

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية
وزارة التعليم العالي والبحث العلمي

UNIVERSITÉ BADJI MOKHTAR - ANNABA
BADJI MOKHTAR – ANNABA UNIVERSITY



جامعة باجي مختار - عنابة

Faculté : Sciences de L'Ingéniorat
Département : Électromécanique
Domaine : Sciences et Technologie
Filière : Électromécanique
Spécialité : Maintenance industrielle

Mémoire

Présenté en vue de l'obtention du Diplôme de Master

Thème:

**DIAGNOSTIC DES
DEFAILLANCES DE LA
MACHINE ASYNCHRONE**

Présenté par : AYAD Haroune

Encadrant : *BENAMIRA Nadir* MCB
ANNABA

Université Badji Mokhtar –

Jury de Soutenance :

| | | | |
|---------------------|-----|--------------------------------------|-----------|
| MENASSRIA Yamina | MCA | Université Badji Mokhtar - ANNABA | Président |
| BENAMIRA Nadir | MCB | Université Badji Mokhtar - ANNABA | Encadreur |
| OUADA Mehdi | MCB | Université Badji Mokhtar - ANNABA | Examineur |

Année Universitaire : 2019/2020

Remerciement

Avant tout, je remercie Dieu le tout puissant qui me donne le courage, et la patience pour réaliser ce travail, malgré toutes les difficultés rencontrées.

Je commence par mon encadreur

Monsieur **BENAMIRA Nadir**

Qui m'a donné l'occasion de travailler sur le sujet passionnant, et pour sa confiance, tous ses conseils et critiques sur le plan scientifique qui m'ont permis de bien orienter mes recherches.

Je remercie aussi **Mr. KERFALI Samir**, pour son aide, sa disponibilité et ses remarques.

Mes remerciements vont également à tous ceux et celles qui m'ont apporté, de près ou de loin, orientation, soutien et aide dans la réalisation de ce travail.

Merci

Dédicaces

Je dédie ce modeste travail a

A la lumière de ma vie, ma mère avec toute mon affection

A mon père avec toute ma reconnaissance

A mes sœurs

A ma famille.

A tous mes amis,

A tous ceux que j'aime,

A tous ceux qui m'aiment.

A mes collègues de promotion 2020

H. AYAD

Résumé

Résumé

Les machines asynchrones triphasé sont très utilisées et demandé dans plusieurs domaines industriels. Le diagnostic de ce type de machine est donc nécessaire et important pour l'industrie.

Alors, ce mémoire présente l'état de l'art des machines asynchrones triphasées à cage, par un historique, le principe de fonctionnement, ses composants et les différentes défaillances électriques et mécaniques. Par la suite, les méthodes de détection des défauts de ces machines ont été présentées.

Dans la dernière partie de ce travail, on a fait une analyse des courant statoriques mesurés précédemment, dans le cas de fonctionnement normale et avec une alimentation asymétrique. Cette analyse est effectuée par le suivi et la comparaisant des tracés obtenus par la représentation du vecteur de Park et les trois courants statoriques. Le changement du tracé obtenu dans le cas de défaut indique l'existence de l'alimentation non symétrique.

Abstract

Abstract

Three-phase asynchronous machines are widely used and demanded in several industrial fields. The diagnosis of this type of machine is therefore necessary and important for the industry.

So, this thesis presents the state of the art of three-phase asynchronous cage machines, through a history, the operating principle, its components and the various electrical and mechanical failures. Subsequently, the fault detection methods of these machines were presented.

In the last part of this work, an analysis was made of the stator currents measured previously, in the case of normal operation and with an asymmetric power supply. This analysis is performed by monitoring and comparing the plots obtained by the representation of the Park vector and the three stator currents. The change in the plot obtained in the event of a fault indicates the existence of the non-symmetrical power supply.

aut indique l'existence de l'alimentation non symétrique.

ملخص

تستخدم الآلات غير المتزامنة ثلاثية الطور على نطاق واسع والمطلوبة في العديد من المجالات الصناعية. لذلك فإن تشخيص هذا النوع من الآلات ضروري ومهم للصناعة.

لذلك، تقدم هذه الأطروحة أحدث ما توصلت إليه الآلات القفصية غير المتزامنة ثلاثية الطور، من خلال التاريخ، ومبدأ التشغيل، ومكوناته، والأعطال الكهربائية والميكانيكية المختلفة. بعد ذلك، تم تقديم طرق الكشف عن الأخطاء لهذه الآلات.

في الجزء الأخير من هذا العمل، تم إجراء تحليل للتيارات الثابتة التي تم قياسها مسبقاً، في حالة التشغيل العادي ومع مصدر طاقة غير متماثل. يتم إجراء هذا التحليل من خلال مراقبة ومقارنة قطع الأراضي التي تم الحصول عليها من خلال تمثيل منحنى المتنازلة والتيارات الجانب الثلاثة. يشير التحليل في المؤتمر الذي تم الحصول عليه في حالة حدوث خطأ إلى وجود مصدر طاقة غير متماثل.

Table des matières

| | |
|---|----|
| Remerciement..... | 2 |
| Dédicaces | 3 |
| Résumé | 4 |
| Abstract | 5 |
| ملخص..... | 6 |
| Table des matières | 7 |
| Tables des figures..... | 10 |
| Liste des tableaux..... | 11 |
| Introduction générale..... | 13 |
| Chapitre I : Etat de l'art de la machine asynchrone | 15 |
| I.1 Introduction | 15 |
| I.2 Historique | 15 |
| I.3 Terminologie de diagnostic de défauts | 15 |
| I.4 Éléments de constitution de la machine asynchrone | 16 |
| I.4.1 Le stator (partie fixe)..... | 16 |
| I.4.2 Le rotor (partie mobile)..... | 17 |
| I.4.3 Carcasse | 18 |
| I.5 Principe de fonctionnement de la machine asynchrone | 18 |
| I.5.1 Fonctionnement à vide | 18 |
| I.5.2 Fonctionnement en charge | 19 |
| I.5.3 Caractéristique mécanique $CU = f(n')$ | 19 |
| I.6 Les défaillances de la machine asynchrone | 19 |
| I.6.1 Causes des défauts | 20 |
| I.6.2 Les origines des défaillances..... | 20 |
| I.6.3 Défaillances d'ordre mécanique..... | 21 |
| I.6.3.1 Défaillances des roulements | 21 |
| I.6.3.2 Défaillances du flasque..... | 22 |
| I.6.3.3 Défaillances de l'arbre..... | 22 |

| | | |
|--------------|--|----|
| I.6.4 | Défaillances d'ordre électrique | 22 |
| I.6.4.1 | Défaillances des circuits électriques statoriques | 22 |
| • | Court-circuit statorique | 22 |
| • | Déséquilibre de tension de l'alimentation | 23 |
| I.6.4.2 | Défaillances des circuits électriques rotoriques | 24 |
| I.7 | Conclusion..... | 25 |
| Chapitre II | : Méthodes de diagnostic des défauts des machines asynchrones..... | 27 |
| II.1 | Introduction | 27 |
| II.2 | Diagnostic de la machine asynchrone | 27 |
| II.3 | Objectifs de diagnostic | 27 |
| II.4 | Les méthodes de diagnostic | 27 |
| II.4.1 | Analyse des signaux..... | 28 |
| II.4.1.1 | Grandeurs indicatrices..... | 28 |
| II.4.1.2 | Transformation de fourrier rapide « FFT »..... | 28 |
| II.4.2 | Analyse spectrale du courant statorique (MCSA) | 29 |
| II.4.3 | Analyse temps-fréquence (spectrogramme) :..... | 29 |
| II.4.4 | Méthode de représentation tridimensionnelle des courants statoriques (3D) | 30 |
| II.4.5 | Diagnostic des défauts par analyse du vecteur de Park..... | 31 |
| II.4.6 | L'approche du vecteur de Park étendue (EPVA)..... | 32 |
| II.4.7 | Diagnostic par analyse des vibrations mécaniques | 33 |
| II.4.8 | Diagnostic par mesure du couple électromagnétique | 34 |
| II.4.9 | Diagnostic par mesure du flux magnétique axial de fuite..... | 34 |
| II.4.10 | Diagnostic par mesure de la puissance instantanée | 34 |
| II.4.11 | Diagnostic par analyse de la température (La Thermographie)..... | 35 |
| II.4.12 | Diagnostic par utilisation des techniques d'intelligence artificielle (IA) | 35 |
| II.5 | Conclusion..... | 36 |
| Chapitre III | : Analyse des résultats expérimentales d'un moteur asynchrone (Fonctionnement sain et défectueux)..... | 38 |
| III.1 | Introduction | 38 |
| III.2 | Les méthodes expérimentales dans la recherche scientifique | 38 |
| III.2.1 | Expérience scientifique à l'aide de modèle | 38 |
| III.2.2 | Protocole expérimental | 38 |
| III.3 | Présentation du banc d'essai..... | 39 |

| | |
|--|----|
| III.3.1 L'acquisition des signaux pour le diagnostic | 39 |
| III.3.2 Analyse des résultats expérimentaux et discussion (cas de fonctionnement normal) | 40 |
| III.3.2.1 Le signal du courant statorique | 41 |
| • Fonctionnement normal..... | 42 |
| • Fonctionnement avec un déséquilibre de tension..... | 44 |
| III.3.2.1 Les signaux des courants statoriques..... | 44 |
| III.3.2.2 Représentation des courants statorique (Park et la modélisation 3D) | 45 |
| III.4 Conclusion : | 47 |
| Conclusion générale | 49 |
| Bibliographie | 51 |
| Annexe | 53 |

