

**République Algérienne Démocratique et Populaire**  
**Ministère de l'enseignement Supérieur**  
**Et de la Recherche scientifique**



**Université Echahid Hamma Lakhdar d'El-Oued**  
**Faculté de la Technologie**

**Mémoire de Fin d'Études**  
**En vue de l'obtention du diplôme de**

**MASTER ACADEMIQUE**

**Domaine : Sciences et Technologie**  
**Filière : Génie Électrique**  
**Spécialité : Machine Électrique**

**Thème**

**Diagnostic des machines asynchrones**

**Réalisé par :**

**BENDOUIEM ABDELAZIZ**

**Encadré par :**

**ALALL ABDERRAHIM**

**Soutenu en 2018**



## *Dédicaces*

---

---

*Je dédie ce modeste travail à :*

*mes très chers parents qui ont toujours veillé sur moi et ont mis à ma disposition tout ce qu'ils possèdent pour ma réussite.*

*A ma soeur et mes frères*

*A toute ma famille*

*A mes amis*

*A tous ceux qui m'ont nourri de leur savoir et à ceux avec qui je partage de bons souvenirs*

## **REMERCIEMENTS**

---

---

*Je tiens tout d'abord à remercier, mon directeur de mémoire **ALALL ABDELRAHIM** maître de conférences à l'université HAMA LAKHDAR EL-OUED, d'avoir accepté la direction scientifique de ce travail. Je lui exprime toute ma gratitude pour ses encouragements, son suivi, sa rigueur, ses précieux conseils, et ses qualités humaines.*

*Sur un plan plus personnel, je tiens à remercier profondément, ma mère, mon père, mes frères, d'avoir été là pour moi sans eux, je ne serais pas là pour écrire quelques lignes de ce mémoire.*

*Nombreux sont ceux et celles qui m'ont apporté aide et encouragements au cours de la préparation de ce mémoire. Qu'ils en soient tous chaleureusement remerciés.*

# *Résumé*

---

---

Les entraînements électriques à vitesse variable utilisent de plus en plus les moteurs asynchrones, grâce à leurs robustesses, puissance massique et faible cout. La maintenance et le diagnostic de défauts de ces entraînements sont de nos jours un enjeu économique, donc il est important de détecter de manière précoce les défauts qui peuvent apparaître dans ces machines et dans leurs systèmes d'alimentation (onduleur) en développant des méthodes de surveillance du fonctionnement ou de maintenance préventif afin d'éviter les arrêts intensifs de l'installation.

Dans ce mémoire, on s'intéresse à la détection et la localisation de défauts dans la machine asynchrone et dans l'onduleur. Concernant ceux dans la machine, la majorité des travaux réalisés considèrent que la machine est alimentée par une source sinusoïdale, or, l'originalité de ce travail, consiste à reconsidérer la détection et la localisation des défauts de rupture de barres, anneaux et de défauts d'excentricités lorsque la machine est alimentée par un onduleur de tension.

# *Abstract*

---

---

The electric drives with variable speed use the asynchronous motor more and more, because of their robustness, of their specific power, and their low costs. The maintenance and the diagnosis of defect of these drives are nowadays an economic stake. It is significant to detect in an early way the defects which can appear in these machines and their feeding system (inverter) by developing methods of monitoring of preventive operation or maintenance in order to avoid the stops intensive of the installation. In this work we intereste to the detection and the localization of defects in the asynchronous machine and the inverter. For the defects in the machine, the majority of work carries consider the machine supplied with a sinusoidal source but the originality of this work,we reconsiders the detection and the localization of the defects of rupture of bar, rings and of defect of eccentricity when the machine east fed by an inverter .

Concerning, the inverter, we consider the analysis of defects of conducting sowing by two approach. First, we show the detection and the localization of the transistor at fault by analyzing the stator currents of each phase, in continuation reconsiders of it work with direct analysis of the components into quadratic of the currents of phases stator.

# ملخص

---

نظرا لما تتميز به المحركات اللاتزامنية من خصائص ، وذلك بفضل متانة، كثافة الطاقة ومنخفضة التكلفة. أصبحت عملية الصيانة والتشخيص عن الأخطاء لمحركات الأقراس هذه مشكلة اقتصادية ، لذا من المهم اكتشاف العيوب المبكرة التي قد تظهر في هذه الأجهزة وأنظمة الطاقة الخاصة بها (العاكس) من خلال تطوير طرق مراقبة العمليات أو الصيانة الوقائية لمنع إيقاف التشغيل المكثف للتركيب.

في هذه المواصفات، ونحن مهتمون في كشف وتحديد الاعطال في الجهاز غير متزامن والعاكس. فيما يتعلق بالآلات الموجودة في الآلة ، فإن غالبية الأعمال المحققة تعتبر أن الآلة يتم تغذيتها عن طريق مصدر جيبي ، لكن أصالة هذا العمل ، تتكون من إعادة النظر في الكشف وتوطين عيوب كسر القضبان والخواتم والعيوب. غريب الأطوار عندما يتم تشغيل الجهاز بواسطة العاكس الجهد.

# SOMMAIRE

---

|                            |      |
|----------------------------|------|
| Résumé                     | page |
| Notations et symboles      |      |
| Liste des figures          |      |
| Introduction générale..... | 1    |

## *Chapitre I*

### *Machine asynchrone*

|   |    |
|---|----|
| I.1 Introduction .....  | 4  |
| I.2 Constitution de la machine.....                             | 4  |
| I.2.1 Le stator .....   | 5  |
| I.2.2 Le rotor .....  | 5  |
| I.2.3 Carcasse.....   | 6  |
| I.3 Différents types de défauts.....                            | 6  |
| I.3.1 Défauts électriques .....                                 | 6  |
| I.3.2 Défauts de fabrication .....                              | 6  |
| I.3.3 Défauts mécaniques.....                                   | 7  |
| I.3.4 Défauts électromagnétiques.....                           | 7  |
| I.3.5 Causes des défauts.....                                   | 7  |
| I.4 Techniques de diagnostic des machines électriques.....      | 7  |
| I.4.1 Techniques électriques .....                              | 8  |
| I.4.1.1 Diagnostic par mesure du courant statorique.....        | 8  |
| I.4.1.2 Diagnostic par les courants de Park .....               | 8  |
| I.4.2 Techniques magnétiques .....                              | 8  |
| I.4.2.1 Diagnostic par mesure du flux magnétique .....          | 8  |
| I.4.3 Techniques mécaniques.....                                | 9  |
| I.4.3.1 Diagnostic par mesure des vibrations.....               | 9  |
| I.5 Principaux défauts d'une machine asynchrone triphasée ..... | 9  |
| I.5.1 Défauts de roulements.....                                | 10 |

# SOMMAIRE

---

---

|   |    |
|---|----|
| I.5.2 Défauts statoriques.....          | 11 |
| I.5.3 Défauts de barres rotoriques..... | 12 |
| I.5.4 Défaut d'excentricité.....        | 13 |
| I.6 Conclusion .....                    | 15 |

## Chapitre II : Diagnostic de la machine asynchrone

|  |    |
|--|----|
| II.1 Introduction:.....  | 17 |
| II.2 Diagnostic de la machine asynchrone:.....   | 17 |
| II.3 Objectif de diagnostic:.....  | 17 |
| II.4 Défauts des machines asynchrones:.....  | 17 |
| II.4.1 Défaillances d'ordre mécanique :.....   | 17 |
| II.4.2 Défaillances d'ordre électrique:.....   | 18 |
| II.5 Modilisation du machine asynchrone:.....  | 18 |
| II.6 Modèle multi enroulement:.....  | 18 |
| II.7 Hypothèses simplificatrices:.....   | 19 |
| II.8 Méthodes de détection et de localisation:.....                                    | 19 |
| II.8.1 Aspect modélisation:.....   | 20 |
| II.8.2 Estimation des paramètres physiques: .....                                      | 20 |
| II.8.3 Estimation d'état:.....   | 20 |
| II.8.4 Traitement de signaux:.....   | 21 |
| II.9 La méthode de diagnostic:.....  | 21 |
| II.9.1 Analyse spectrale du courant statorique:.....                                   | 21 |
| II.9.2 Cassures des barres:.....   | 23 |
| II.9.3 Effet du nombre de barres cassées sur les harmoniques $(1\pm 2k) f_s$ :.....    | 24 |
| II.9.4 Diagnostic par mesure du flux magnétique axial de fuite:.....                   | 25 |
| II.9.5 Diagnostic par mesure du couple électromagnétique:.....                         | 25 |
| II.9.6 Diagnostic par analyse des vibrationsmécaniques:.....                           | 25 |
| II.9.7 Diagnostic par mesure de la puissanceinstantanée:.....                          | 26 |
| II.9.8 Diagnostic par utilisation des techniques d'intelligence artificielle(AI):..... | 26 |
| II.10 Conclusions:.....  | 27 |

# SOMMAIRE

---

---

|                     |  |    |
|---------------------|--|----|
| <b>Chapitre III</b> | <b>simulation de défaut de la machine asynchrone</b>           |    |
| III.1               | Introduction:.....   | 29 |
| III.2               | Résultats de simulation:.....                                  | 29 |
| III.2.1             | Résultats de simulation d'un fonctionnement sain :.....        | 29 |
| III.2.2             | Cassure de barre rotorique:.....                               | 29 |
| III.2.3             | Court circuit entre spire:.....                                | 31 |
| III.2.4             | Etude de court circuit entre spire avec Cassure de barre:..... | 32 |
| III.3               | Conclusion :.....  |    |

# Liste des figures

---

---

## Chapitre I Machine asynchrone

|   |    |
|---|----|
| Figure 1.1 Vue d'une machine asynchrone.....                      | 4  |
| Figure 1.2 Stator d'une machine triphasée.....                    | 5  |
| Figure 1.3 Rotor à cage d'écureuil.....                           | 6  |
| Figure 1.4 Casse cassée d'une barre.....                          | 8  |
| Figure 1.5 Structure d'un roulement à billes.....                 | 10 |
| Figure 1.6 Représentation d'un court circuit dans une bobine..... | 11 |
| Figure 1.7 Défauts d'excentricités : statique, dynamique.....     | 14 |

## Chapitre II Diagnostic de la machine asynchrone

|   |    |
|---|----|
| Figure 2.1 Partie électrique d'un rotor à cage.....   | 19 |
| Figure 2.2 L'analyse spectrale des signaux de couple, vitesse et le courant statorique en régime permanent.....                       | 22 |
| Figure 2.3 L'analyse spectrale des signaux de couple, vitesse et le courant statorique en régime permanent avec une barre cassée..... | 22 |
| Figure 2.4 Spectre du courant statorique d'un moteur sain en charge.....  | 23 |
| Figure 2.5 Spectre du courant statorique d'un Moteur en charge avec une barre cassée.....   | 23 |
| Figure 2.6 Spectre du courant statorique d'un Moteur en charge avec trois barres adjacentes cassées.....                              | 24 |
| Figure 2.7 Spectre du courant statorique d'un Moteur en charge avec trois barres cassées symétriquement.....                          | 24 |
| Figure 2.8: Mesures vibratoires sur la machine asynchrone.....  | 26 |

## Chapitre III simulation de défaut a machine asynchrone

|  |    |
|--|----|
| Figure 3.1 Caractéristique mécanique du moteur (Couple - Vitesse)..... | 29 |
| Figure 3.2 Caractéristique mécanique du moteur (Couple - Vitesse)..... | 30 |
| Figure 3.3 Spectre du courant.....                                     | 30 |
| Figure 3.4 Caractéristique mécanique du moteur (Couple - Vitesse)..... | 31 |

|            |  |    |
|------------|--|----|
| Figure.3.5 | Spectre du courant.....  | 31 |
| Figure.3.6 | Couple électromagnétique de cassure des barres et court circuit entre spire..... | 32 |
| Figure.3.7 | Courants statorique de cassure des barres et court circuit entre spire.....      | 33 |
| Figure.3.8 | Vitesse de rotation avec cassure des barres et court circuit entre spire.....    | 33 |
| Figure.3.9 | Courants rotoriques avec cassure des barres et court circuit entre spire.....    | 34 |

