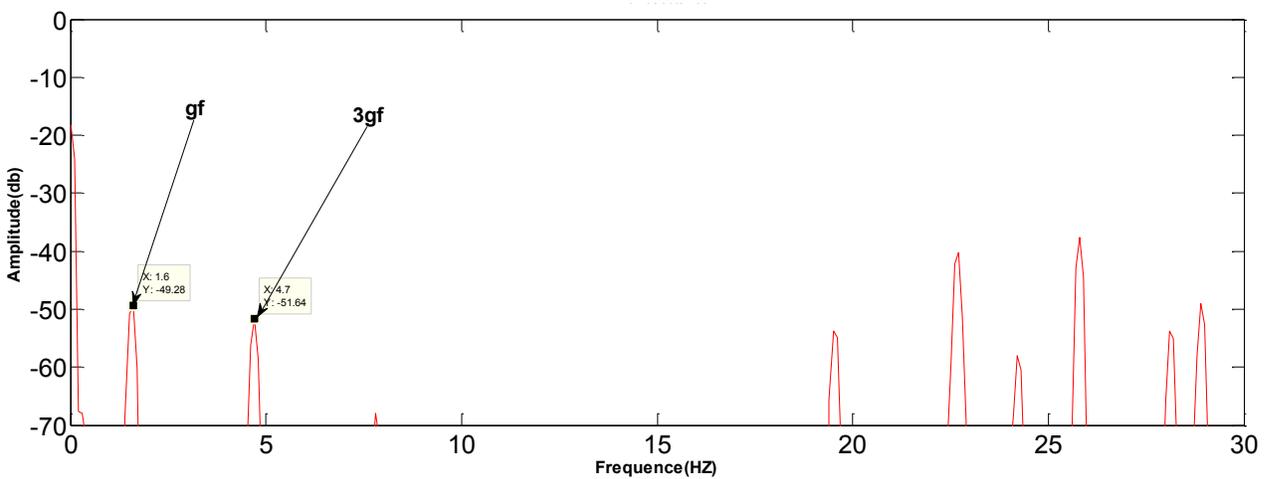


Figure III.22. Analyse spectrale de la force électromotrice l'état défectueux

Discussion des résultats :

Nous observons que lorsque on augmente le couple résistif nous remarquons que les harmoniques gf et $3gf$ devient clairs parce que le glissement augmente donc les harmoniques gf et $3gf$ ont des valeurs logiques.

Conclusion

Dans ce chapitre, une étude expérimentale pour le diagnostic des défauts de barre cassée dans les machines asynchrones à cage d'écureuil a été présentée. Les tests montrés que :

- Il y a des harmoniques gf et $3gf$ lorsque nous avons une cassure de barre.
- Nous avons conclu que lorsque nous augmentons la charge les harmoniques gf et $3gf$ deviennent clairs et nous connaissons qu'il y a une cassure de barre dans la machine électrique.

-Et dans le chapitre précédent nous essayons de montrer que les résultats théoriques sa accord avec les résultats pratique.

CONCLUSION GENERALE

Le travail présenté dans ce mémoire s'inscrit dans le cadre du diagnostic des défauts dans les moteurs asynchrones triphasés à cage d'écureuil.

Au début de ce travail nous avons parlé les principaux éléments constituant la machine asynchrone et les différents défauts de cette machine avec les causes et les conséquences.

Dans le deuxième chapitre nous avons fait la simulation de model de machine asynchrone dans les deux cas (à l'état sain et défectueux) avec différentes charges et nous avons prends les informations, En utilisant la méthode d'analyse des signatures de flux de fuite cette méthode et très facile et simple d'utiliser.

Dans le troisième chapitre nous avons fait l'essai expérimental pour assurer si cette méthode donne le même résultat de simulation ou bien non ?

Nous avons pris un moteur à l'états sain et défectueux et faire les tests dans le laboratoire LGB de Biskra, En utilisant la méthode d'analyse des signatures de flux de fuite

En fin nous avons conclu que Les résultats obtenus par l'étude théorique sont en accord avec les mesures expérimentales.

Pour la bonne application de cette technique et obtenir une bonne résultat il faut appliqué cette technique en charge parce que les harmoniques surveillées sont à une fréquence dépendante du glissement g de la machine et pour un faible glissement ces harmoniques (gf et $3gf$) sont presque nul donc ne sont pas visibles.

Biographie

[1] : **Mabrouk Abd Elhamid** « Contribution Au Diagnostic De La Machine Asynchrone En Présence De Variation De Charge » Thèse de doctorat, Doctorat en Science En Electrotechnique Université Mohamed Khider – Biskra Soutenu publiquement le 25 / 05 /2017

[2] : **SAHRAOUI Mohamed** « Contribution au Diagnostic d'une Machine Asynchrone Triphasée à Cage » Thèse de Magister, magister en électrotechnique Université Mohamed Khider – Biskra Soutenu publiquement le 09/12/2003

[3] : **SAHRAOUI Mohamed** « Etude Comparative des Méthodes de Diagnostic des Machines Asynchrones » Thèse de doctorat, Doctorat en Science En Electrotechnique Université Mohamed Khider – Biskra Soutenu publiquement le /2010

[4] : **M^r ROUAIBIA Reda** « Detection et diagnostic des défauts des moteurs asynchrone » Thèse de Magister, Option : Commande, détection des défauts et diagnostic des processus industriels UNIVERSITE BADJI MOKHTAR ANNABA Année 2009

[5] : **LAADJAL Khaled** « Modilisation de la machine asynchrone en présence de défauts par flux 2D » thème de master en électrotechnique Université Mohamed Khider – Biskra Soutenu le 01 Juin 2015

[6] : **KHELIF Samia** « Modélisation Des Machines Asynchrones en Vue du Diagnostic Prise en Compte Adéquate du Circuit Magnétique » Thèse de Magister, Doctorat en Science En Electrotechnique Université Mohamed Khider – Biskra Soutenu publiquement le/..../2012

[7] : **ACHOUR Houssam** « Etude comparative des indicateurs des défauts rotoriques dans les MAS à cage » – thème de master en électrotechnique Université Mohamed Khider Soutenu le : 05 Juin 2014

[8] : **BENCHABANA AHMED RAMZI** « Diagnostic de la machine asynchrone par mesure du courant statorique » – thème de master en électrotechnique Université Mohamed Khider Soutenu le :23 Juin 2018

[9] : <https://fr.wikipedia.org/wiki/Flux2D>