Tables des figures

| | |
|---|----|
| Figure 1 : La machine asynchrone [5]..... | 16 |
| Figure 2 : Stator d'un moteur asynchrone [6]..... | 17 |
| Figure 3 : vue en perspective du stator (tête de bobines, circuit magnétique et encoches) [2] | 17 |
| Figure 4 : Rotor à cage d'écureuil [6]..... | 17 |
| Figure 5 : Principe du fonctionnement d'un moteur [7] | 18 |
| Figure 6 : Caractéristique mécanique du moteur [7]..... | 19 |
| Figure 7 : Proportion des défauts de la machine asynchrone de moyenne puissance [9]..... | 19 |
| Figure 8 : pourcentage des défauts des machines asynchrones de grande puissance [10]..... | 20 |
| Figure 9 : Classification des défauts de la machine asynchrone [3] :(a) défauts internes; (b) défauts externes..... | 21 |
| Figure 10 : Exemple de défauts de roulements [11]..... | 21 |
| Figure 11 : Exemple des défauts d'excentricités [12] | 22 |
| Figure 12 : Représentation des défauts de Court-circuit statoriques [3]..... | 23 |
| Figure 13 : Exemple de court-circuit statorique entre phase [13] | 23 |
| Figure 14 : les effets négatifs du déséquilibre de tension sur les moteurs asynchrones [15]..... | 24 |
| Figure 15 : Dommages au niveau de stator, causé par le déséquilibre de tension [12] | 24 |
| Figure 16 : (a) Rupture de [3] [16]; (b)Portion d'anneau de court-circuit [3] [17]..... | 25 |
| Figure 17 : Méthodes de diagnostic de défauts [3] | 27 |
| Figure 18 : les mesures utilisées pour la surveillance et le diagnostic des machines asynchrones [18] ... | 28 |
| Figure 19 : Analyse spectrale du courant statorique en régime permanent dans l'état sain et avec une barre cassée [6]..... | 29 |
| Figure 20 : Représentation temps-fréquence du courant statorique lors d'une variation du couple de charge (Résultats de simulation avec une barre cassée) [8] | 30 |
| Figure 21 : Résultats de simulation [19] Figure 22 : Résultats expérimentaux [19]..... | 32 |
| Figure 23 : Vecteur de Park avec un déséquilibre de tension [23]..... | 32 |
| Figure 24 : Résultats expérimentaux du spectre du module du vecteur de Park [8] | 33 |
| Figure 25 : Emplacement des accéléromètres sur les paliers de la machine asynchrone [6]. | 34 |
| Figure 26 Principe de l'analyse vibratoire : Mesure et représentation du spectre vibratoire [20]..... | 34 |
| Figure 27 : Un défaut de graissage dans une bague de roulement [22] Figure 28 : Un défaut de graissage dans une bague de roulement [22] | 35 |
| Figure 29 : L'oscilloscope (HAMEG507) et l'interface du logiciel SP107 E sur l'ordinateur | 39 |
| Figure 30 : Capteur de courant (PSY 30)..... | 40 |
| Figure 31 : Moteur asynchrone triphasé (270W) utilisé en essais expérimentaux [3] [7]..... | 40 |
| Figure 32 : Schématique du système de détection expérimentale..... | 40 |
| Figure 33 : Signal temporel du courant statorique de la phase A (moteur sain) | 41 |
| Figure 34 : Régime permanent du courant statorique de la phase A (moteur sain)..... | 42 |
| Figure 35 : Tracé du vecteur de Park dans les conditions de travail normales..... | 43 |
| Figure 36 : Tracé tridimensionnel des courants statoriques dans les condition normale. | 43 |
| Figure 37 : Les signaux des phase statoriques dans le cas de déséquilibre de tension..... | 45 |
| Figure 38 : Tracé du vecteur de Park avec déséquilibre de tension (diminution de 40V dans une seul phase)..... | 46 |
| Figure 39 : Tracé du modèle 3D des courants avec déséquilibre de tension (diminution de 40V dans une seul phase)..... | 46 |

Liste des tableaux

Tab I-1 Terminologie de diagnostic des défauts [3] 16

INTRODUCTION GENERALE

Introduction générale

Les moteurs asynchrones jouent un rôle important dans le domaine de la conversion de l'énergie électromécanique. Du fait de sa simplicité de construction, d'utilisation et d'entretien, de sa robustesse et de son faible coût d'achat de fabrication. Mais les machines subissent de plus en plus de perturbation auxquelles sont sensibles [1].

Pour la surveillance de machines industrielles, il convient de développer des systèmes de diagnostic fiables. La procédure de diagnostic peut être définie comme un processus en trois phases : la détection d'un mode de fonctionnement, son identification et la localisation de sa cause [2].

Certaines utilisations des moteurs asynchrones ne tolèrent pas les pannes intempestives. Ces pannes peuvent être d'origine mécanique (excentricité du rotor, défauts de roulements,) ou électrique (court-circuit du bobinage statorique, rupture de barre ou l'anneau...) [1]. Ces défauts, font l'objet de nombreux travaux scientifiques et de recherches.

Les machines asynchrones peuvent être exposées à différents types de défauts, parmi lesquels le déséquilibre de la tension d'alimentation. Donc, il est important de clarifier les effets de ce type de défauts sur les machines asynchrones. Cette anomalie affecte l'efficacité des moteurs à induction, elle génère une composante négative de tension. Le flux de la séquence négative, produit plusieurs effets indésirables. Les problèmes les plus fréquents qui peuvent survenir sont les dommages des paliers par les oscillations mécaniques causées par le couple opposé, et l'échauffement anormal du stator par les courants déséquilibrés; qui conduisent à affecter l'isolation des conducteurs [3].

Ce travail s'articule autour de trois chapitres :

Le premier chapitre, présente une analyse bibliographique de la machine asynchrone, nous présentons donc, l'état de l'art de la machine asynchrone par son principe de fonctionnement, ses éléments de constitution et les défauts statoriques et rotoriques de la machine.

Le deuxième chapitre, est consacré aux méthodes de diagnostic et de détection des différents défauts des machines asynchrones.

Dans le troisième chapitre, une analyse des résultats expérimentaux obtenus d'un moteur asynchrone dans son fonctionnement sain a été effectuée par les méthodes de vecteur de Park et la modélisation des courants statoriques. Ensuite, une comparaison des résultats d'analyse des données expérimentales de ce moteur asynchrone dans le cas de déséquilibre de tension.

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

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

I.1 Introduction

Le premier chapitre a pour objectif de présenter un historique des machines asynchrones, ensuite un rappel sur les éléments de constitution de ces machines. Finalement, une synthèse des différents défauts pouvant survenir sur ce type de machines électriques.

I.2 Historique

La paternité de la machine asynchrone est controversée. Elle pourrait être attribuée à trois inventeurs : en 1887, Nikola Tesla dépose un brevet sur la machine asynchrone^{1,2}, puis en mai de l'année suivante cinq autres brevets. Pendant la même période Galileo Ferraris publie des traités sur les machines tournantes, avec une expérimentation en 1885, puis une théorie sur le moteur asynchrone en avril 18883. En 1889, Michail OssipowitschDoliwo-Dobrowolski, électricien allemand d'origine russe, invente le premier moteur asynchrone à courant triphasé à cage d'écureuil qui sera construit industriellement à partir de 1914.

Du fait de sa simplicité de construction, d'utilisation et d'entretien, de sa robustesse et son faible prix de revient, la machine asynchrone est aujourd'hui très couramment utilisée comme moteur dans une gamme de puissance allant de quelques centaines de watts à plusieurs milliers de kilowatts. Quand la machine asynchrone est alimentée par un réseau à fréquence fixe, il est difficile de faire varier sa vitesse. En outre, au démarrage, le couple est faible et le courant appelé est très élevé. Deux solutions historiques ont résolu ce dernier problème : le rotor à encoches profondes et le rotor à double cage mis au point en 1912 par Paul Boucherot. Grâce aux progrès de l'électronique de puissance, l'alimentation par un onduleur à fréquence variable permet maintenant de démarrer la machine convenablement et de la faire fonctionner avec une vitesse réglable dans une large plage. C'est pourquoi il est utilisé pour la motorisation des derniers TGV ainsi que des nouveaux métros parisiens [4].

I.3 Terminologie de diagnostic de défauts

| Terminologie | Définitions |
|-------------------|--|
| Défaut | Déviations non permises d'au moins d'une propriété ou d'un paramètre caractéristique du système par rapport aux conditions normales de fonctionnement. |
| Dysfonctionnement | Exécution d'une fonction du système au cours de laquelle le service, rendu n'est pas délivré ou est délivré de manière incomplète. |
| Symptôme | Changement d'une quantité observable par rapport à un comportement normal. |
| Perturbation | Signal d'entrée non contrôlé dont la présence est non souhaitable mais considérée comme normale. |
| Suivi | Fonction maintenant en permanence un historique des traitements effectués par le système de commande/supervision et une trace des événements que perçoit le système. |

| | |
|---------------------------|--|
| Détection de défauts | Détermination de la présence de défauts et de l'instant d'occurrence de ces défauts. |
| Localisation de défauts | Détermination du type, de la localisation et de la date d'un défaut détecté. Elle consiste à remonter d'un ensemble de symptômes à un ensemble de composants défaillants. |
| Identification de défauts | Détermination de la taille et du comportement temporel d'un défaut. C'est une fonction qui suit la localisation. |
| Diagnostic | Détermination du type, de la taille, de la localisation et de l'instant d'occurrence d'un défaut. C'est une fonction qui suit la détection et inclut les fonctions de localisation et d'identification. |
| Surveillance | Ensemble de fonctions s'exécutant en temps réel ayant pour but de reconstituer l'état réel du procédé au sein des modèles utilisés par le système de conduite du procédé. Elle consiste à l'enregistrement de l'information ainsi qu'à la reconnaissance et l'indication des comportements anormaux. |
| Supervision | Représente la surveillance d'un système physique et la prise de décisions appropriées en vue de maintenir son opération face à des défaillances. |

Tab I-1 Terminologie de diagnostic des défauts [3]

I.4 Éléments de constitution de la machine asynchrone

La description des éléments de construction de la machine asynchrone, va nous permettre de comprendre de quelle façon le système est relié physiquement. Du point de vue mécanique ces machines se décomposent en trois parties [3]:

- ✓ Le stator partie fixe de la machine où l'alimentation est connectée.
- ✓ Le rotor partie tournante permet de tourner la charge.
- ✓ Les paliers partie mécanique qui permet la mise en rotation de l'arbre [3].

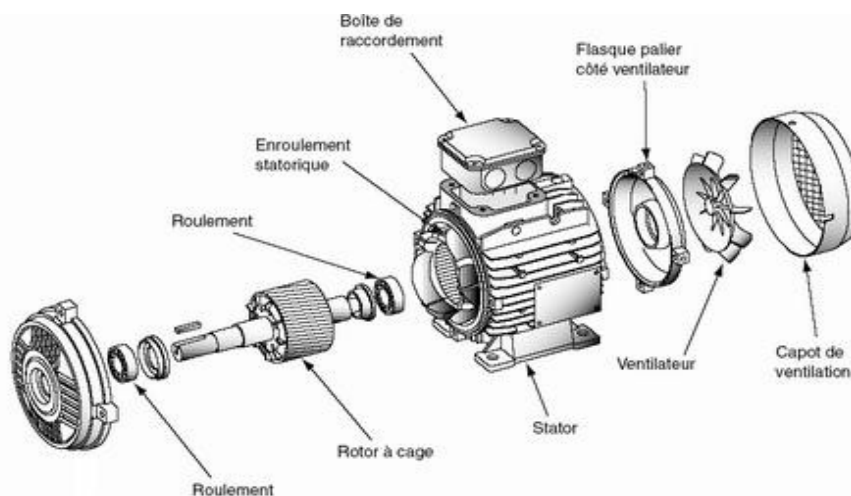


Figure 1 : La machine asynchrone [5]

I.4.1 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 [6].



Figure 2 : Stator d'un moteur asynchrone [6]

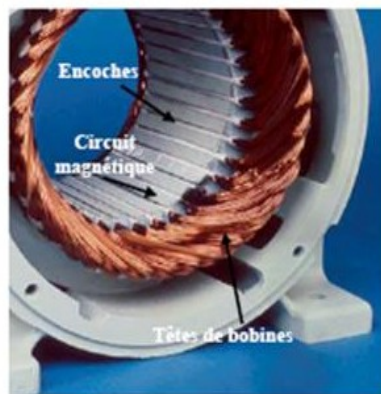


Figure 3 : vue en perspective du stator (tête de bobines, circuit magnétique et encoches) [2]

I.4.2 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 (voir la figure), 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 et à bague [6].



Figure 4 : Rotor à cage d'écureuil [6]

I.4.3 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[6].