# *Notations et Symboles*

---

---

|                          |  |
|--------------------------|--|
| $V_{s1}, V_{s2}, V_{s3}$ | Tensions statoriques   |
| $i_{s1}, i_{s2}, i_{s3}$ | Courants statoriques   |
| $V_r$                    | Tensions rotoriques  |
| $C_r$                    | Couple de charge   |
| $C_e$                    | Couple électromagnétique   |
| $\Phi_s$                 | Flux statorique  |
| $\omega_r$               | Vitesse de rotation  |
| $L_{sr}$                 | Inductances mutuelles entre les phases statoriques et les mailles rotoriques |
| $N_r$                    | Nombre de barres rotoriques  |
| $R_s$                    | Résistance statorique  |
| $R_b$                    | Résistance d'une barre   |
| $L_{cb}$                 | Inductance d'une barre   |
| $R_e$                    | Résistance d'une portion d'anneau  |
| $L_{ce}$                 | Inductance d'une portion d'anneau  |
| $p$                      | Nombre de paire de poles   |
| $J_t$                    | Inertie totale   |
| $K_v$                    | Coefficient de frottement visqueux   |
| $F_0$                    | Fréquence d'alimentation   |
| $R_r$                    | Rayon moyen de l'entrefer  |
| $N_s$                    | Nombre de spires de l'enroulement d'une phase                                |
| $l$                      | Longueur de la machine   |
| $g_0$                    | Epaisseur de l'entrefer  |
| $\mu_0$                  | Perméabilité de l'air  |
| $a=2*\pi*p/N_r$          | Pas entre deux encoches rotoriques   |
| $L_f$                    | Inductance de fuite  |

***INTRODUCTION  
GÉNÉRALE***

### ***INTRODUCTION GÉNÉRALE***

La machine asynchrone est célèbre grâce à sa qualité de robustesse et à son faible coût de construction. Dans les milieux industriels, il est nécessaire de mettre en place des programmes de maintenances préventives et correctives pour assurer leur continuité de fonctionnement. La fiabilité et la sûreté de son fonctionnement permettant d'assurer la sécurité des personnes, la qualité du service et la rentabilité des installations.

Malheureusement, ces machines sont soumises à plusieurs contraintes de natures différentes (électriques, mécaniques, thermiques, magnétiques et environnementales). Le cumul de ces contraintes cause des défauts dans les différentes parties du moteur, ce qui engendre par conséquence des arrêts non programmés conduisant à des pertes de production et à des réparations coûteuses. La maintenance classique des machines électriques ne peut pas éviter l'apparition de ces défauts et leurs conséquences sur ces dernières. En effet, car d'une part l'appareillage de protection n'intervient qu'au dernier stade du défaut, c'est à dire dans le cas critique de son évolution. Et d'autre part, dans la plupart des cas, il ne peut pas détecter ces défauts, avec l'utilisation des techniques rudimentaires tels que, le cas des vérifications des différentes parties de la machine lorsqu'elle est à l'arrêt.

Dans ce mémoire, nous utilisons une technique basée sur l'analyse spectrale du courant statorique afin de détecter un défaut de coupure partielle ou totale des barres, de l'anneau d'extrémité du rotor ou un défaut d'excentricité de l'axe de rotor et aussi les défauts des semi conducteurs de l'onduleur. De nombreux travaux ont été consacrés à cette procédure de détection qui utilisent différentes techniques de diagnostic préventif. La plupart de ces techniques utilisent les grandeurs mécaniques (couple, vitesse, vibration, bruit,...etc.), ce qui nécessite par conséquent l'emploi des capteurs au niveau de la machine, et parfois, exige la conception d'une machine spéciale et coûteuse.

Le présent mémoire est rédigé en trois chapitres :

Le premier chapitre est consacré à la machine asynchrone de notre étude. Nous présentons dans sa première partie, les éléments de construction de la machine et on définit les différents défauts pouvant survenir sur chacun de ses éléments (causes et effets). Cette partie fait état des différentes origines des défaillances qui peuvent se produire dans la machine asynchrone. En suite, elle présente les différents défauts que peut subir un convertisseur de puissance.

Dans la deuxième partie, nous énumérons quelques outils nécessaires à l'analyse de signaux temporels dans les domaines fréquentiels et de prédiction pour la détection des

## **Introduction générale**

---

défauts. Finalement nous terminons le premier chapitre par une analyse des différentes techniques de diagnostic utilisées.

Dans le deuxième chapitre un type et méthodes de diagnostic.

Dans le troisième chapitre nous avons étudié les performances du moteur asynchrone pendant les défauts statorique et rotorique en utilisant MATLAB.

# **Chapitre I**

## **Machine asynchrone**

# *Machine asynchrone*

## **I.1 Introduction:**

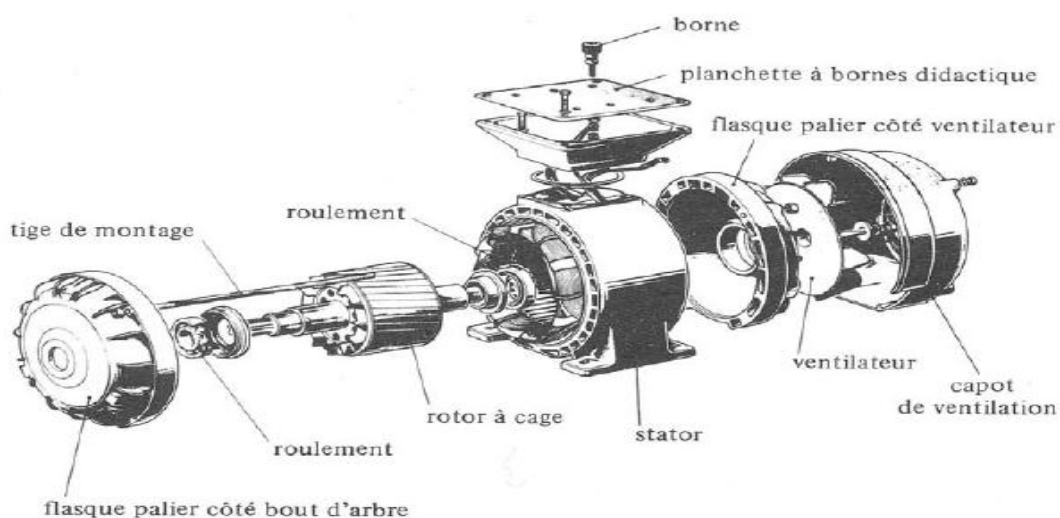
Dans ce chapitre, nous rappelons les Constitution de la machine asynchrone, et les défauts pouvant survenir, ensuite les divers techniques de traitement pouvant être utilisés pour la détection d'un défaut électrique ou mécanique.

## **I.2 Constitution de la machine:**

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. Le rotor est monté sur un axe de rotation. Selon que les enroulements du rotor sont accessibles de l'extérieure ou sont fermés sur eux mêmes en permanence, on définit deux types de rotor : bobiné ou à cage d'écureuil.

Dans ce chapitre, nous allons considérer le cas d'une machine asynchrone à cage d'écureuil le sujet du mémoire. Toutefois, nous admettrons que sa structure est électriquement équivalente à celle d'un rotor bobiné dont les enroulements sont en court-circuit.

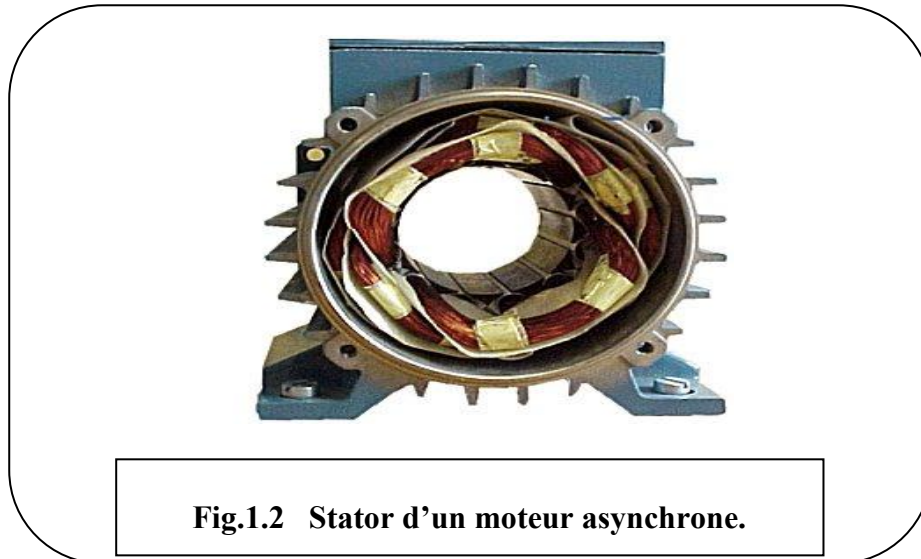
Les éléments de constitution d'une machine asynchrone à cage d'écureuil sont illustrés dans la Figure (1.1).



**Fig.1.1** Constitution de la machine

### I.2.1 Le stator (partie fixe):

Les différents types de moteurs asynchrones ne se distinguent que par le rotor ; dans tous les cas le stator reste, au moins dans son principe, le même. Il est constitué d'un enroulement bobiné réparti dans les encoches du circuit magnétique statorique. Ce circuit magnétique est constitué d'un empilage de tôles dans lesquelles sont découpées des encoches parallèles à l'axe de la machine [1].



### I.2.2 Le rotor (partie mobile):

Les rotors de machines asynchrones peuvent être de deux types : bobinés ou à cage d'écureuil.

Les rotors bobinés sont construits de la même manière que le bobinage statorique (insertion des enroulements dans les encoches rotoriques). Les phases rotoriques sont alors disponibles grâce à un système de bagues balais positionné sur l'arbre de la machine. En ce qui concerne les rotors à cage d'écureuil (figure 1.3), les enroulements sont constitués de barres en cuivre pour les gros moteurs ou en aluminium pour les petits moteurs. Ces barres sont court circuitées à chaque extrémité par deux anneaux dits "de court-circuit", eux aussi fabriqués en cuivre ou en aluminium.

On peut distinguer quatre types de rotor :

- À cage - À double cage - À double encoche - À bague

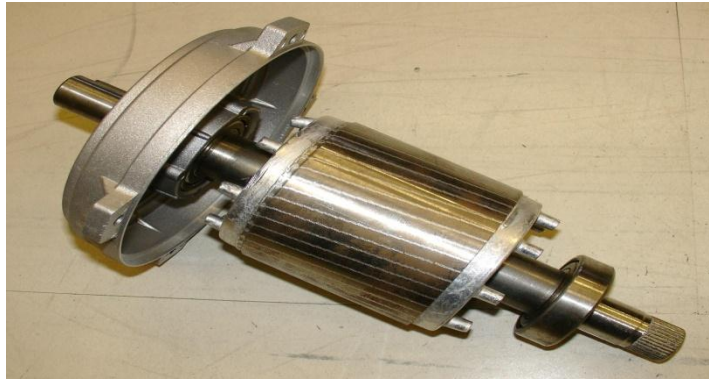


Fig1.3 Rotor à cage d'écureuil

### **I.2.3 Carcasse:**

La carcasse joue le rôle d'enveloppe et assure la protection contre l'environnement extérieur. L'arbre est un organe de transmission comprenant une partie centrale qui sert de support au corps du rotor et un bout d'arbre sur lequel est fixé un demi accouplement .Il est généralement constitué en acier moulé ou forgé . Il est supporté par un ou plusieurs paliers. Ces paliers soutiennent le rotor et assurent sa libre rotation. Le second palier est libre pour assurer les dilatations thermiques de l'arbre. Une isolation électrique de l'un des paliers assure l'élimination des courants dans l'arbre dû aux dissymétries des réluctances du circuit magnétique. Ils sont généralement à roulements pour les machines de petite et moyenne puissance.

### **I.3 Différents types de défauts:**

Les principaux défauts de la machine asynchrone peuvent être d'ordre électrique et/ou mécanique.

#### **I.3.1 Défauts électriques:**

De tels défauts sont dus à un court circuit, à un circuit ouvert au niveau du bobinage statorique ou à une connexion anormale des enroulements statoriques [2].

#### **I.3.2 Défauts de fabrication:**

Un mauvais isolement des conducteurs des enroulements statoriques, et une mauvaise brasure lors de l'encastrement des barres et des anneaux du rotor peuvent causer un sérieux dysfonctionnement de la machine

#### **I.3.3 Défauts mécaniques:**

- Ecaillage des pistes des roulements de l'arbre mécanique ;
- Ovalisation de l'alésage statorique ou rotorique résultant d'un défaut d'usinage ;

- Non alignement des axes du stator et du rotor ;
- Saillance de l'alésage.

### **I.3.4 Défauts électromagnétiques:**

Ces défauts peuvent être dus à l'excentricité de l'entrefer ou à la déformation de l'arbre. Un défaut d'excentricité provoque un balourd magnétique ce qui fait que l'induction au niveau de l'entrefer n'est plus uniforme dans la direction radiale ou axiale donnant ainsi naissance à des forces attractives non régulières entre le stator et le rotor, provoquant des secousses de la cage [3]. La déformation de l'arbre peut provoquer un frottement entre le rotor et le stator provoquant ainsi un endommagement grave du circuit magnétique et des enroulements de la machine.

### **I.3.5 Causes des défauts:**

Les causes des défauts sont multiples, elles peuvent être classées en trois groupes :  
Les initiateurs de défauts : surchauffe du moteur, usure des éléments mécaniques (roulement à billes), rupture de fixation, problème d'isolation électrique, déséquilibre des tensions et courants de ligne.

Les contributions aux défauts : surcharge fréquente, température ambiante élevée, ventilation défaillante, humidité, fortes vibrations, vieillissement.

Les défauts et erreurs humaines : défauts de fabrication, composants défectueux, protection inadaptées, absence de maintenance.

## **I.4 Techniques de diagnostic des machines électriques:**

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 :

- ✓ Le courant statorique ;
- ✓ Le flux rayonnant de la machine ;
- ✓ Les vibrations ;
- ✓ La vitesse de rotation.

## I.4.1 Techniques électriques:

### I.4.1.1 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] [5].

### I.4.1.2 Diagnostic en utilisant 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 [6] [7]

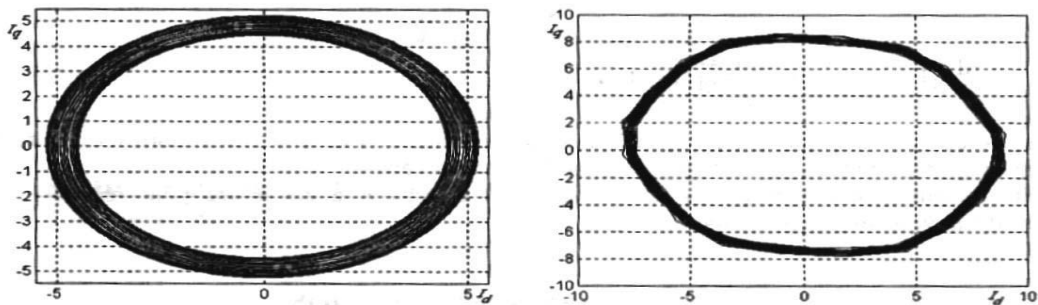


Fig.1.4 cas de cassure d'une barre

## I.4.2 Techniques magnétiques:

### I.4.2.1 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-circuits entre une ou plusieurs bobines de l'enroulement statorique ;
- Excentricité statique et/ou dynamique.... etc.

### **I.4.3 Techniques mécaniques:**

#### **I.4.3.1 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 [8], proportionnelles au carré de l'induction magnétique [9] :

$$F = B^2/2\mu_0 \quad (I.1)$$

Où  $B$  et  $\mu_0$  sont respectivement l'induction magnétique et la perméabilité magnétique de l'air.

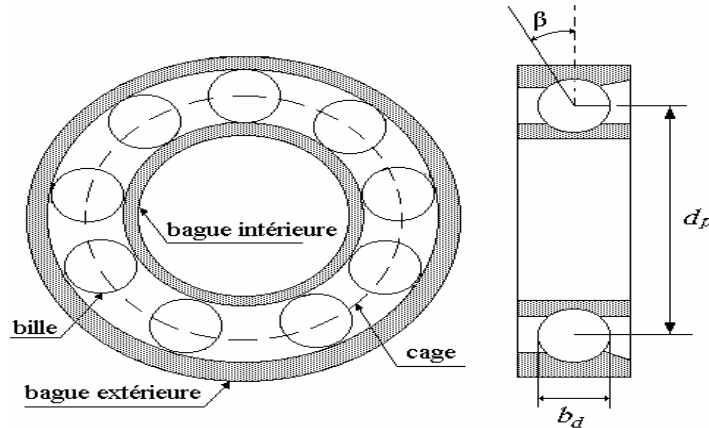
Les accéléromètres piézoélectriques sont les capteurs, les plus largement utilisés pour la mesure des vibrations, ceci en raison de leur gamme de fréquence élevée, de leur fiabilité et leur robustesse. En terme de diagnostic, les signaux de vibrations détectés contiennent des informations importantes 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.

### **I.5 Principaux défauts d'une machine asynchrone triphasée:**

Dans la machine asynchrone, on distingue les défauts affectant le stator et ceux affectant le rotor.

### I.5.1 Défauts de roulements:

Les roulements se composent généralement de deux bagues, intérieure et extérieure, entre lesquelles existe un ensemble de billes ou de rouleaux tournants, tel qu'il est illustré sur figure 1.4.



**Fig1.5** Structure d'un roulement à billes

En fonctionnement normal, la défaillance due à la fatigue commence par de petites fissures situées au-dessous des surfaces du chemin de roulement et de l'élément roulant, ces fissures se propagent graduellement sur la surface. Tout changement de l'uniformité du roulement produit des vibrations détectables et augmente le niveau du bruit.

Les défauts de roulement peuvent se manifester comme des défauts de l'asymétrie du rotor. Ils sont généralement classés dans la catégorie des défauts liés à l'excentricité, or les défauts liés aux roulements à billes peuvent se manifester aux fréquences de vibrations, tels que :

Pour le défaut de la bague extérieure :

$$f_{dbex} = (N/2) f_r [1 - b_d \cos(\beta) / d_p] \quad (I.2)$$

Pour le défaut de la bague intérieure :

$$f_{dbin} = (N/2) f_r [1 + b_d \cos(\beta) / d_p] \quad (I.3)$$

Pour le défaut de billes :

$$f_{db} = d f_{pr} / d_b \left\{ 1 - [b_d \cos(\beta) / d_p]^2 \right\} \quad (I.4)$$

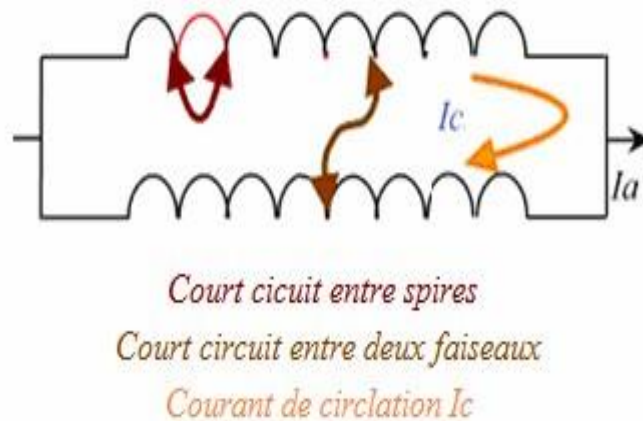
Pour le défaut de la cage :

$$f_{dc} = (f_r / 2) [1 - b_d \cos(\beta) / d_p] \quad (\text{I.5})$$

Où  $f_r$  : fréquence de rotation ;  $N$  : nombre de billes ;  $b_d$  : diamètre d'une bille ;  $d_p$  : distance entre les centres de deux billes diamétralement opposées ;  $\beta$  : angle de contact de la bille avec les bagues du roulement .

### I.5.2 Défauts statoriques:

Ces défauts sont généralement liés à la dégradation de l'isolation électrique. Ils sont généralement connus comme des défauts de court-circuit d'une phase à la terre ou de court-circuit entre phases [10].



**Fig1.6** Présentation d'un court circuit dans une bobine

Il existe plusieurs techniques pour détecter un défaut de court circuit. On cite l'analyse du flux axial de la machine [11], l'emploi d'une bobine concentrique placée autour de l'arbre de la machine [12]. Les fréquences des composantes caractéristiques de ce type de défauts peuvent être détectées dans le spectre du flux axial à des fréquences données par l'expression suivante :

$$f_{st} = f \cdot (k \pm n \cdot (1-g) / p) \quad (\text{I.6})$$

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

$g$  : glissement ;

$p$  : nombre de paire de pôles ;

$f$ : fréquence de l'alimentation ;

### I.5.3 Défauts de barres rotoriques:

Une barre cassée signifie que le courant circulant dans celle ci est nul et le courant qui circulait à travers cette barre se répartit sur les autres barres adjacentes. Ces derniers seront surchargés, ce qui provoquera leurs ruptures, et parfois un arrêt total de la machine. Les phénomènes qui peuvent accompagner la rupture de barres dans une cage rotorique sont :

- a) Contraintes thermiques dues aux surcharges thermiques, points chauds, pertes excessives, et/ ou étincelles ;
- b) Contraintes magnétiques dues aux forces électromagnétiques, traction magnétique déséquilibrée, bruit et/ou vibrations électromagnétiques.
- c) Contraintes résiduelles dues aux problèmes de construction.
- d) Contraintes dynamiques engendrées par les couples de l'arbre et/ou les forces centrifuges ;
- e) Contraintes de l'environnement causées par l'humidité et la poussière.
- f) Contraintes mécaniques dues aux pertes dans les tôles, la fatigue des parties du rotor et le défaut de roulements.

Lorsqu ' une barre est cassée, des harmoniques du flux sont produits sont produits et induisent des harmoniques de courant dans l'enroulement statorique aux fréquences [13]:

$$f_b = (1 \pm 2kg) f \quad (\text{I.7})$$

Avec  $k=1, 2, 3, \dots$ ,  $g$  : est le glissement et  $f$  est la fréquence d'alimentation.

D'autres composantes spectrales peuvent apparaître dans le spectre du courant à des fréquences données par l'expression ci dessous [14] [15][16] :

$$f_b = [ (k/(p/2))(1 - g) \pm g ] f \quad (\text{I.8})$$

Avec  $k/(p/2) = 1, 3, 5, 7, 9, 11, \dots$

Les défauts de cassures de barres génèrent également dans les signaux du couple et de la vitesse des composantes de fréquences  $2gf$  et  $4gf$ .

### I.5.4 Défaut d'excentricité:

L'excentricité de la machine est le résultat du changement de l'épaisseur de l'entrefer. Ce défaut peut survenir suite à une flexion de l'arbre, ou un mauvais positionnement du rotor par rapport au stator. Il existe deux types d'excentricités qui peuvent apparaître dans une machine électrique :

*L'excentricité statique* : la position de l'épaisseur minimale de l'entrefer est fixe dans l'espace. L'excentricité statique peut être causée par l'ovalité de la partie intérieure du stator ou par le mauvais positionnement du rotor ou du stator durant la phase de construction (figure I.6.a). Si l'assemblage du rotor à son arbre est suffisamment rigide, le niveau d'excentricité statique ne change pas.

*L'excentricité dynamique* : le centre du rotor n'est pas au centre de rotation et la position d'épaisseur minimale d'entrefer tourne avec le rotor (figure I.6.b). Ceci est dû à plusieurs causes telles que la flexion de l'arbre du rotor, l'usure ou défaut d'alignement du roulement, la résonance mécanique à la vitesse critique, ...etc. Nous pouvons dire que l'excentricité dynamique dépend du temps et de l'espace tandis que l'excentricité statique dépend seulement de l'espace.