I.5 Principe de fonctionnement de la machine asynchrone

L'étude du fonctionnement du moteur asynchrone consiste à admettre qu'un stator formé de trois bobines avec des axes décalés de 120° et alimentées par un réseau triphasé équilibré, crée dans l'entrefer du moteur un champ magnétique, tournant à la fréquence de synchronisme n_s .

Un rotor en court-circuit, balayé par ce champ tournant, est traversé par des courants induits (courants de Foucault). Le rotor donc soumis à des forces électromagnétiques de

Laplace. L'ensemble de ces forces crée un couple moteur qui entraîne le rotor en rotation. Ce dernier tourne dans le même sens que le champ tournant, mais sa fréquence de rotation est nécessairement inférieure à celle du champ tournant d'où l'appellation d'asynchrone.

En effet, si les deux fréquences de rotation étaient égales, il n'y aurait plus création de courants induits dans le rotor et donc plus de couple moteur. Ceci résulte de la loi de Lenz qui énonce que la f.é.m. induite s'oppose toujours par ses effets à la cause qui lui donne naissance[7].

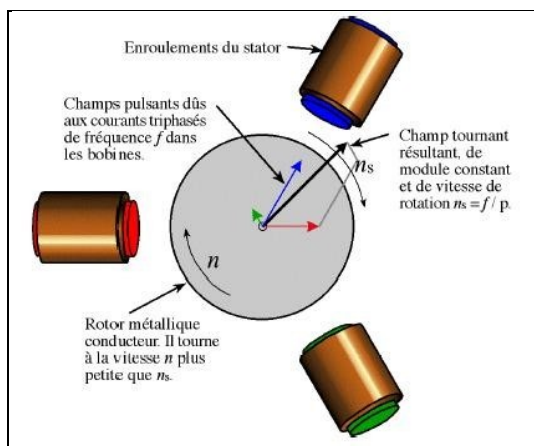


Figure 5 : Principe du fonctionnement d'un moteur [7]

I.5.1 Fonctionnement à vide

Le régime à vide c'est lorsque le moteur n'entraîne pas de charge.

Conséquence : le glissement est nul est le moteur tourne à la vitesse de synchronisme.

A vide: $g \approx 0$ par conséquent $n_o = n_s$ et $C_u = C_0$

Le facteur de puissance à vide est très faible ($\cos \varphi < 0,2$) et le courant absorbé reste fort (P : puissance active est petit et Q : puissance réactive est grande). On parle alors de courant réactif ou magnétisant (servant à créer le champ magnétique)[7].

I.5.2 Fonctionnement en charge

Le moteur est maintenant chargé, c'est-à-dire que l'arbre de ce dernier entraîne une charge résistante qui s'oppose au mouvement du rotor.

En régime permanent, ou régime établi : $C_u = C_r$ [7].

I.5.3 Caractéristique mécanique $C_u = f(n')$

Le point de fonctionnement se trouve sur l'intersection de la caractéristique mécanique du moteur et de la courbe qui caractérise le couple résistant de la charge. La caractéristique mécanique du moteur dans sa partie utile est un segment de droite. Pour la tracer, il suffit de deux points. Le premier est généralement donné par l'étude d'un cas de fonctionnement précis, le second se déduit de l'essai à vide. Dans cet essai, le couple utile est nul, il est associé à une fréquence de rotation considérée comme égale à la fréquence de synchronisme [7].

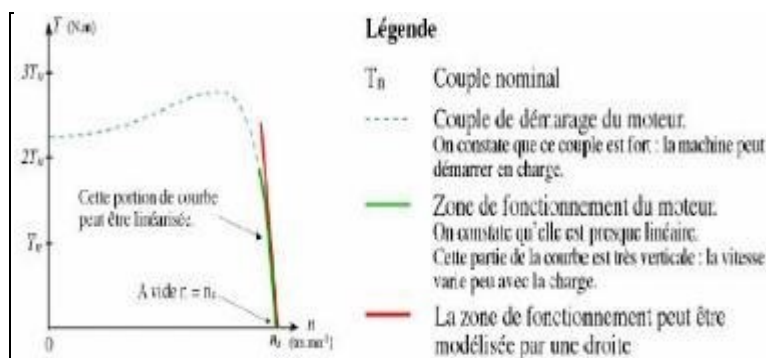


Figure 6 : Caractéristique mécanique du moteur [7]

I.6 Les défaillances de la machine asynchrone

Bien que la machine asynchrone à cage d'écureuil soit réputée robuste, elle peut parfois présenter différents types de défauts. Ces défauts peuvent être soit d'origine électrique, soit d'origine mécanique. Un problème minime à l'étape de fabrication peut être à l'origine d'un défaut tout comme une utilisation non conforme de la machine. Certaines fois, nous pouvons aussi incriminer le milieu dans lequel la machine est utilisée (milieux corrosifs et/ou chimiques hostiles) [8].

Une étude statistique, effectuée en 1988 par une compagnie d'assurance allemande de systèmes industriels sur les pannes des machines asynchrones de moyenne puissance (de 50 kW à 200kW) a donné les résultats suivants [9] :

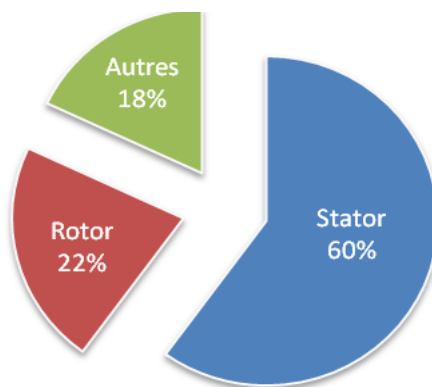


Figure 7 : Proportion des défauts de la machine asynchrone de moyenne puissance [9]

Une autre étude statistique faite sur des machines de grande puissance (100 kW à 1 MW) donne des résultats qui sont présentés la figure suivante [10]:

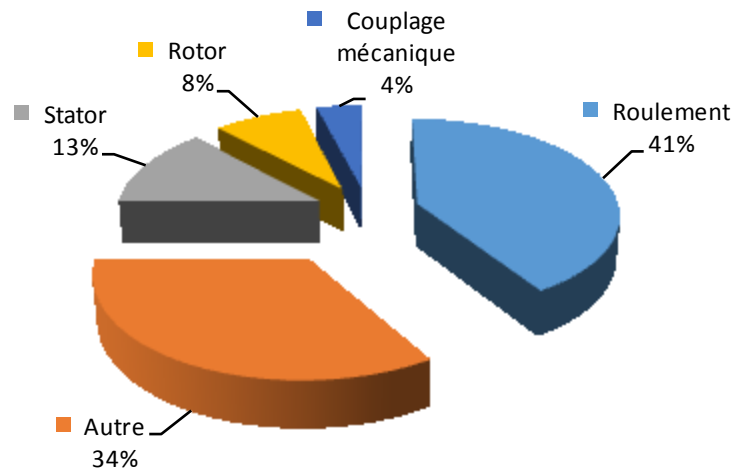


Figure 8 : pourcentage des défauts des machines asynchrones de grande puissance [10]

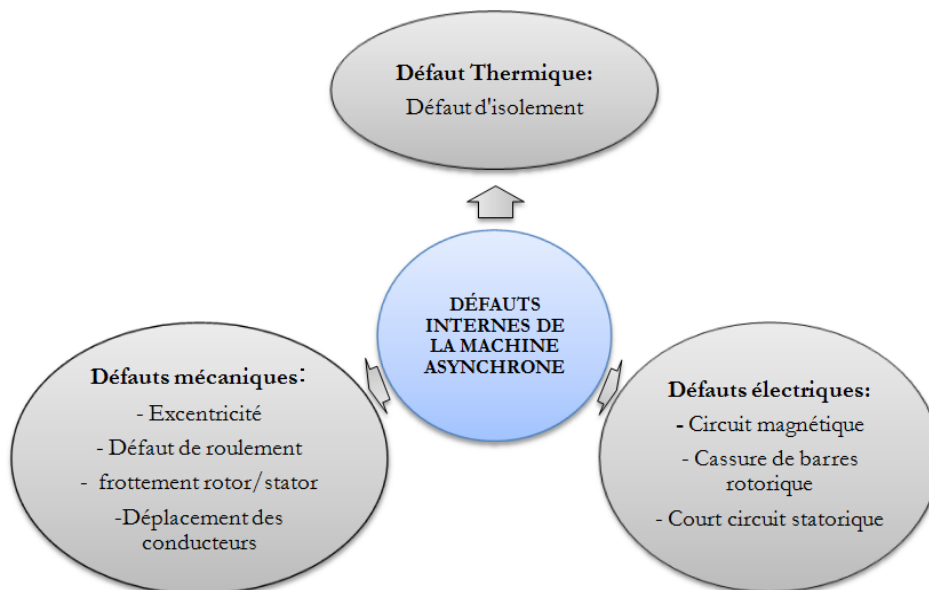
I.6.1 Causes des défauts

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

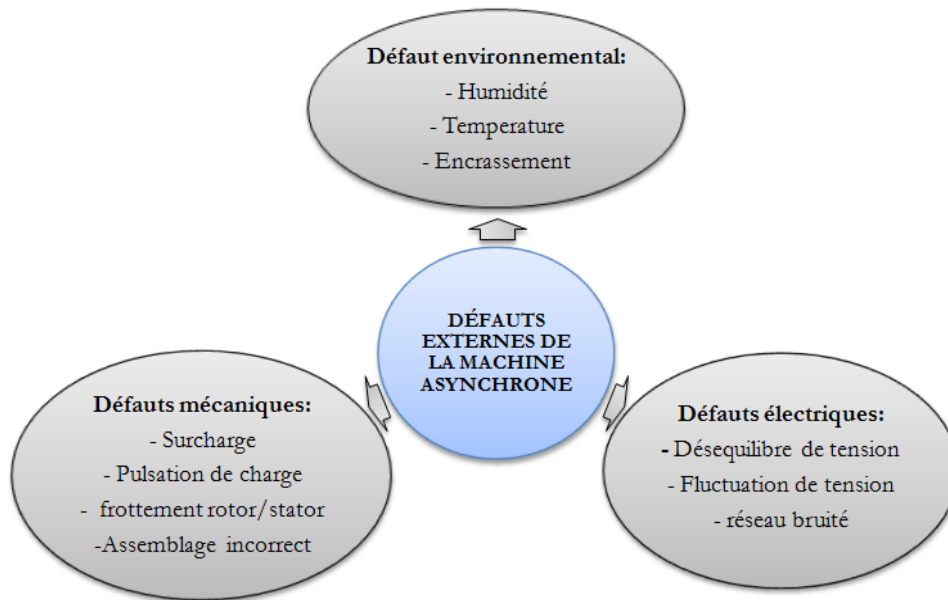
- ✓ **Les initiateurs de défauts** : surchauffe du moteur, usure des éléments mécaniques (roulement à billes), rupture de fixation, problème d'isolation électrique, déséquilibre des tensions et courants de ligne.
- ✓ **Les contributions aux défauts** : surcharge fréquente, température ambiante élevée, ventilation défaillante, humidité, fortes vibrations, vieillissement.
- ✓ **Les défauts par erreurs humaines** : défauts de fabrication, composants défectueux, protection inadaptées, absence de maintenance. [6]

I.6.2 Les origines des défaillances

Les défauts de la machine asynchrone peuvent être soit d'origine interne ou externe. La figure suivante résume ces origines [3]:



(a)



(b)

Figure 9 : Classification des défauts de la machine asynchrone [3] : (a) défauts internes; (b) défauts externes.