La présence de l'excentricité se manifeste par l'apparition d'harmoniques dans le spectre du courant à des fréquences ( $f_{ecc}$ ) données par l'expression ci dessous [17] [18] [19] [20] :

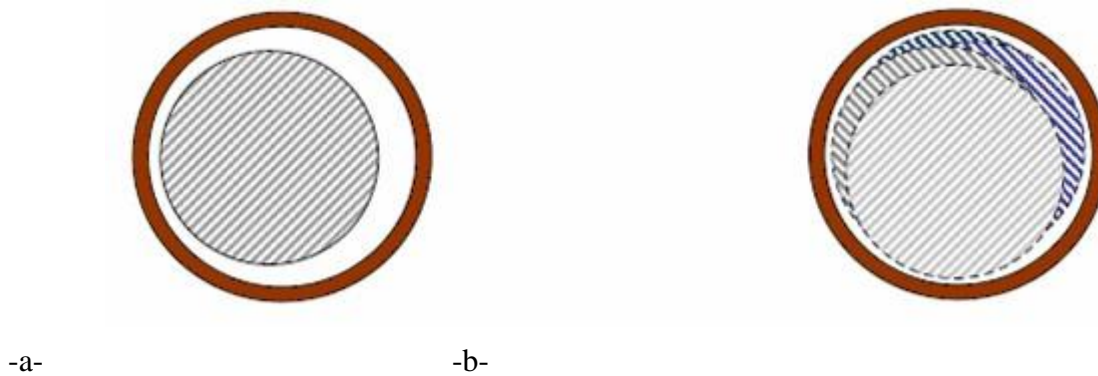
$$f_{ecc} = f_1 [(k_{nb} \pm n_d) (1 - g) / p \pm v] \quad (I.9)$$

Avec  $k = 1, 2, 3, \dots$ ,  $f_1$  : la fréquence d'alimentation,  $n_b$  : le nombre des barres rotoriques et  $n_d$  : le nombre d'ordre d'excentricité :  $n_d = 0$  pour l'excentricité statique et  $n_d = 1, 2, 3, \dots$  pour l'excentricité dynamique,  $g$  : le glissement,  $p$  : le nombre de paires de pôles et  $v$  : l'ordre des harmoniques de temps de la f.m.m, ( $v = \pm 1, \pm 3, \pm 5, \pm 7, \dots$  etc.).

En présence de l'excentricité statique et dynamique c'est à dire une excentricité mixte, il y aura une apparition des harmoniques de basses fréquences ( $f_m$ ) de part et d'autre du fondamental données par la relation ci dessous:

$$f_m = |f_1 \pm k f_r| \quad (I.10)$$

avec  $k = 1, 2, 3, \dots$  et  $f_r = f_1 (1 - g) / p$ .



**Fig 1.7.**Défauts d'excentricité

- (a) : statique,  
 (b) : dynamique

Les signaux de vibrations, peuvent être aussi utilisés pour détecter les défauts liés à l'excentricité. Dans le cas d'excentricité mixte, les composantes de basses fréquences de vibrations du stator sont données par :

$$f = 2f_1 \pm f_r \quad (\text{I.11})$$

D'autres approches, telle que celle utilisant les vecteurs de Park du courant statorique peut être utilisées pour détecter l'excentricité dans le moteur asynchrone à cage d'écureuil.

## I.6 Conclusion:

Puisque il est important de détecter d'une manière précoce les défauts d'une machine, plusieurs techniques ont été mises au point. L'intérêt des travaux et de trouver des signatures permettant de détecter et de diagnostiquer un défaut et aussi d'évaluer son ampleur avant l'arrêt intempestif de la machine. Ainsi, on peut intervenir à temps pour éviter des arrêts généralement coûteux. La totalité des recherches donne un intérêt particulier à la modélisation de la machine pour que le model soit fiable. Parmi ces models, nous avons retenu la méthode des circuits électriques magnétiquement couplés que nous développerons dans le chapitre suivant

**CHAPITRE II**  
**diagnostic de la**  
**machine asynchrone**

## **II.1 Introduction :**

Le diagnostic et la détection de défauts mobilisent à ce jour beaucoup de chercheurs des quatre coins du monde, engendrant la mise en place, de plusieurs groupes de travail, sur la surveillance et le diagnostic [21]. Multiples défaillances peuvent apparaître dans la machine asynchrone. Elles peuvent être prévisibles ou intempestives, mécaniques, électriques, magnétiques ou aussi hybrides. Leurs causes sont très variées[21], [22].

## **II.2 Diagnostic de la machine asynchrone :**

Le diagnostic est une procédure qui consiste à détecter et localiser un composant ou un élément défectueux dans un système dynamique. Par détecter, on désigne la capacité à mettre en évidence l'apparition d'un ou de plusieurs défauts. On parle de localisation quand on est, déplus, capable de préciser la nature du ou des défauts occurrents. La structure générale d'une procédure de diagnostic est représentée, où le module de diagnostic est alimenté par toutes les connaissances disponibles (observation et modèle). Cette connaissance comprend les différentes mesures issues des capteurs et toute autre information pouvant être utile pour le diagnostic.

constatation s'explique en partie par le fait que le courant statorique est plus accessible et mesurable extérieurement au moteur et en plus, l'harmonique  $(1-2g)fs$ , de ce courant est plus sensible à la sévérité du défaut que celle de  $2gfs$ , du couple ou de la vitesse.

## **II.3 Objectif de diagnostic:**

L'étude des défauts des machines asynchrones a un double objectif :

- Comprendre leur genèse de manière à prévoir leur gravité et leur développement.
- Analyser leur impact sur le comportement de la machine et en déduire les signatures permettant, à posteriori, de remonter jusqu'à la cause de la défaillance [23].

## **II.4 Défauts des machines asynchrones:**

### **II.4.1 Défaillances d'ordre mécanique:**

Les défaillances d'ordre mécaniques sont, en général, les plus rencontrées parmi tous les défauts que compte la machine asynchrone.

Ces défauts peuvent apparaître au niveau des roulements à billes, des flasques ou encore de l'arbre moteur. Nous énumérons, dans la suite du document, certains de ces défauts sans pour autant en donner les détails. Nous pouvons trouver dans la littérature des ouvrages très complets qui traitent de ces divers problèmes [21].

- Défaillances des roulements.
- Défaillances du flasque.

- Défaillances de l'arbre.

### **II.4.2 Défaillances d'ordre électrique:**

Les défaillances d'origine électrique peuvent, dans certain cas, être la cause d'un arrêt de la machine (au même titre que les défaillances d'ordre mécanique). Ces défaillances se séparent en deux catégories bien distinctes. Nous pouvons citer les défaillances qui apparaissent au niveau des circuits électriques statoriques et celles qui apparaissent au niveau des circuits électriques rotoriques.

- Défaillances des circuits électriques statoriques.

- Défaillances des circuits électriques rotoriques.

### **II.5 Modélisation du machine asynchrone:**

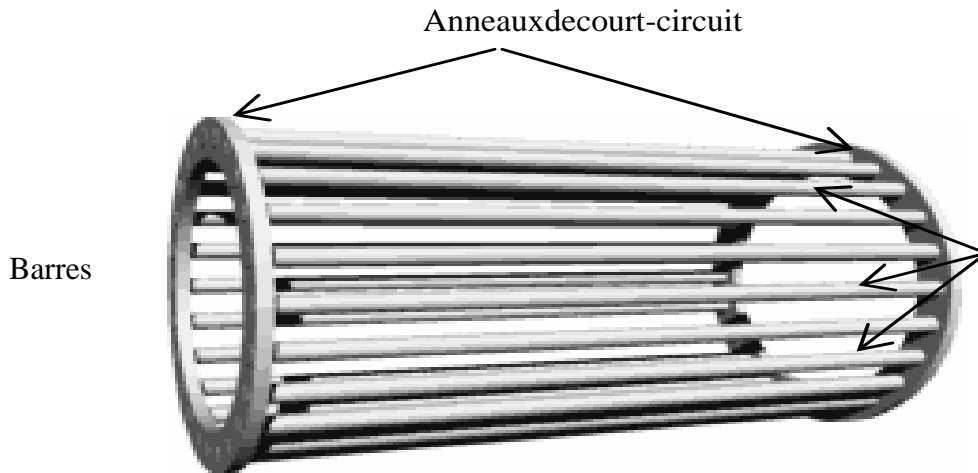
Tant dans le domaine du diagnostic que dans celui de la commande des machines électriques, il est intéressant de disposer de modèles capables de représenter le comportement du système en présence de déséquilibres structurels. La mise au point d'une procédure de diagnostic à base de modèle analytique pour la machine asynchrone recouvre un certain nombre de problèmes qui doivent être résolus. L'un de ces problèmes est le problème de la synthèse de modèles décrivant le comportement de la machine. Ceci non pas d'une façon moyenne comme pour la commande, mais d'une façon plus exacte en intégrant certains paramètres pour décrire le plus précisément possible le comportement de la machine.

Pour cela il fallu s'orienter vers des modèles plus sophistiqués (modèles de type circuit, modèle multi enroulements) pour une description adaptée aux défauts, que ce soit pour une simulation plus réaliste ou pour une utilisation dans la méthode de détection [24].

### **II.6 Modèle multi enroulement:**

L'objectif est avant tout de posséder un modèle de la machine asynchrone qui met en évidence l'influence des défauts étudiés sur les grandeurs mesurables de la machine, principalement les courants, afin d'étudier les phénomènes mise en jeu, deux approches sont possibles, la première s'appuie sur la distribution des champs et des courants en tout point de la machine, et permet de simuler son fonctionnement en régime de défaut, cette méthode coûteuse en temps de calcul, et nécessite la connaissance des paramètres géométriques et des caractéristiques des matériaux relatifs au moteur asynchrone, la seconde approche consiste à modéliser le rotor de la machine par des mailles reliées entre elles électriquement et couplées magnétiquement, c'est à cette dernière que nous nous sommes intéressés afin de disposer d'un modèle mathématique où les paramètres mesurables apparaissent explicitement et ne nécessitent pas d'outils de calcul complexes [24]. On introduit dans notre étude le modèle de la

machine asynchrone où on considère le stator a des constitutions symétrique pour permettre d'avoir une force magnétomotrice sinusoïdale dans l'entrefer et le rotor à une structure.



**Fig.2.1** .Partie électrique d'un rotor à cage

### II.7Hypothèses simplificatrices:

Pour mettre en évidence l'influence des défauts électriques sur les grandeurs temporelles de la machine asynchrone, il est indispensable de poser certaines hypothèses qui ont pour but de faciliter la mise en équations des circuits électriques de la machine. Mais, il faut imposer un minimum d'hypothèses si nous voulons que le vecteur de sortie soit le plus exploitable possible.

- Circuit magnétique linéaire (la perméabilité du fer très grande devant 1).
- Effet de peau est négligeable.
- Barres rotoriques sont isolées les unes des autres
- Pertes fer, les effets capacitifs et les effets thermiques sont négligeables.
- Pas d'effet d'excentricité.

Avec ces hypothèses et on suppose un stator sain les différents paramètres du modèle sont comme suit

### II.8 Méthodes de détection et de localisation:

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 [21].

### II.8.1 Aspect modélisation:

La modélisation et la simulation des machines constituent une étape primordiale en matière de diagnostic [21]. Elles permettent la compréhension du fonctionnement défectueux, la vérification sur le prototype virtuel de l'efficacité des algorithmes de détection de défauts et elles apportent également la possibilité de construire des bases de données sur les manifestations électriques et magnétiques de ces défauts. Parmi les approches de modélisations existantes, nous en privilégions trois qui représentent chacune un niveau de complexité différent :

- approches analytiques,
- méthodes des schémas magnétiques,
- méthodes des éléments finis.