I.6.3 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 [8].

I.6.3.1 Défaillances des roulements

Les roulements à billes jouent un rôle très important dans le fonctionnement de tout type de machines électriques. Les défauts de roulements peuvent être causés par un mauvais choix de matériau à l'étape de fabrication. Les problèmes de rotation au sein de la culasse du roulement, causés par un roulement abîmé, écaillé ou fissuré, peuvent créer des perturbations au sein de la machine. Les vitesses importantes aussi peuvent provoquer la détérioration des roulements. La graisse, qui permet la lubrification et la bonne rotation des roulements peut, dans certaines applications, se rigidifier et causer une résistance à la rotation. L'analyse vibratoire de la machine ou l'analyse harmonique des courants statoriques permet de détecter ce type de défaillances [8].



(a)

(b)

(c)

a-défaut de bague externe

b-défaut de bague interne

c-défaut de bille

Figure 10 : Exemple de défauts de roulements [11]

I.6.3.2 Défaillances du flasque

Les défauts créés par les flasques de la machine asynchrone sont le plus généralement causés à l'étape de fabrication. En effet, un mauvais positionnement des flasques provoque un désalignement des roulements à billes, ce qui induit une excentricité au niveau de l'arbre de la machine. Il est possible de détecter ce type de défaillance par une analyse vibratoire ou une analyse harmonique des courants absorbés par la machine[8].

I.6.3.3 Défaillances de l'arbre

L'arbre de la machine peut laisser paraître une fissure due à l'utilisation d'un mauvais matériau lors de sa construction. A court ou long terme, cette fissure peut mener à une fracture nette de l'arbre provoquant ainsi un arrêt irrémédiable de la machine asynchrone. Les milieux corrosifs peuvent aussi affaiblir la robustesse de l'arbre de la machine. Par exemple, l'humidité peut provoquer des microfissures et conduire à une destruction complète de la machine. Une excentricité statique, dynamique ou mixte peut induire des efforts considérables sur l'arbre moteur, amenant ainsi une fatigue supplémentaire. Une analyse vibratoire, une analyse par ultrason, une analyse fréquentielle des courants absorbés ou simplement une analyse visuelle de l'arbre de la machine permet de détecter ce type de défaillance [8].

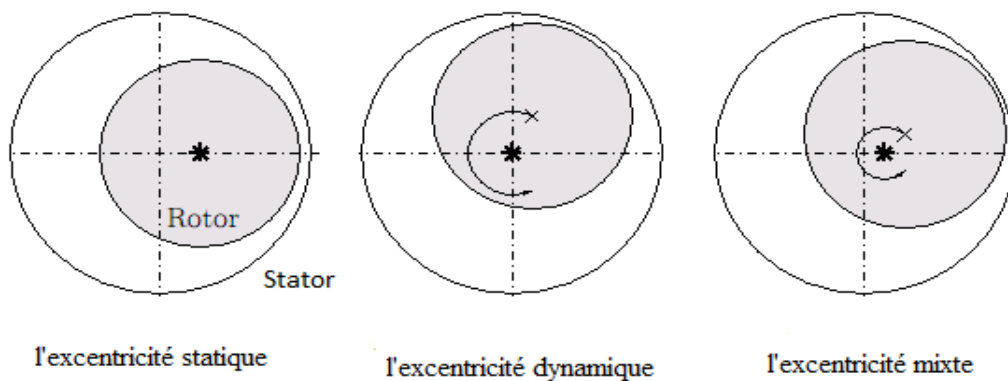


Figure 11 : Exemple des défauts d'excentricités [12]

I.6.4 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 [8].

I.6.4.1 Défaillances des circuits électriques statoriques

- **Court-circuit statorique**

L'apparition d'un défaut au niveau des circuits électriques statoriques de la machine asynchrone peut avoir des origines diverses. Nous pouvons citer, par exemple, les défauts de type court-circuit inter-spires qui apparaissent à l'intérieur des encoches statoriques. Ce type de défaut peut être causé par une dégradation des isolants des spires du bobinage statorique. Nous pouvons citer aussi les court-circuit apparaissant entre une phase et le neutre, entre une phase et la carcasse métallique de la machine ou encore entre deux phases statoriques. Ces défauts ont le plus souvent une origine mécanique. En effet, des vibrations excessives peuvent mener à un desserrement des boulons de la plaque à bornes de la machine créant ainsi le court-circuit. Une cosse mal serrée à la jonction du câble d'alimentation et des bornes de la machine peut être à l'origine d'une ouverture de phase. Le défaut le plus couramment rencontré reste encore la fusion d'un fusible de protection. Ces

défauts peuvent être détectés par une analyse harmonique des courants absorbés par la machine[8].

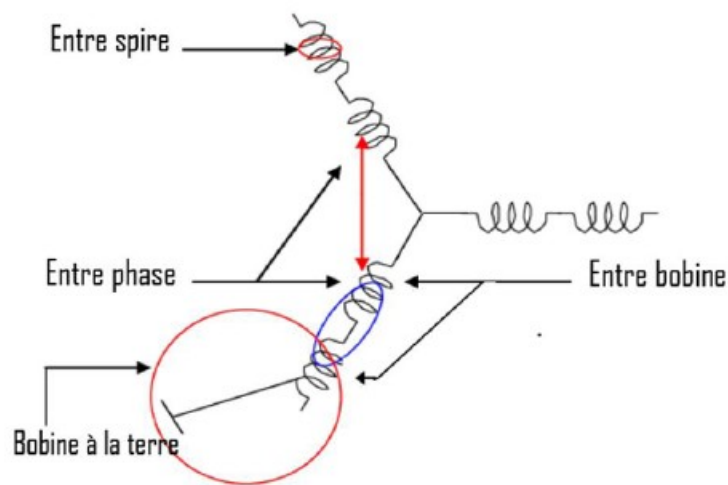


Figure 12 : Représentation des défauts de Court-circuit statoriques [3]

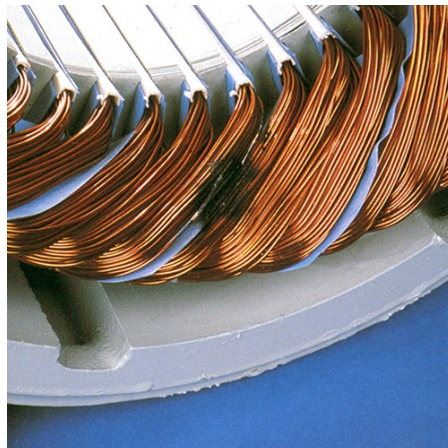


Figure 13 : Exemple de court-circuit statorique entre phase [13]

❖ Déséquilibre de tension de l'alimentation

Un système triphasé est dit déséquilibré ou asymétrique si les tensions et les courants triphasés n'ont pas la même amplitude et/ou ne sont pas déphasés de 120° les uns par rapport aux autres[14]. Le déséquilibre de tension d'alimentation est donc un défaut externe de type électrique.

- Les causes :

Les conditions anormales d'exploitation, les courts-circuits entre phases et les circuits ouverts sur une phase sont des exemples. Les charges monophasées sont une cause de courants déséquilibrés aussi[14].

- Les effets :

L'existence d'un couple de freinage produit par le champ magnétique inverse a cause du déséquilibre. L'échauffement anormal du stator, à cause de l'augmentation des courants provoque probablement un vieillissement thermique de la protection. En plus les dommages au niveau des paliers[14].

La figure suivante représente les effets négatifs du déséquilibre de la tension sur la température des enroulements, les pertes, le rendement et la durée de vie prévue[15].

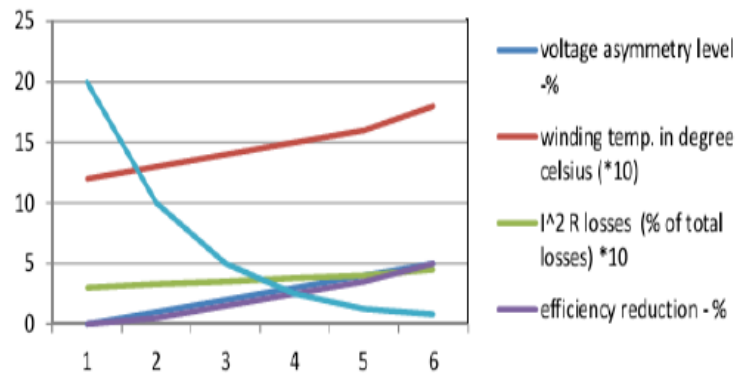


Figure 14 : les effets négatifs du déséquilibre de tension sur les moteurs asynchrones[15]

La figure suivante représente un exemple de dommages au niveau de stator, causé par le déséquilibre de tension :

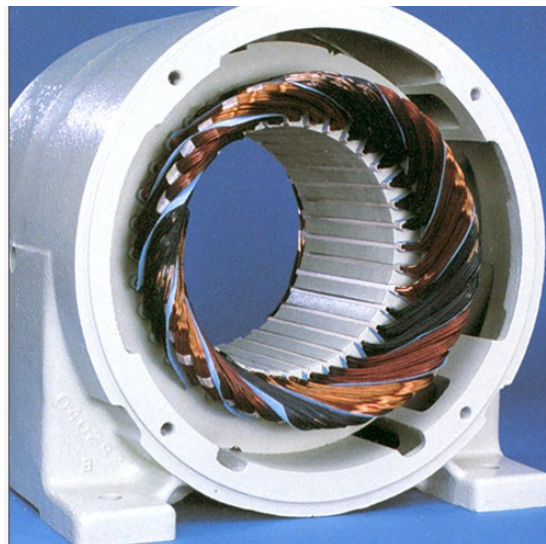


Figure 15 : Dommages au niveau de stator, causé par le déséquilibre de tension [13]

I.6.4.2 Défaillances des circuits électriques rotoriques

Deux types de défaillances peuvent apparaître au rotor d'une machine asynchrone à cage d'écureuil. La cage étant composée de barres et d'anneaux de court-circuit d'aluminium ou de cuivre, une rupture partielle ou totale d'un de ces composants peut être considérée comme un défaut électrique rotorique. L'apparition de ce type de défaut peut être d'origine diverse. En effet, la rupture d'une barre ou d'un segment d'anneau de court-circuit peut être due à plusieurs phénomènes qui sont souvent indépendants les uns des autres. Nous pouvons citer par exemple une mauvaise utilisation de la machine asynchrone (charge trop importante) ou encore l'environnement hostile dans lequel elle fonctionne. Parmi les causes premières, nous pouvons énumérer [8]

- ✓ Des contraintes mécaniques causées par des forces électromagnétiques ou des vibrations mécaniques excessives ;
- ✓ Des démarrages trop fréquents induisant des courants élevés dans les barres ou dans les segments d'anneaux ;

- ✓ Des contraintes environnementales causées par une contamination ou une abrasion de la cage rotorique (industrie chimique par exemple).

Une défaillance au niveau de la cage rotorique se situe généralement à la jointure entre une barre et un anneau de court-circuit. En effet, les barres rotoriques et les anneaux de court-circuit ne pouvant pas être construits d'un seul bloc (sauf pour les machines de petites puissances), une soudure est pratiquée aux extrémités de chaque barre pour relier ces dernières aux deux anneaux de court-circuit. La fragilité de ces soudures, par rapport aux barres et aux anneaux fabriqués d'un seul bloc, provoque, à ces endroits précis, une fragilité de la cage d'écureuil [8].

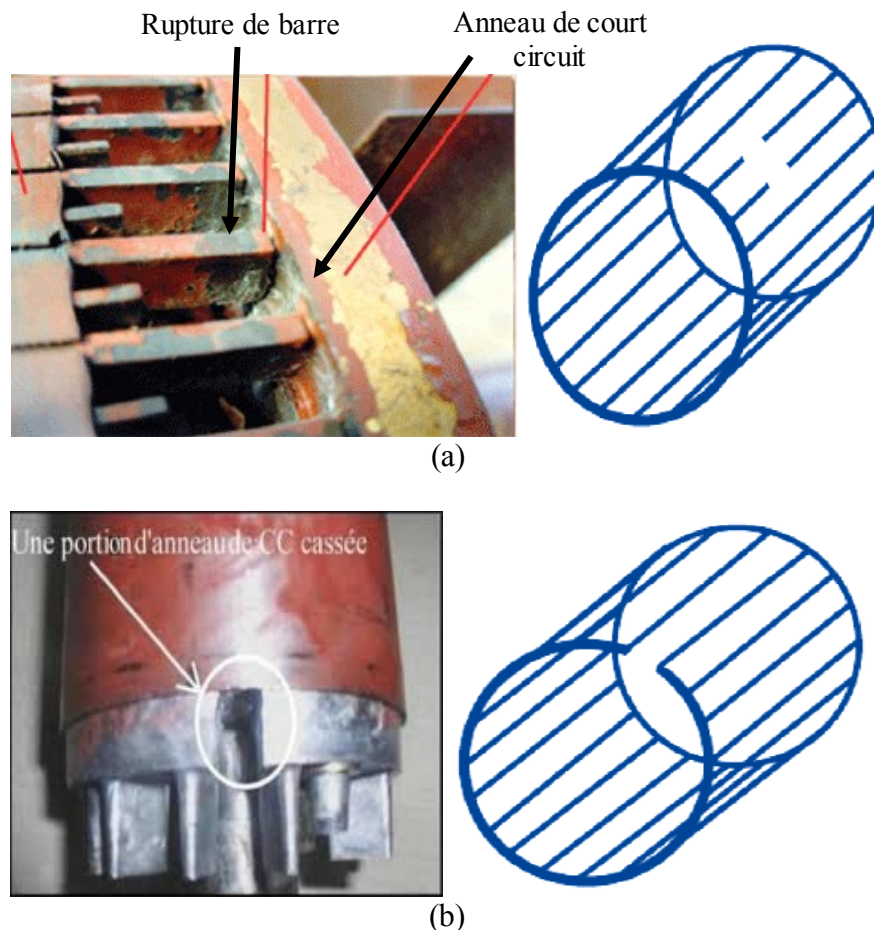


Figure 16 : (a) Rupture de [3] [16]; (b) Portion d'anneau de court-circuit [3] [17]

Tout comme les défauts statoriques, les défauts rotoriques peuvent être détectés par une analyse harmonique des courants statoriques. Une analyse vibratoire de la machine asynchrone permet aussi détecter ce type de défaillances [8].

I.7 Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons présenté l'état de l'art des machines asynchrone en commençant par l'historique de ce type machines. Ensuite, nous avons présenté la machine asynchrone par les différents éléments de constitution. Finalement, nous avons expliqué que ces éléments peuvent présenter des défauts électriques et/ou mécaniques selon les différents causes et origines.

Chapitre II :
Méthodes de diagnostic des défauts des machines asynchrones

Chapitre II : Méthodes de diagnostic des défauts des machines asynchrones

II.1 Introduction

La surveillance des systèmes est un moyen de garantir le fonctionnement. Le diagnostic a pour objectif de trouver la cause des défauts.

Dans ce chapitre nous allons voir les différents techniques et méthodes utilisés pour le diagnostic des défaillances des machines asynchrones.

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, de plus, capable de préciser la nature du ou des défauts occurrents. Cette connaissance comprend les différentes mesures issues des capteurs et toute autre information pouvant être utile pour le diagnostic [6].

II.3 Objectifs 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 [6].

II.4 Les méthodes de diagnostic

Les méthodes de diagnostic sont nombreuses et varient elles correspondent à la diversité des problèmes rencontrés il est possible de les classer selon le schéma de la Figure 16 :

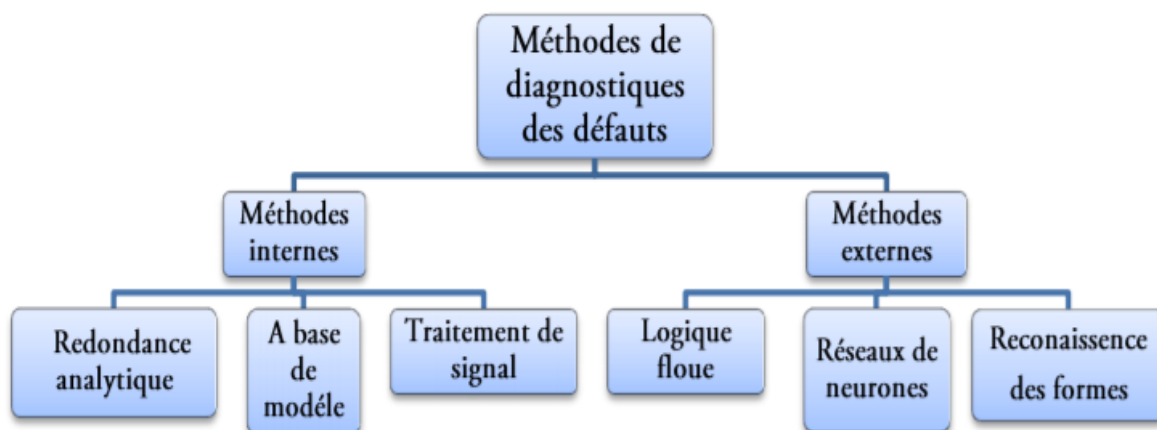


Figure 17 : Méthodes de diagnostic de défauts [3]

Selon que l'on dispose ou pas d'un modèle mathématique représentatif du système, les méthodes de diagnostic se répartissent en deux grandes classes. Dans le premier cas, on a des redondances d'informations et la connaissance fournie par le modèle mathématique pour caractériser le mode de fonctionnement ou l'état du système puis décide s'il est normal ou pas. Dans le deuxième cas, c'est l'analyse des données fournies par le système qui permet de décider de son état. Les méthodes précédentes font alors appel à des procédures d'apprentissage et de reconnaissance de forme ou à l'intelligence artificielle. Vu la diversification dans les techniques de diagnostic un tour d'horizon sur les techniques les plus utilisées s'impose[3].

II.4.1 Analyse des signaux

II.4.1.1 Grandeurs indicatrices

La complexité des signaux dépend de la nature des systèmes et des matériels à diagnostiquer et varie en fonction de l'anomalie recherchée. Le diagnostic d'une défaillance de la machine asynchrone fait le plus souvent appel à l'utilisation de signatures obtenues à partir de signaux qui contiennent les informations jugées pertinentes par les spécialistes du domaine (voir Figure)[18].

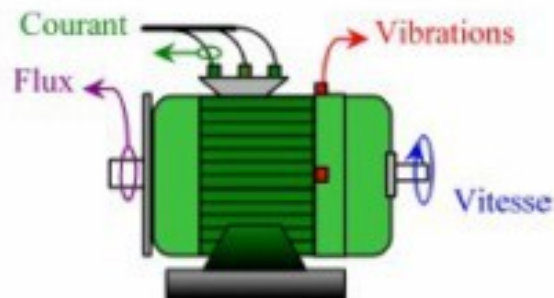


Figure 18 : les mesures utilisées pour la surveillance et le diagnostic des machines asynchrones [18]

A cet effet, les techniques de validation des signaux les plus utilisés sont :

- l'analyse des paramètres électriques (la signature des courants statoriques, et de tension, etc.) ;
- la mesure des paramètres mécaniques (le couple et la vitesse de rotation) ;
- le contrôle des vibrations ;
- la mesure des températures ;
- le contrôle des émissions de fréquences radio ;
- le contrôle du champ électromagnétique ;
- l'analyse chimique ;
- les mesures des bruits acoustiques[18].

II.4.1.2 Transformation de fourrier rapide « FFT »

Une défaillance sur le système provoque la modification d'harmonique au niveau des spectres des signaux précédemment cités. La méthode la plus utilisée est la transformée de

fourrier (FFT). Il s'agit d'une méthode non paramétrique, qui se prête bien à l'analyse des phénomènes stationnaire. La composante a la fréquence f d'un signal temporel $x(t)$ s'exprime par la relation suivante[3]:

$$X(f) = \int_{-\infty}^{+\infty} x(t) \cdot e^{-j \cdot 2\pi \cdot f \cdot t}$$

Malgré l'introduction et les succès de la transformée de Fourier rapide (FFT), est donc par définition peu adaptée à l'étude des signaux non-stationnaires. Hors, ces signaux se rencontrent beaucoup plus souvent que les signaux stationnaires [7].

II.4.2 Analyse spectrale du courantstatorique (MCSA)

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 [6].

Les figures suivantes représentent respectivement des exemples d'analyse spectrale du signal du courant statorique en régime permanent dans l'état sain et avec une barre cassée deHamming[6].

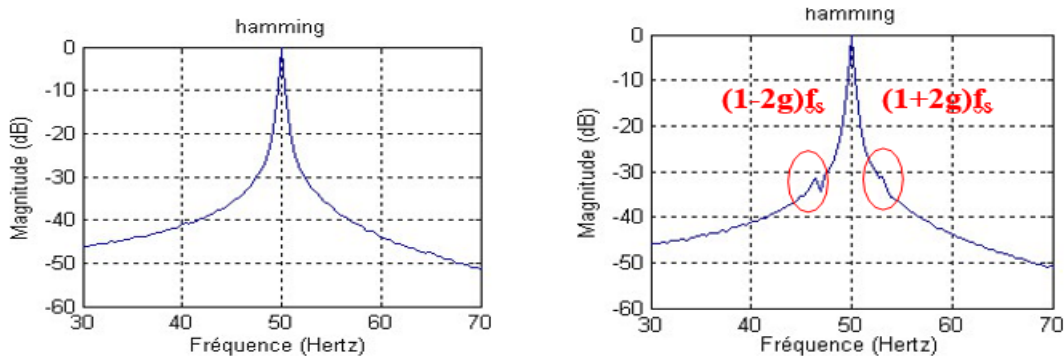


Figure 19 : Analyse spectrale du courant statorique en régime permanent dans l'état sain et avec une barre cassée [6]

La visualisation des raies dans le courant statorique permet d'expliquer le défaut en évidence et d'obtenir plus d'information sur le défaut[6].