Ces trois méthodes ont chacune leur place sur la double échelle complexité/précision des approches de simulation. La méthode analytique est la plus simple à mettre en œuvre, vient ensuite celle des schémas magnétiques, enfin celle des éléments finis, c'est cette dernière qui nécessite des moyens et des temps de calculs les plus importants.

### II.8.2 Estimation des 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 les paramètres physiques de la machine à partir des lois de connaissance.

Le point essentiel du diagnostic par identification paramétrique est le choix du modèle. 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 physiques estimés.

Les premiers travaux sur l'identification ont débutés avec les modèles simplifiés utilisés en commande depuis plusieurs années [25]. Ces modèles sont développés dans le référentiel de park et permettent de détecter un incident sur la machine, ces modèles diphasés offrent l'avantage de la simplicité.

### II.8.3 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 pour plusieurs méthodes.

Banc d'observateurs à entrées inconnues avec découplage non linéaire, sur la base du modèle de park, Observateur d'état à modes glissants, Génération de résidus par projection des équations du modèle de park dans l'espace de parité [26].

#### **II.8.4 Traitement de signaux:**

Le traitement de signal, l'analyse spectrale plus particulièrement, est utilisé pour détecter des défaillances dans les machines, essentiellement les ruptures de barre, la dégradation des roulements, l'excentricité, les courts circuits dans les bobinages, Ces nombreux phénomènes se traduisent par l'apparition de fréquences directement liées à la vitesse de rotation.

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 est de pouvoir détecter et identifier l'élément défectueux en fonction de sa fréquence [26].

### **II.9 La méthode de diagnostic:**

#### **II.9.1 Analyse spectrale du courant statorique:**

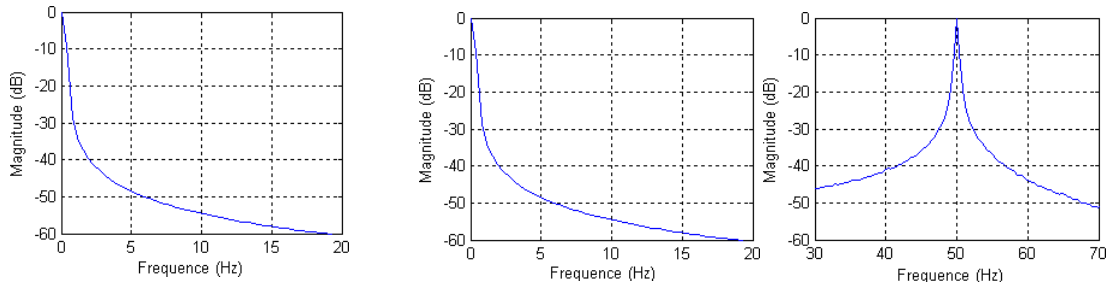
Il est un peu difficile d'analyser directement les résultats précédents pour détecter un défaut, et tout particulièrement quand il s'agit d'une barre cassée ou portion d'anneau.

Seules des méthodes plus utiles comme l'analyse spectrale des signaux offrent un issu pour le diagnostic de ce type de défaut.

L'analyse des courants statoriques dans le domaine fréquentiel reste la méthode la plus couramment utilisée car le spectre résultant contient une source de renseignement sur la majorité des défauts qui pouvant apparaître au sein d'une machine asynchrone.

L'objectif de cette partie consiste à choisir le meilleur signal pour le traiter entre les signaux de couple, vitesse et le courant statorique :

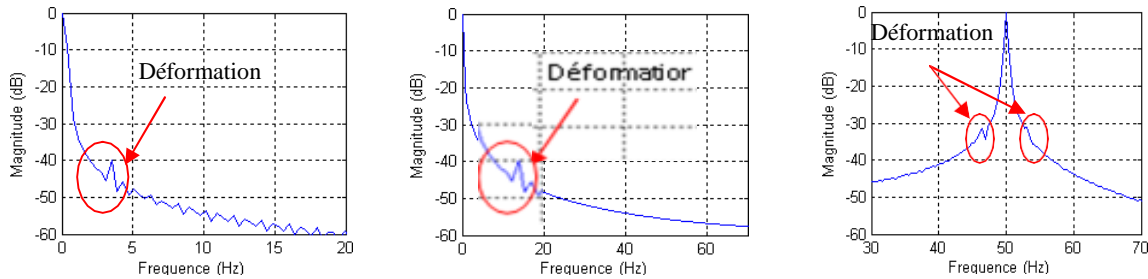
Les figures (4.1) et (4.2) représentent respectivement l'analyse spectrale des signaux de couple, vitesse et le courant statorique en régime permanent dans l'état sain et avec une barre cassée par la fenêtre de Hamming.



Fenêtrerecouple

Fenêtre de vitesse Fenêtre du courantstatorique

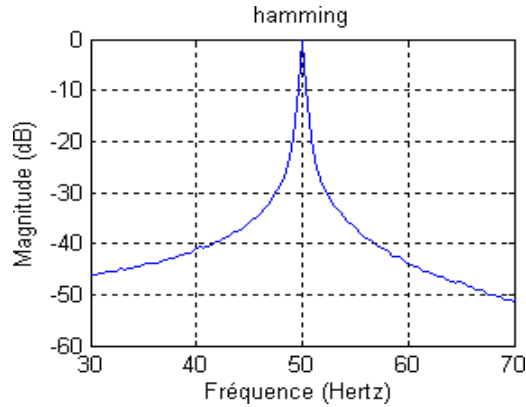
**Fig. 2.2-** Analyse spectrale des signaux de couple, vitesse et le courant statorique en régime permanent dans l'étatsain



Fenêtre de couple Fenêtre de vitesse Fenetre de courant statorique

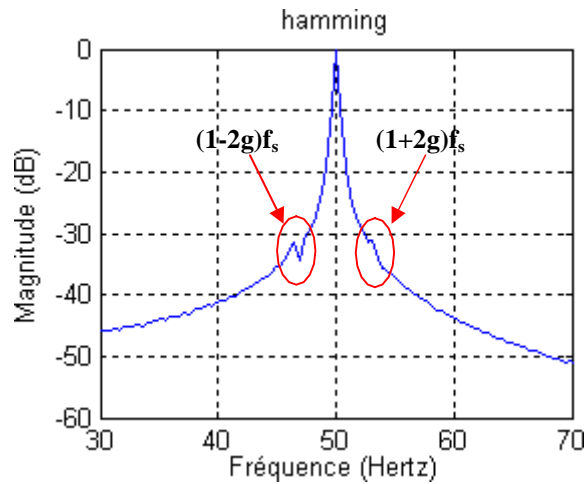
**Fig. 2.3-** Analyse spectrale des signaux de couple, vitesse et le courant statorique en régime permanent avec une barrecassée

La visualisation des raies dans le courant statorique permet d'expliquer le défaut en évidence et d'obtenir plus d'information sur le défaut Figure 2.4. Nous présentons sur la figure (4.3), le spectre du courant statorique d'un moteur sain en charge nominale ( $g = 3.34\%$ ). C'est évident qu'on n'observe aucune raie latérale.



**Fig. 2.4-** Spectre du courant statorique d'un moteur sain en charge

### II.9.2 Cassures des barres:

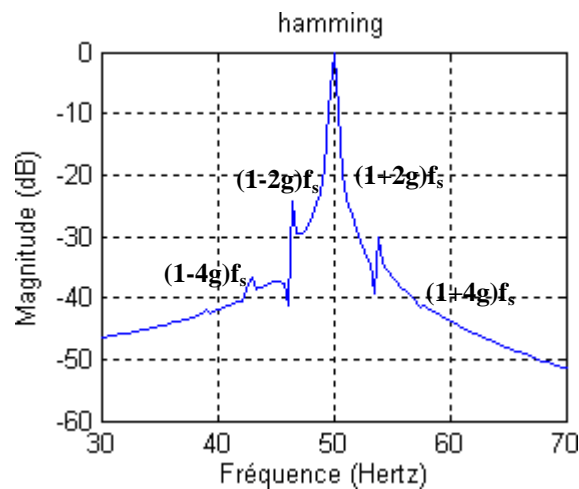


**Fig. 2.5-** Spectre du courant statorique d'un Moteur en charge avec une barre cassée.

D'après les travaux de chaque type de défaut laisse une signature sur le spectre du courant statorique qui se traduit par l'apparition des raies latérales autour des fréquences  $[(1 \pm 2k) f_s]$ .

La figure (2.5) représente le spectre du courant statorique d'un moteur avec une barre cassée. On voit clairement l'apparition des raies latérales aux fréquences [46.6Hz et 53.4Hz] et avec des amplitudes de [-30dB et -35dB].

### II.9.3 Effet du nombre de barres cassées sur les harmoniques $(1 \pm 2k) f_s$ :



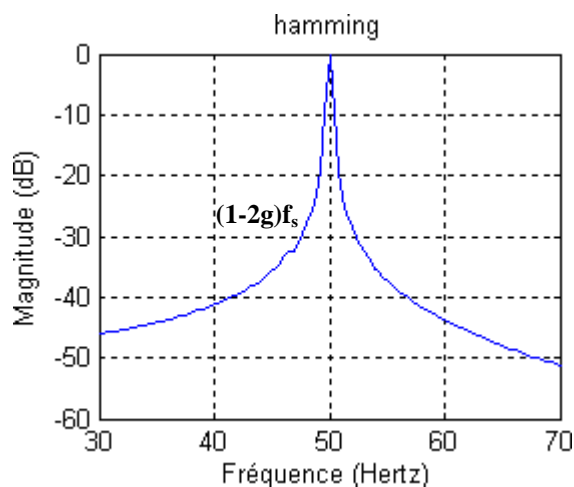
**Fig. 2.6-** Spectre du courant statorique d'un Moteur en charge avec trois barres adjacentes cassées.

La figure (2.6) représente le spectre du courant statorique d'un moteur avec trois barres adjacentes cassées.

On observe une augmentation de [8 dB] sur la raie  $(1-2g) f_s$ , et une augmentation de [6 dB] sur la raie  $(1+2g) f_s$ . On remarque aussi, l'apparition des raies aux fréquences [43 Hz et 57 Hz] qui correspondent à  $(1 \pm 4g) f_s$ .

On conclut que les amplitudes des raies  $(1 \pm 2k) f_s$ , ou  $k$  est un entier positif, augmentent avec le nombre des barres adjacentes cassées.

Dans le cas où il y a trois barres cassées symétriquement, les raies  $(1 \pm 2g) f_s$  ont des amplitudes très faibles (**Fig. 2.7**).



**Fig. 2.7-** Spectre du courant statorique d'un Moteur en charge avec trois barres cassées

symétriquement.

#### **II.9.4 Diagnostic par mesure du flux magnétique axial defuite:**

Dans une machine idéale sans défauts, les courants et les tensions statorique 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. Le contenu spectral de la tension induite dans cette bobine, peut être exploité pour détecter les différents défauts.

#### **II.9.5 Diagnostic par mesure du couple électromagnétique:**

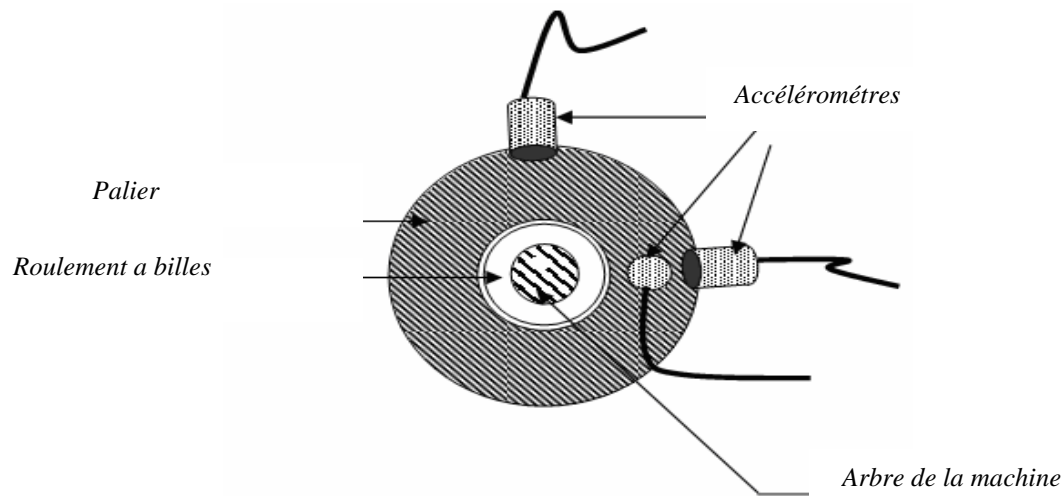
Le couple électromagnétique développé dans la machine, provient de l'interaction entre le champ statorique et celui rotorique. Par conséquent, tout défaut, soit au niveau du stator ou au rotor, affecte directement le couple électromagnétique.