D'après les travaux, chaque type de défaut laisse une signature sur le spectre du courantstatorique qui se traduit par l'apparition des raies latérales.

II.4.3 Analyse temps-fréquence (spectrogramme) :

La transformée de Fourier est surtout utilisée pour l'analyse des systèmes en régime permanent. Cependant, il est possible de la mettre en œuvre pour l'étude de fonctionnement non-stationnaire (variation aléatoire du couple de charge modifiant la valeur efficace du courant absorbé), par la méthode des spectrogrammes basée sur la transformation temps- fréquence. L'idée clé dans cette méthode est de transformer le courant du moteur en une représentation temps-fréquence pour capturer la variation dans le temps des composantes spectrales comme nous le montre la figure suivante. Ensuite, une analyse statistique du spectre fréquentiel est effectuée pour distinguer les conditions de défaut par rapport aux conditions de fonctionnement normales du moteur [8].

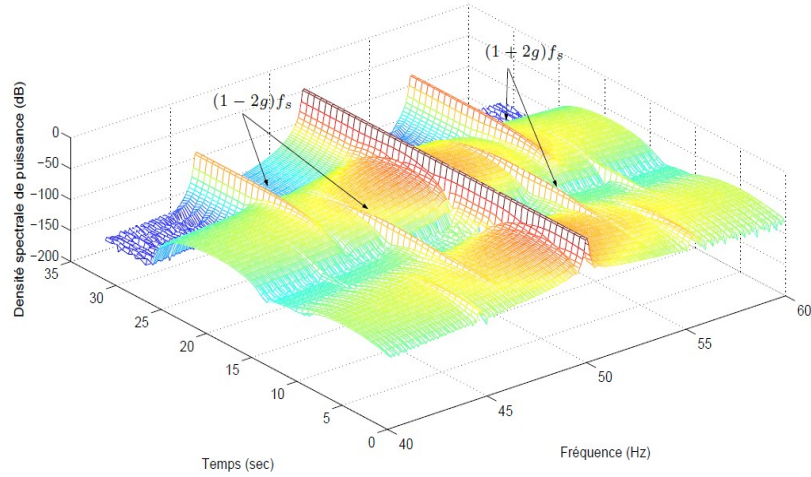


Figure 20 : Représentation temps-fréquence du courant statorique lors d'une variation du couple de charge (Résultats de simulation avec une barre cassée) [8]

II.4.4 Méthode de représentation tridimensionnelle des courants statoriques (3D)

Cette détection basée sur l'analyse des trois courants (I_A, I_B, I_C). La plupart des méthodes employées pour identifier et classer les défauts du moteur asynchrone défectueux sont basées sur l'analyse des courants statoriques. L'approche proposée emploie également l'analyse des courants statoriques, Cependant, dans cette méthodologie le problème est converti dans une analyse de reconnaissance des structures. Avec les conditions idéales pour le moteur asynchrone et une alimentation non équilibrée de tensions, les courants statoriques sont donnés par l'équation[7].

$$\begin{cases} I_A = I_m \sin(\omega t - \varphi) \\ I_B = I_m \sin\left(\omega t - \frac{2\pi}{3} - \varphi\right) \\ I_C = I_m \sin\left(\omega t - \frac{4\pi}{3} - \varphi\right) \end{cases}$$

I_A, I_B, I_C : les courants statoriques des trois phases;

I_m : la Valeur maximale du courant;

ω : Pulsation;

φ : Angle de la phase;

t: temps.

Dans cette approche les courants sont identifiés en tant que modèles typiques pour chaque mode défectueux. Ceci est accompli en l'analysant dans un espace à trois dimensions. Pour un moteur sain, le modèle correspondant du courant est un cercle centré à l'origine des coordonnées[7].

La figure suivante représente un exemple de modélisation 3D des courants statoriques (simulation) dans l'état de fonctionnement normale, on remarque que le résultat est un cercle centré à l'origine :

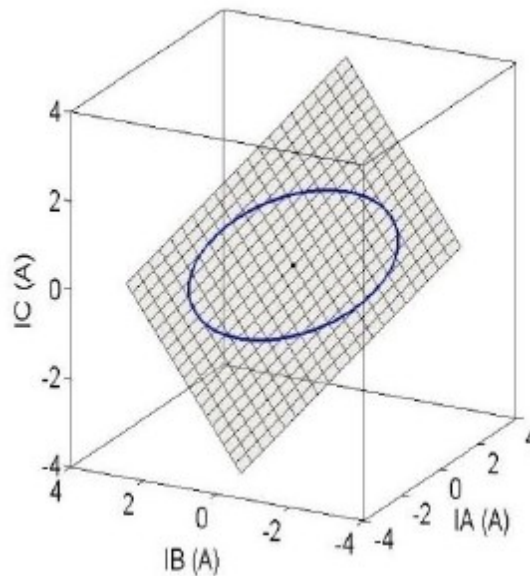


Figure 20. Modèle 3D des courants statoriques en absence de défaut [3].

II.4.5 Diagnostic des défauts par analyse du vecteur de Park

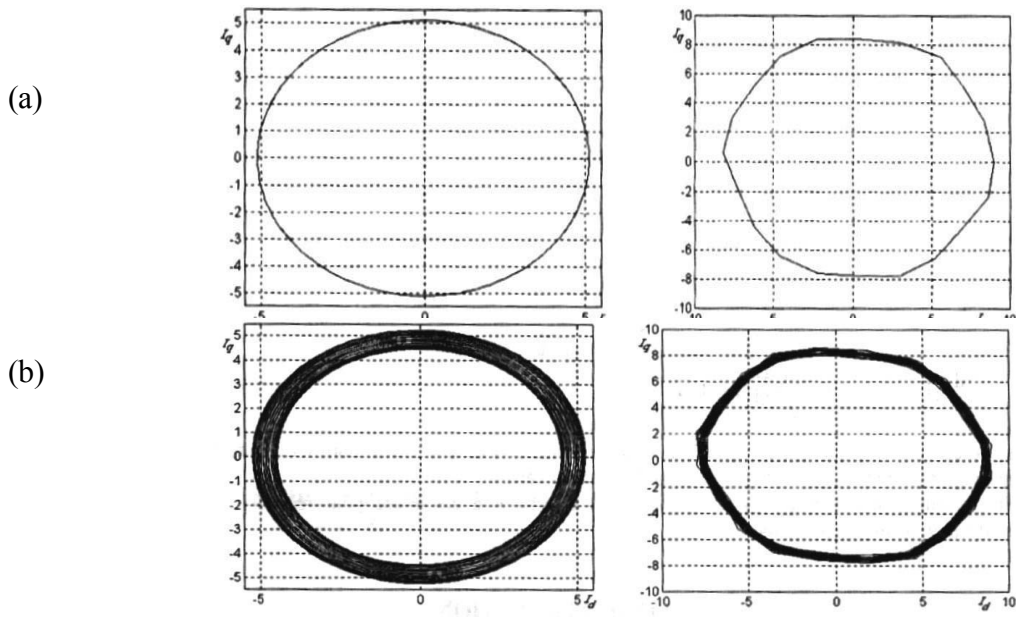
Une représentation en deux dimensions peut être utilisée pour décrire le phénomène des moteurs asynchrones triphasés. Une des plus connues et des plus appropriées repose sur le calcul des courants dits de Park. En fonction des courants de phase $i_{sa}(t)$, $i_{sb}(t)$ et $i_{sc}(t)$, les courants de Park $i_d(t)$ et $i_q(t)$ peuvent être calculés grâce aux deux relations suivantes [8]:

$$i_d(t) = \sqrt{\frac{2}{3}} i_{sa}(t) - \frac{1}{\sqrt{6}} i_{sb}(t) - \frac{1}{\sqrt{6}} i_{sc}(t)$$

$$i_q(t) = \frac{1}{\sqrt{2}} i_{sb}(t) - \frac{1}{\sqrt{2}} i_{sc}(t)$$

Les figures suivantes représentent le tracé du courant $i_d(t)$ en fonction du courant $i_q(t)$ pour un fonctionnement de la machine avec un rotor sain et un rotor avec une barre cassée. Nous apercevons que le défaut rotorique induit un épaississement du contour du cercle, ce qui permet d'établir un diagnostic de défaut en effectuant une surveillance des déviations de ce cercle par rapport au modèle de base[8].

Cette méthode de détection donne des résultats satisfaisants lorsque la machine fonctionne à son couple nominal [8]. Dans le cas d'un fonctionnement à vide, les courbes obtenues ne permettent pas de diagnostiquer un défaut rotorique car l'épaississement créé par la rupture d'une ou plusieurs barres ne modifie quasiment pas l'épaisseur du cercle de base [8].



(a) Cas d'un moteur sain,
 (b) Cas de cassure d'une barre,

Figure 21 : Résultats de simulation [19]

Figure 22 : Résultats expérimentaux [19]

Pour un moteur qui travaille avec une asymétrie statorique, le vecteur de Park et le modèle tridimensionnelle des courants devient une ellipse [3]. Il peut être montré que la longueur de l'axe majeur est proportionnelle à la somme des amplitudes des composantes des séquences positive et négative du courant, et la différence entre les amplitudes de ces deux composantes est directement proportionnelle à la longueur de l'axe mineur. Donc, pour un moteur asynchrone avec une asymétrie statorique, le modèle du courant assume un modèle elliptique [3].

La figure suivante représente un exemple d'un tracé du vecteur de Park dans l'état sain et avec un déséquilibre de tension, on remarque que le tracé avec déséquilibre est devenu elliptique.

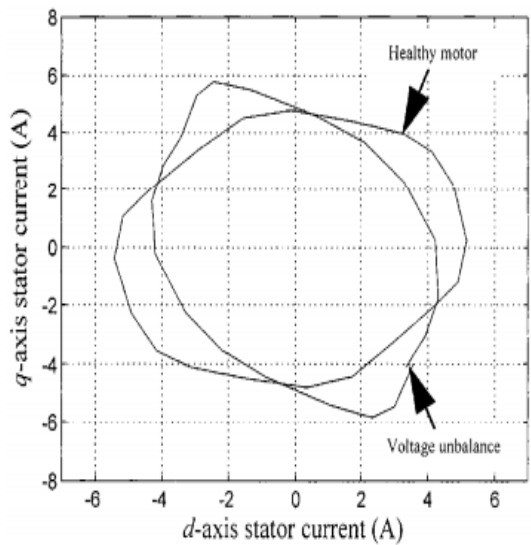


Figure 23 : Vecteur de Park avec un déséquilibre de tension [24]

II.4.6 L'approche du vecteur de Park étendue (EPVA)

En 1998, une nouvelle implantation de l'approche par vecteur de Park a été proposée. En présence d'une barre cassée, le courant absorbé par le moteur asynchrone contient des composantes latérales de part et d'autre de sa composante fondamentale dont les fréquences sont données par la relation $(1 \pm 2k)g f_s$ (dans cette relation, g représente le glissement de la machine et f_s la fréquence fondamentale des courants statoriques). Ces composantes seront, par conséquent, aussi présentes dans les courants de Park $i_d(t)$ et $i_q(t)$. Dans ces conditions, il est très simple de montrer que le spectre du module des courants de Park ($i_m = \sqrt{i_d(t)^2 + i_q(t)^2}$), contient une composante continue générée par la composante fondamentale du courant statorique plus des composantes de fréquence $2k g f_s$. De cette façon, le spectre des courants de Park, ne contiendra que les composantes spécifiques au défaut de la machine. Il sera alors plus facile de détecter ces composantes et de diagnostiquer la présence d'un défaut rotorique[8].