L'analyse spectrale du signal du couple (mesuré ou estimé), donne des informations sur l'état de santé de la machine.

#### **II.9.6 Diagnostic par analyse des vibrations mécaniques:**

Le diagnostic des défauts en utilisant les vibrations mécaniques est la méthode la plus utilisée dans les forces radiales, créées par le champ d'entrefer, provoquent des vibrations dans la machine asynchrone. Ces forces sont proportionnelles au carré de l'induction magnétique.

Les vibrations de la machine peuvent être captées par des accéléromètres placés sur les paliers selon les directions axiale, verticale et radiale. Les spectres des signaux de vibrations issus du moteur avec défaut sont comparés avec ceux de références enregistrées lorsque la machine était en bon état. Cette méthode permet la détection aussi bien des défauts électriques que mécaniques puisque la force magnétomotrice contient les effets des asymétries du stator ou du rotor et la perméance dépend de la variation de l'entrefer. Cependant, le coût des capteurs de vibration qui est relativement élevé, ainsi que les difficultés rencontrées dans la connexion de ces capteurs (problème d'accessibilité) représentent les limites et les inconvénients de cette méthode.



**Fig.2.8: Mesures vibratoires sur la machine asynchrone**

### II.9.7 Diagnostic 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.

### II.9.8 Diagnostic par utilisation des techniques d'intelligence artificielle(AI):

En dépit des diverses techniques mentionnées précédemment, ces dernières années, la surveillance et la détection de défaut des machines électriques se sont éloignées des techniques traditionnelles pour s'orienter vers des techniques dites d'intelligence artificielle (IA). Ces méthodes sont basées sur la connaissance a priori du système et utilisent un ensemble de règles et de faits (données manipulées par les règles) qui constituent ce qu'on appelle la base de connaissance. Parmi ces méthodes, on peut citer:

- logique floue,
- réseaux neuronaux,
- reconnaissance des formes.

***Conclusions:***

Dans ce chapitre nous avons étudié en utilisant trois modèles différents de diagnostic, l'analyse spectrale du courant.

Pour l'analyse spectrale on utilise la transformée de Fourier rapide (FFT), cette approche nous a permis d'identifier les signatures fréquentielles causées par la rupture d'une ou plusieurs barres et portions d'anneaux de la cage rotorique de la machine asynchrone.

**CHAPITRE III**  
**Simulation de**  
**défauts de la**  
**machine asynchrone**

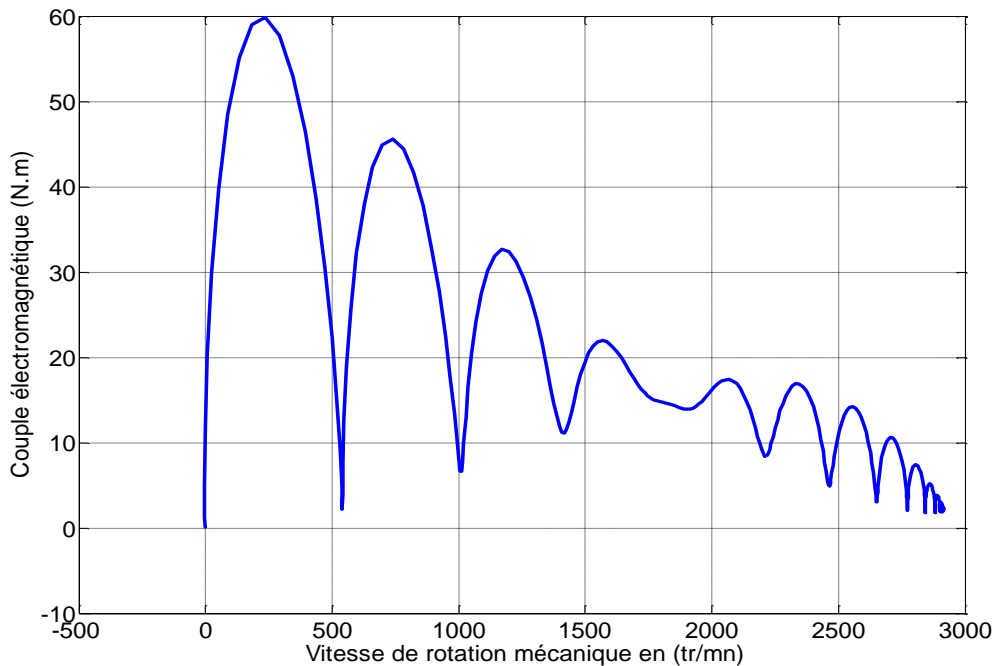
### III.1 Introduction:

Dans ce chapitre, on étudiera les performances du moteur asynchrone en présence des défauts, en déduisant les courants statoriques, la vitesse de rotation et le couple électromagnétique.

. Pour analyser le comportement du moteur asynchrone pendant les défauts statoriques et rotoriques de moteur est simulé dans l'environnement MATLAB dans des conditions défectueuses.

### III.2 Résultats de simulation:

#### III.2.1 Résultats de simulation d'un fonctionnement sain :



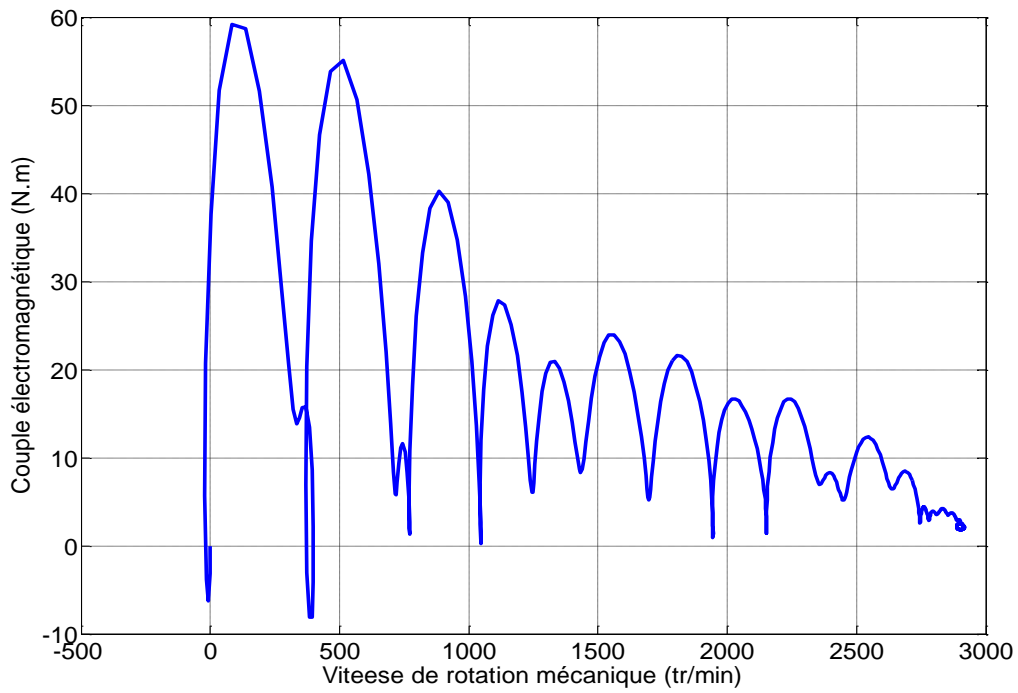
**Fig. 3.1** Caractéristique mécanique du moteur (Couple - Vitesse)

#### III.2.2 Cassure de barrerotorique:

La cassure de barre est un des défauts les plus fréquents au rotor.

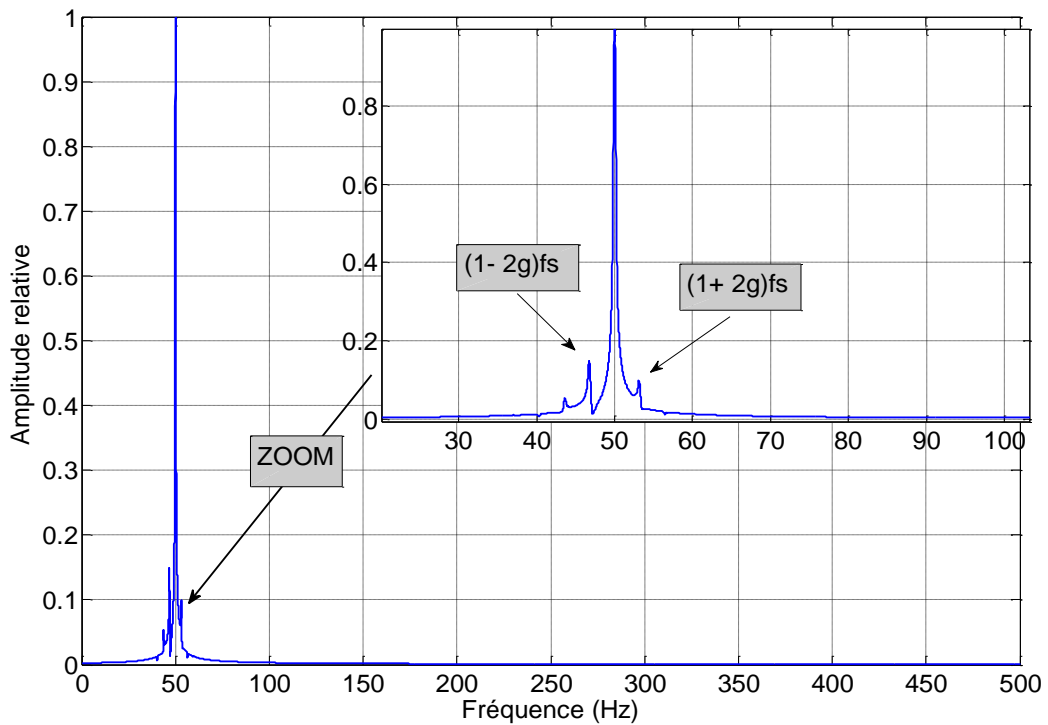
La méthode qu'on a adoptée pour la simulation des défauts rotoriques consiste à remplacer la valeur initiale de la résistance des barres cassées par une valeur finie.

Nous avons vu précédemment que la simulation de ce type de défaillance peut être faite en utilisant deux méthodes différentes.