La figure suivante montre qu'en absence de défaut, le spectre du module du vecteur de Park est caractérisé par l'absence de composantes spectrales significatives. En revanche, par exemple lorsque la cage d'écureuil est défaillante, le spectre du, i_m montre la présence des composantes spécifiques au défaut rotorique aux fréquences $2k g f_s$ [8].

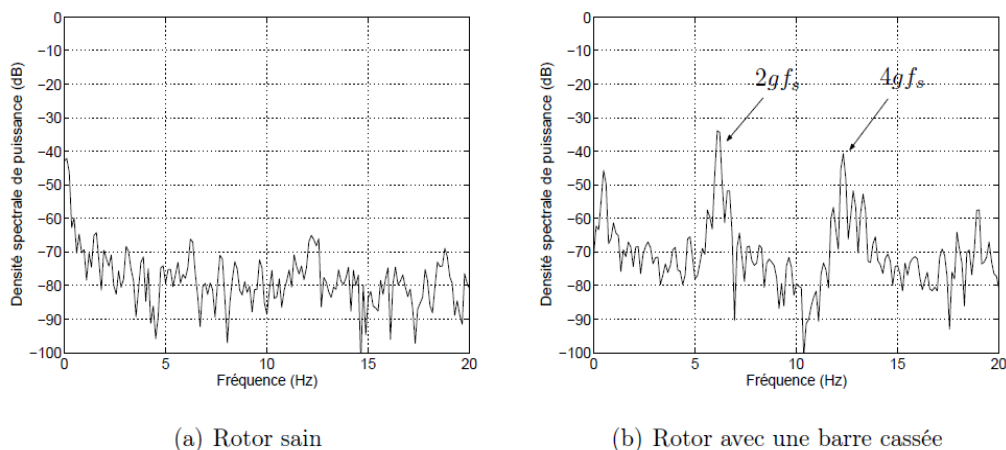


Figure 24 : Résultats expérimentaux du spectre du module du vecteur de Park [8]

II.4.7 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[6].

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 [6].

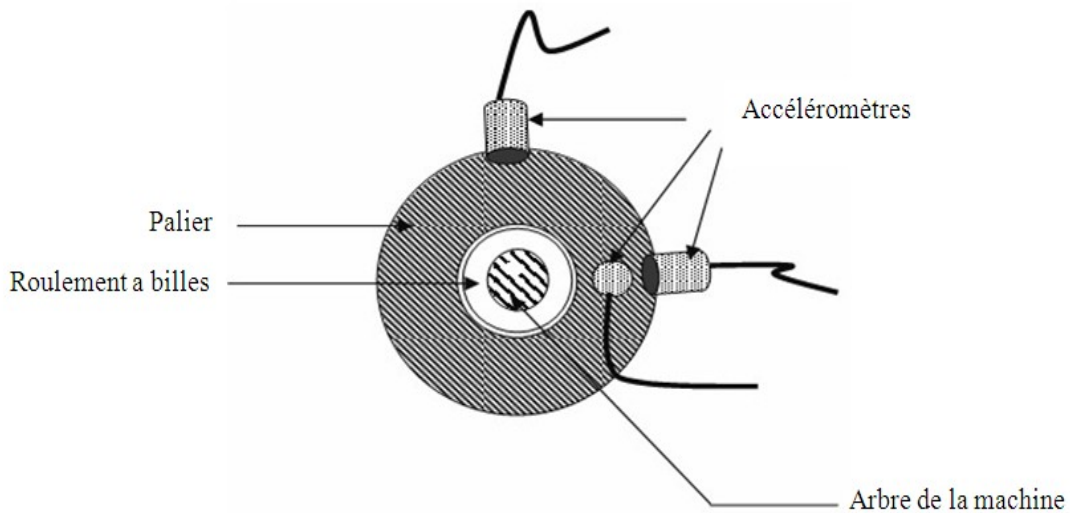


Figure 25 : Emplacement des accéléromètres sur les paliers de la machine asynchrone [6].

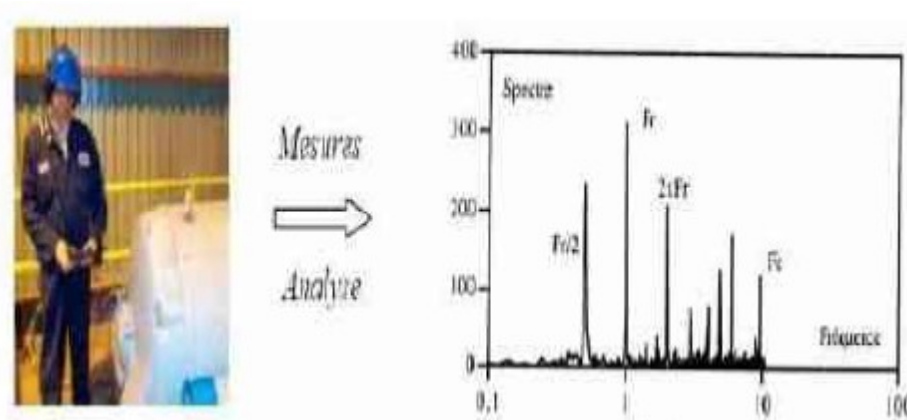


Figure 26 Principe de l'analyse vibratoire : Mesure et représentation du spectre vibratoire [20]

II.4.8 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 la machine [6].

II.4.9 Diagnostic par mesure du flux magnétique axial de fuite

Dans une machine idéale, 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 [6].

II.4.10 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 [6].

II.4.11 Diagnostic par analyse de la température (La Thermographie)

Née dans les années 60, la thermographie infrarouge a connu une véritable révolution dans les années 2000, avec le développement de la technologie matricielle, mais aussi avec l'amélioration des performances des détecteurs non-refroidis, qui ont permis d'élargir l'offre de caméras à bas coût, mais aussi leur champ d'application. Néanmoins, si l'utilisation d'un appareillage de thermographie en tant qu'imageur infrarouge est devenue, de fait, relativement aisée, l'obtention de données quantitatives fiables nécessite un certain nombre de compétences, en particulier de rayonnement, que nous rappelons brièvement dans la première partie de ce chapitre, la seconde partie étant dédiée à la présentation de quelques configurations expérimentales (les plus courantes) dans le cadre de la caractérisation d'écoulements[21].

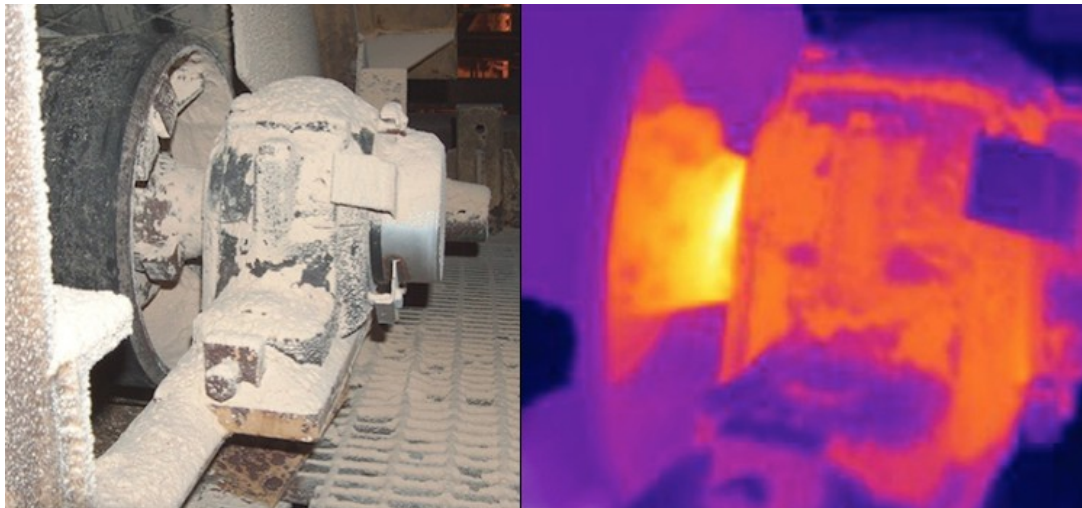


Figure 27 : Un défaut de graissage dans une bague de roulement [22]

graisse dans une bague de roulement [22]

Figure 28 : Un défaut de

II.4.12 Diagnostic par utilisation des techniques d'intelligence artificielle (IA)

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[6]:

- ✓ Logique floue,
- ✓ Reconnaissance des formes
- ✓ Réseaux neuronaux.

Le principe de diagnostic basé sur la logique floue consiste à extraire et à calculer les signaux d'entrée, en utilisant les règles linguistiques représentées sous forme de fonctions

d'appartenance, ces règles peuvent décrire tous les modèles de comportement possibles qui correspondent aux différentes manifestations du défaut considéré[6].

La Reconnaissance des Formes repose sur le classement des objets ou formes, en les comparant à des formes-types. Il s'agit de définir à quelle forme type une forme observée ressemble le plus. Donc, elle offre la possibilité d'interpréter toute nouvelle observation (forme). Les observations déjà connues sont regroupées en classes, constituant des prototypes auxquels la nouvelle observation est comparée pour être identifiée[3].

Les réseaux de neurones constituent un outil de l'intelligence artificielle. Ils offrent des solutions très performantes pour le diagnostic des procédés industriels. Ces réseaux se manifestent sous forme de plusieurs architectures.

Les avantages des réseaux de neurones sont : la rapidité et la robustesse[3].

II.5 Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons présenté les méthodes et les techniques de diagnostic les plus utilisées pour la détection et la localisation des défauts des machines asynchrones. Ces techniques permettent, la mise en œuvre d'un diagnostic, basé sur la comparaison des résultats obtenus selon un fonctionnement sain de la machine avec son fonctionnement avec défauts et anomalies.

CHAPITRE III :
Analyses des résultats expérimentales d'un
moteur asynchrone
(Fonctionnement sain et défectueux)

Chapitre III : Analyse des résultats expérimentales d'un moteur asynchrone (Fonctionnement sain et défectueux)

III.1 Introduction

L'étude expérimentale de la machine asynchrone triphasée permet d'obtenir des informations réelles sur le comportement de la machine dans le fonctionnement sain et défectueux. Pour cela, dans ce chapitre nous allons effectuer une analyse des courants statoriques d'une machine asynchrone (270W) obtenus en laboratoire, dans le cas de fonctionnement normal, afin d'avoir une référence de comparaison par rapport aux résultats d'analyse dans le fonctionnement avec anomalie. Ensuite, on va représenter l'analyse des résultats dans les cas de présence du déséquilibre de tension d'alimentation.