**Fig. 3.2** Caractéristique mécanique du moteur (Couple - Vitesse)

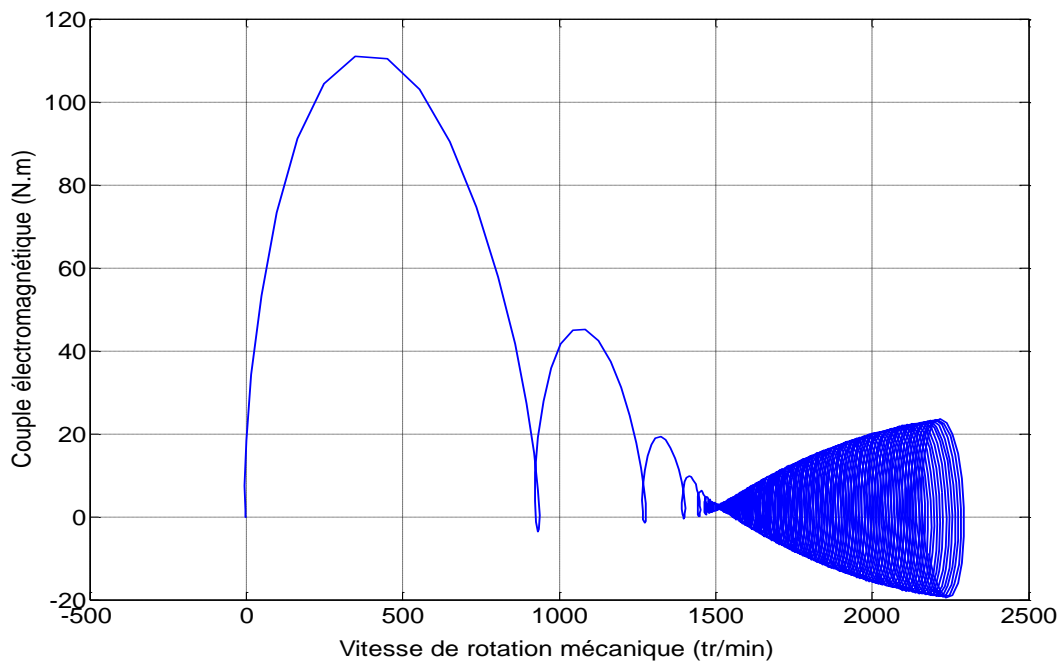
Montre les fluctuations de couple serrées et la vitesse de rotation avec le barre cassé



**Fig.3.3** Spectre du courant

**III.2.3 Court circuit entre spire:**

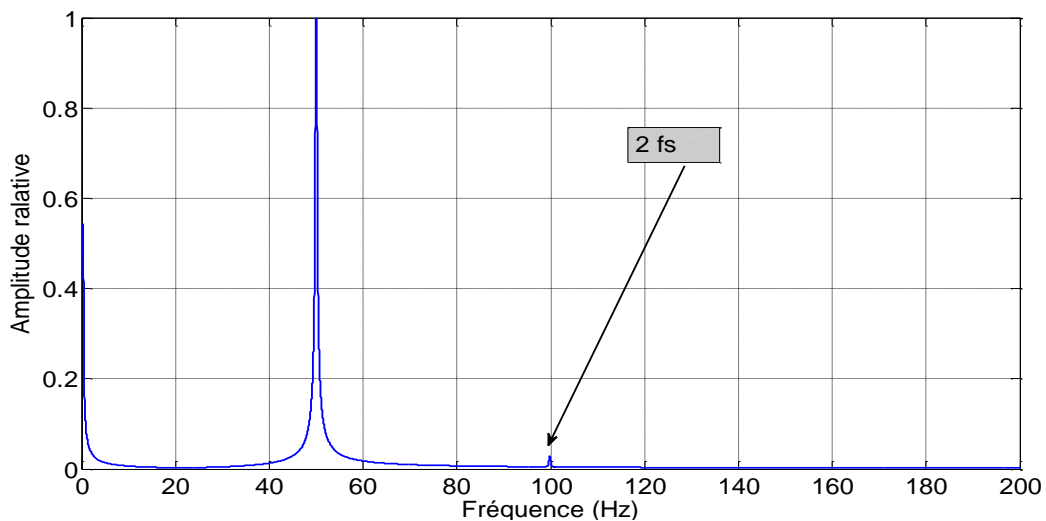
### Chapitre III simulation de défaut de machine asynchrone



**Fig. 3.4** Caractéristique mécanique du moteur (Couple - Vitesse)

Le défaut de court circuit des spires affecte aussi la vitesse de rotation et le couple électromagnétique figure 3.4 où ils apparaissent des oscillations qui sont importantes au niveau du couple provoqué par le déséquilibre du courant statorique.

l'amplitude des oscillations du couple et de la vitesse de rotation apparaît avec le court circuit entre spire

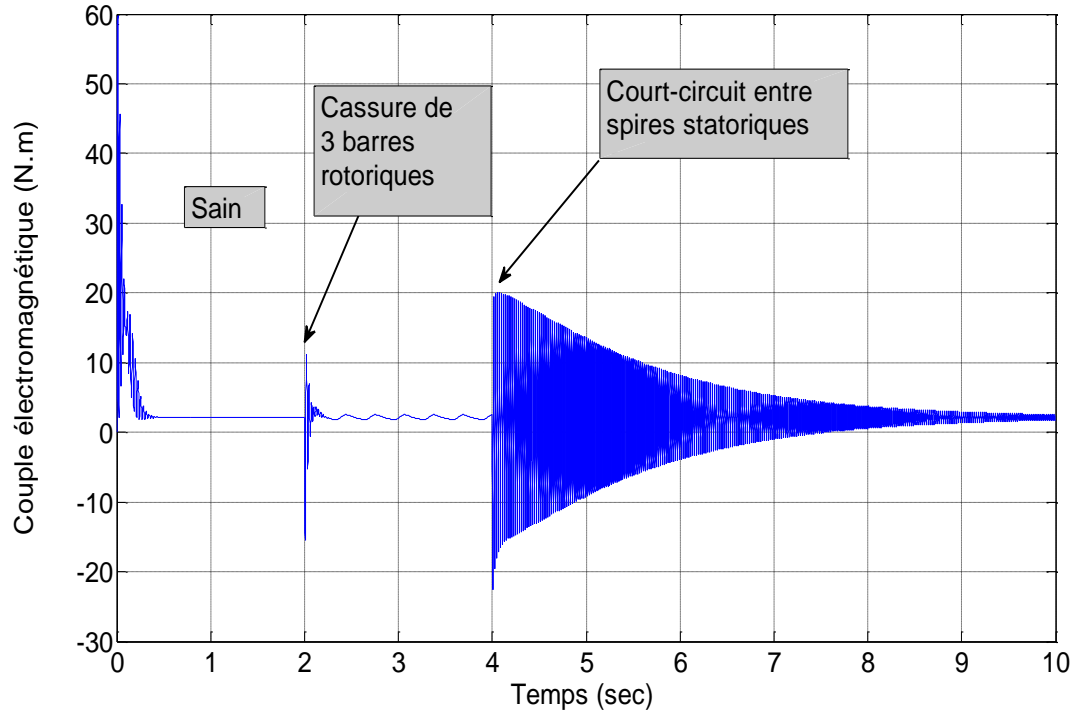


**Fig.3.5** Spectre du courant

### Chapitre III simulation de défaut de machine asynchrone

Durant le défaut de court-circuit entre spires à la phase  $a_s$  (Fig.3.5), on remarque une seule nouvelle composante de fréquence visible dans les spectres au voisinage du fondamental à 100 Hz

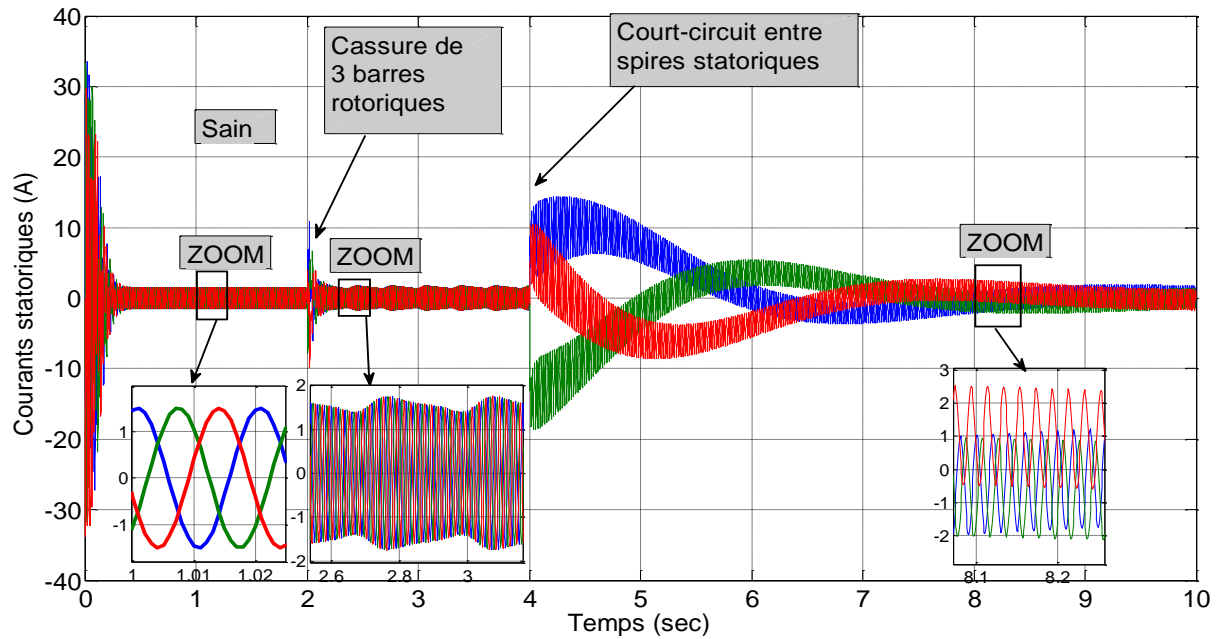
#### III.2.4 Etude de court circuit entre spire avec Cassure de barre:



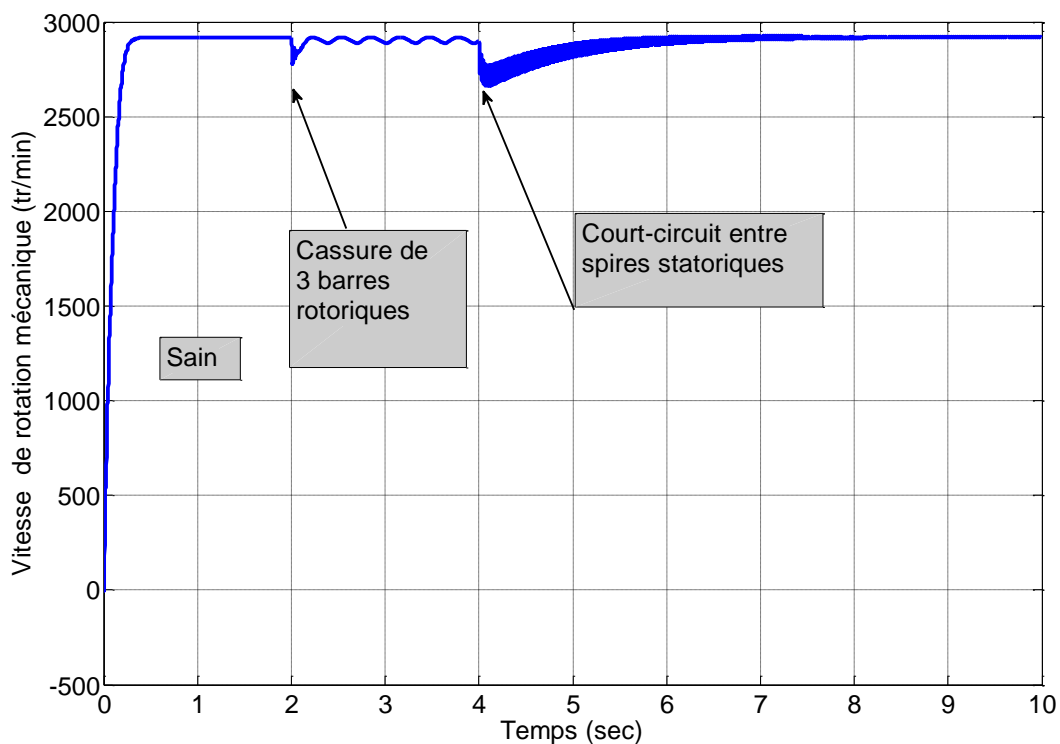
**Fig.3.6** Couple électromagnétique de cassure des barres et court circuit entre spire

Au moment  $t=2$ , nous observons l'amplitude dans la déclaration par rapport à l'état normal après les liaisons brisées. Au moment  $t=4$ , nous observons l'augmentation de *Couple électromagnétique* et diminuons progressivement avec court circuit.

### Chapitre III simulation de défaut de machine asynchrone



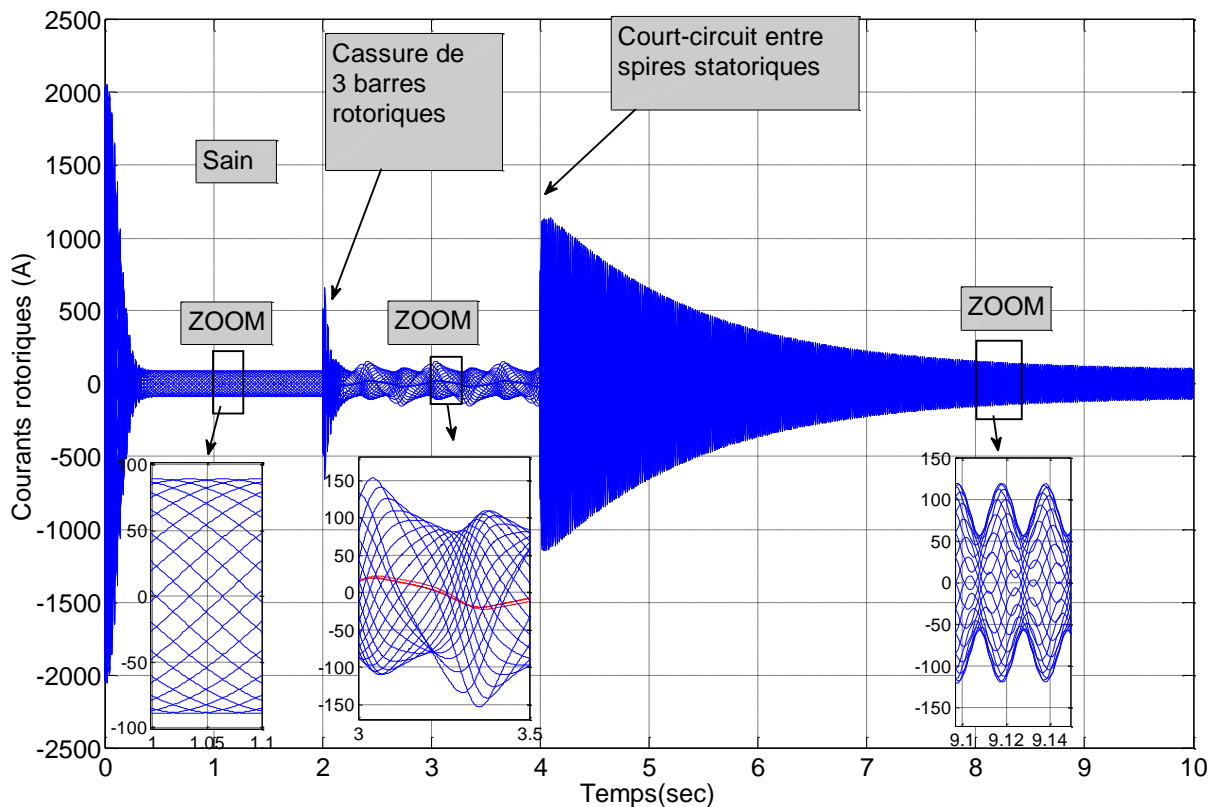
**Fig.3.7** Courants statorique de cassure des barres et court circuit entre spire



**Fig.3.8** Vitesse de rotation avec cassure des barres et court circuit entre spire

On  $t=2$ , l'amplitude des oscillations de la vitesse de rotation apparaît avec la cassure de 3 barre srotoriques.

On  $t=4$ , l'amplitude Diminution des oscillations de la vitesse de rotation avaccourt circuit



**Fig.3.9** Courants rotoriques avec cassure des barres et court circuit entre spire

Le courant dans cette barre diminue fortement entraînant une surintensité importante dans les barres adjacentes.

### III.3 Conclusion :

Dans ce chapitre nous avons étudié les performances du moteur asynchrone pendant les défauts statorique et rotorique en utilisant MATLAB.

# **Conclusion générale**

## *Conclusion Générale*

---

---

Dans ce travail, nous avons commencé à considérer les défauts éventuels dans un entraînement électrique à vitesse variable. Les défauts de cassures de barres et court circuit entre spires statoriques ont été modélisés et analysés. Grâce à l'analyse de ces défauts des fréquences spécifiques sont mis au point. Donc, la quantification du spectre permet de nous renseigner sur le type de défauts.

Rappelons, que la partie bibliographique nous a fait conclure que la majorité des travaux réalisés dans le domaine du diagnostic de la machine, considèrent que cette dernière est alimentée par une source de tension sinusoïdale. Donc, nous nous sommes intéressés de reconsidérer les discussions faites dans ces travaux afin de les vérifier. Pour le cas où la machine est alimentée par des tensions purement sinusoïdales (cas des entraînements à vitesse variables alimentée par des onduleurs ou avec une charge déséquilibrée, il ressort que les fréquences ne sont pas valides et qu'il faut les corriger). Par conséquent, le diagnostic de la machine s'est fait par une alimentation non sinusoïdale, nous devons faire quelques corrections au niveau des fréquences caractéristiques des défauts.

Le défaut rotorique et statorique ont été bien considérés. Leur détection et leur localisation a fait l'objet de deux méthodes; l'évolution de l'enveloppe de la modulation des courants statoriques analysée par le FFT qui permet sans ambiguïté de détecter et localiser le type de défaut en question.

Finalement, ce travail sur le diagnostic est alors plus accessible grâce à l'interface graphique FFT que nous avons développé. Ce dernier permet d'une manière interactive de comprendre le type des défauts éventuels qui peuvent toucher notre machine.

# Référence

# Bibliographiques

## ***REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES***

---

---

- [1] Gaetan DIDIER, « Modélisation et diagnostic de la machine asynchrone en présence de défaillances », Thèse de doctorat, nancy , France2004 .
- [2] Laribi Souad, « Synthèse des Méthodes de Diagnostic Appliquées à la Détection des Défauts dans les Machines Asynchrones », Mémoire de Magister, USTO Oran 2005.
- [3] Hadjami Marouane, « Diagnostic des machines asynchrones : étude et modélisation dédiées à la détection des défauts », Mémoire de magister, skikda 2008.
- [4] W.T. Thomson, M. Fenger, « Current Signature Analysis to Detect Induction Motor Faults », In IEEEIAS magazine, July/August 2001, pp. 26-34. June 2000.
- [5] J. Faiz, B. M. Ebrahimi and M. B. B. Sharifian, « Different faults and their diagnosis techniques in three-phase squirrel cage induction motor »-A review Electromagnetics , vol. 26, pp. 543-569, 2006.
- [6] M. Drif, N.Benouzza, A. Benyettou, A. Bendiabdellah and J. Dente, « Application de l'Approche des Vecteurs des Courants de Park pour la Détection des Défauts des Moteur Asynchrones Triphasés », ICEM 98,1998.
- [7] N.Benouzza, A.Benyettou and A.Bendiabdellah, « An Advanced Park's Vectors Approach for Rotor Cage Diagnosis », Proceeding of CNGE 2004 , Université Ibn Khaldoun de Tiaret.
- [8] P.J. Tavner, B.G. Gaydon and D.M. Ward, « Monitoring Generators and Large Motors », IEEE Proceedings, Vol 133, N°4 ,May,1986.
- [9] P. Alger, «The Induction Machine Their Behavior and Uses », Oxford press 1970.

- [10] J. Penman, H.G. Sedding, B.A.Lloyd, W.T Fink, , « Detection and Location of Inter-turn Short Circuits in the Stator Windings of Operating Motors », IEEE Transactions on Energy Conversion, pp. 652-658, 1994.
- [11] G. Houdouin , G. Barakat, B. Dakyo, E. Destobbeleer, « A methode of the simulation of inter-shrort circuits in squirrel cage induction machines », EPEPEM, Cdubrovnik and cavtat , 2002.
- [12] S. Williamson and P. Mirzoian, « Analysis of cage induction motor with stator winding faults », IEEE-PES, Summer Meeting, July 1984.
- [13] A. R. Munoz, T.A. Lipo, « Complex Vector Model of the Squirrel-Cage Induction Machine Including Instantaneous Rotor Bar Currents », In IEEE-IAS, Vol.35, N°6, 1999.purposes », In Proceedings EPE'99, 7-9, Lausanne, Suisse, Septembre1999.
- [14] H. Razik ,H. Henao and R. Carlson, « The Effect of Inter –bar Currents on the Diagnostic of the Induction Motor », IEEE; pp 797-802, 2004.
- [15] A. Menacer, M. S. Nait Said, A. Benakcha, S. Drid, « Détection d'une Cassure de Barre Rotorique d'un Moteur Asynchrone par Analyse Spectrale du Courant Statorique », CNGE'2004, Première Conférence Nationale sur le Génie Electrique 29/11/-01/12,2004.pp 261-265, Université Ibn Khaldoun Tiaret – Algérie, 2004.
- [16] Bulent Ayhan, Mo-Yuen Chow, and Myung-Hyun Song, « Multiple Signature Processing-Based Fault Detection Schemes for Broken Rotor Bar in Induction Motors», IEEE Transactions on Energy Conversion, Vol. 20, N°. 2, June 2005. [17] Antonino-Daviua,\_, P. Joverb, M. Rieraa, A. Arkkiob, J. Roger- Folcha « DWT analysis of numerical and experimental data for the diagnosis of dynamic eccentricities in induction motors », Mechanical Systems and Signal Processing 21, 2575–2589, 2007.
- [18] Gojko M. Joksimovic',« Dynamic Simulation of Dynamic Eccentricity in Induction Machines Winding Function » Approach IEEE Transactions on Energy Conversion, VOL. 15, No. 2, juin 2000.

- [19] H.A. Toliat, M.S. Arefeen and A.G. Parlos « A Method for dynamic simulation of air-gap eccentricity in induction machines », IEEE Trans. Ind. Applicat., Vol.32, No.4, pp. 910-917, Jul/Aug. 1996.
- [20] J. Faucher and al, « Modélisation de la machine asynchrone en vue du diagnostic », Journées SDSE-00, Lyon, pp. 48-54, 2000.
- [21] H. Razik, G. Didier, " Modélisation et diagnostic de la machine asynchrone en présence de défaillances " Université Vandoeuvre Nancy, Octobre 2004.
- [22] H. Razik, " Notes de cours sur le diagnostic de la machine asynchrone ", Groupe de recherches en Electrotechnique et Electronique de Nancy, Université Henri Poincaré – Nancy, Janvier 2003.
- [23] T. Boumegoura "Recherche de signature électromagnétique des défauts dans la machine asynchrone et synthèse d'observateurs en vue du diagnostic " L'Ecole Doctorale Electronique, Electrotechnique, Automati9.
- [24] A. Dida, S. Torurqui " Simulation du moteur asynchrone à cage «Modèle multi-enroulement» dédié au diagnostic des défauts ", P F E en Electrotechnique, Encadrés par Mr. A. Menacer, Biskra, 2004.
- [25] G.A. Capolino, H. Henao "Une approche spectral pour la modélisation des machines à courant alternatif " EF 01, Nancy, France 2001.
- [26] A. Abed " Contribution à l'étude et au diagnostic de la machine asynchrone", Nancy, 28 mars 2002.

# **ANNEXE**

# ANNEXE

---

---

## PARAMETRES DU MOTEUR UTILISE

|  |                                |
|--|--------------------------------|
| Puissance                                  | 4KW (5.4 HP)                   |
| Nombre de pair de pôle <sup>2</sup>        |                                |
| Friction facteur                           | 0.002985 F (N.m.s)             |
| Voltage                                    | 400V                           |
| Longueur de la machine                     | 0.12 m                         |
| Moment d'inertie                           | 0.0131 Kg.m <sup>2</sup>       |
| Résistance d'une phase rotorique           | 1.395 $\Omega$                 |
| Résistance d'une phase statorique          | 1.405 $\Omega$                 |
| Inductance de fuite d'une phase statorique | 0.005839 H                     |
| Résistance d'une barre rotorique           | 1.93x10 <sup>-4</sup> $\Omega$ |
| Inductance de fuite d'une barre rotorique  |                                |