III.2 Les méthodes expérimentales dans la recherche scientifique

Les méthodes expérimentales scientifiques consistent à tester la validité d'une hypothèse, en reproduisant un phénomène (souvent en laboratoire) et en faisant varier un paramètre. Le paramètre que l'on fait varier est impliqué dans l'hypothèse. Le résultat de l'expérience valide ou non l'hypothèse. La démarche expérimentale est appliquée dans plusieurs domaines de recherches par exemple en biologie, physique, chimie, mécanique...etc. [23].

III.2.1 Expérience scientifique à l'aide de modèle

Lorsque certains phénomènes naturels sont trop complexes, trop vastes, trop dangereux, trop chers ou trop long à reproduire dans une expérience, on a recours à un dispositif simplifié, c'est le modèle. Il peut s'agir par exemple [23]:

- d'un modèle numérique (programme de simulation par ordinateur) ;
- d'un modèle réduit (maquette);
- d'un modèle vivant (comme les souris par exemple).

La validité du modèle peut être discutée, un modèle doit représenter le mieux possible l'objet sur lequel repose une hypothèse [23].

III.2.2 Protocole expérimental

Le protocole d'expérimentation regroupe la description des conditions et du déroulement d'une expérience. La description doit être claire afin que l'expérience puisse être reproduite à l'identique et il doit faire l'objet d'une analyse critique [23].

D'un point de vue très général, l'expérience isolée comporte sommairement trois phases [23].:

- La préparation ;
- L'expérimentation ;
- L'évaluation.

Les deux dernières sont l'aboutissement simple de ce qui les a précédés

III.3 Présentation du banc d'essai

Le banc d'essai utilisé pour la collection des données et pour le diagnostic du moteur asynchrone utilisé en [3][7], comprend les éléments suivants [3][7]:

- Un auto transformateur (utilisé pour créer le déséquilibre de tension).
- Un moteur asynchrone triphasé.
- Capteur de courant (plage d'intensité 0.01-10A), les données obtenues sont envoyées la carte d'acquisition RS232 intégré dans l'oscilloscope.
- Oscilloscope HAMEG507.
- Le traitement et l'acquisition de signal se font par les logiciels MATLAB et SP107 E.

III.3.1 L'acquisition des signaux pour le diagnostic

L'acquisition des signaux temporels des courants statoriques du moteur asynchrone se fait depuis son démarrage jusqu'à sa stabilité pour les deux modes de fonctionnement sain et défaillant se fait par un capteur de courant (0.01-10A) relié à un oscilloscope HAMEG507. La visualisation du signal sur l'écran de l'ordinateur, se fait à l'aide du logiciel SP107 E. Le courant statorique est acquis au moyen de la carte d'acquisition intégrée à l'oscilloscope. Le traitement des données est fait en utilisant le logiciel MATLAB [7]. Les figures suivantes représentent les éléments du banc d'essai :

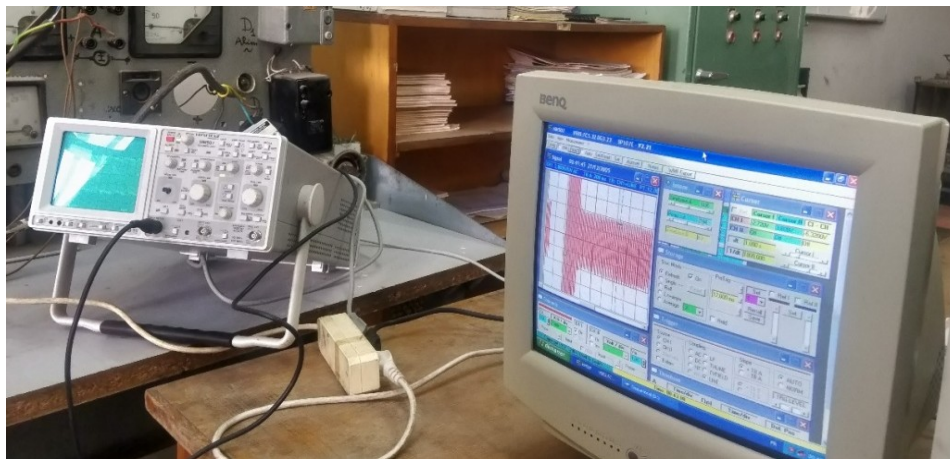


Figure 29 : L'oscilloscope (HAMEG507) et l'interface du logiciel SP107 E sur l'ordinateur



Figure 30 : Capteur de courant (PSY 30)



Figure 31 : Moteur asynchrone triphasé (270W) utilisé en essais expérimentaux avec autotransformateur [3]

La figure suivante représente schématiquement le principe du banc d'essai expérimental utilisé en laboratoire, pour un fonctionnement normal du moteur :

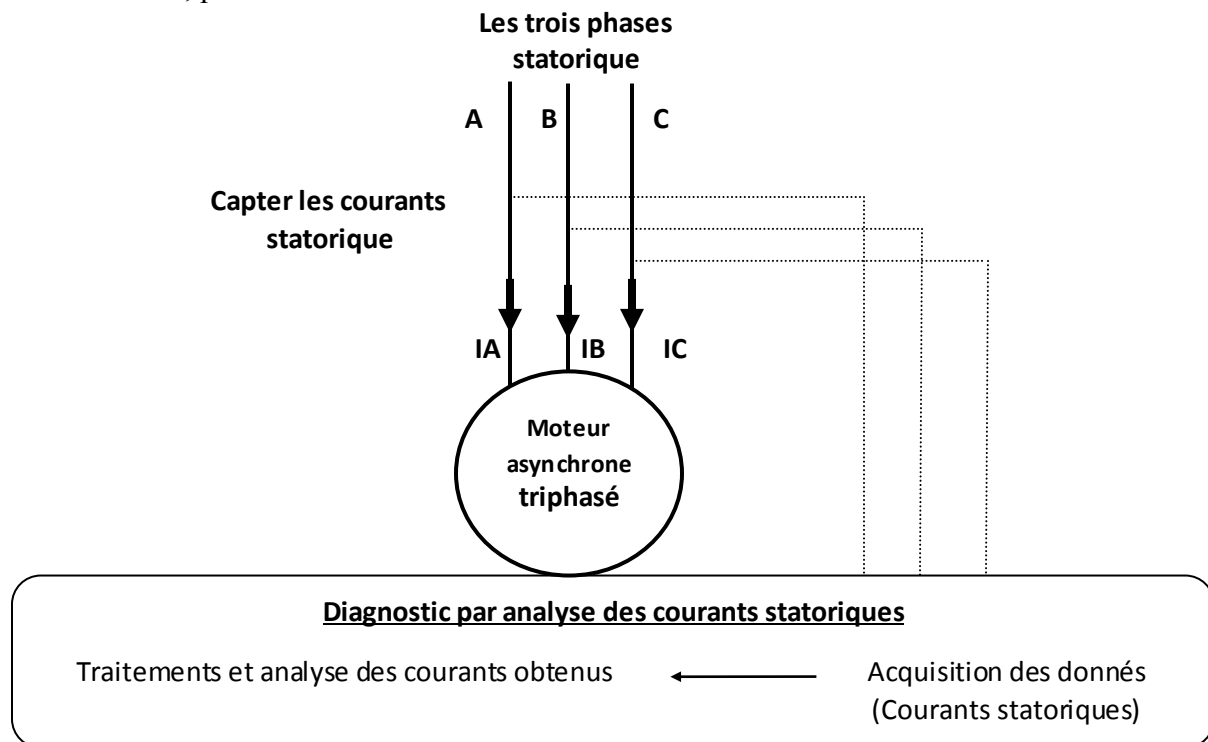


Figure 32 : Schématique du système de détection expérimentale

III.3.2 Analyse des résultats expérimentaux et discussion (cas de fonctionnement normal)

Les données de mesures des courants statoriques de l'état sain du moteur asynchrone utilisées dans ce travail pour les analyses, sont utilisés dans les essais expérimentaux d'un travail précédent[3], est nous avons les réutilisés et analyser de nouveau. Les imperfections de fabrication, de plus les sources d'alimentation contiennent un degré d'asymétrie. Ces facteurs peuvent influencer sur les résultats,

III.3.2.1 Le signal du courant statorique

Les figures suivantes représentent le signal temporel du courant statorique de la phase A de la machine asynchrone. On peut remarquer l'appel du courant au démarrage du moteur. Et puis, le signal se stabilise et il atteint son régime permanent (les deux autre phases ont presque la même amplitude et la même forme d'onde) .

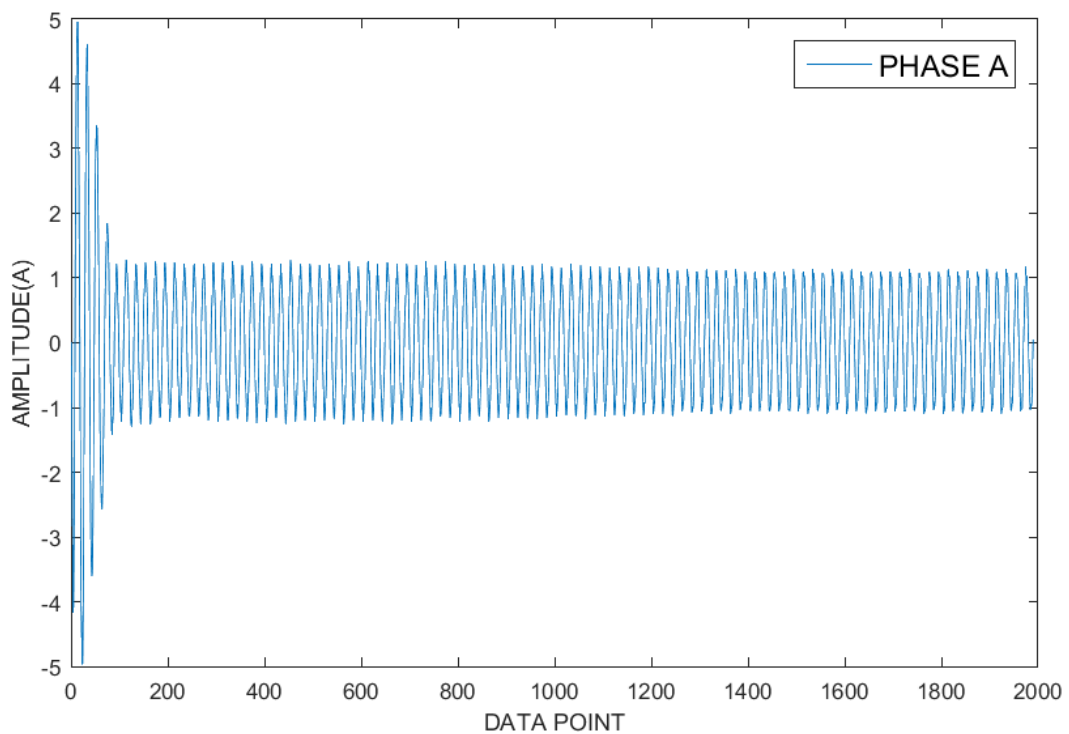


Figure 33 : Signal temporel du courant statorique de la phase A (moteur sain).

La figure suivante représente une partie du régime permanent du courant statorique de la phase A :

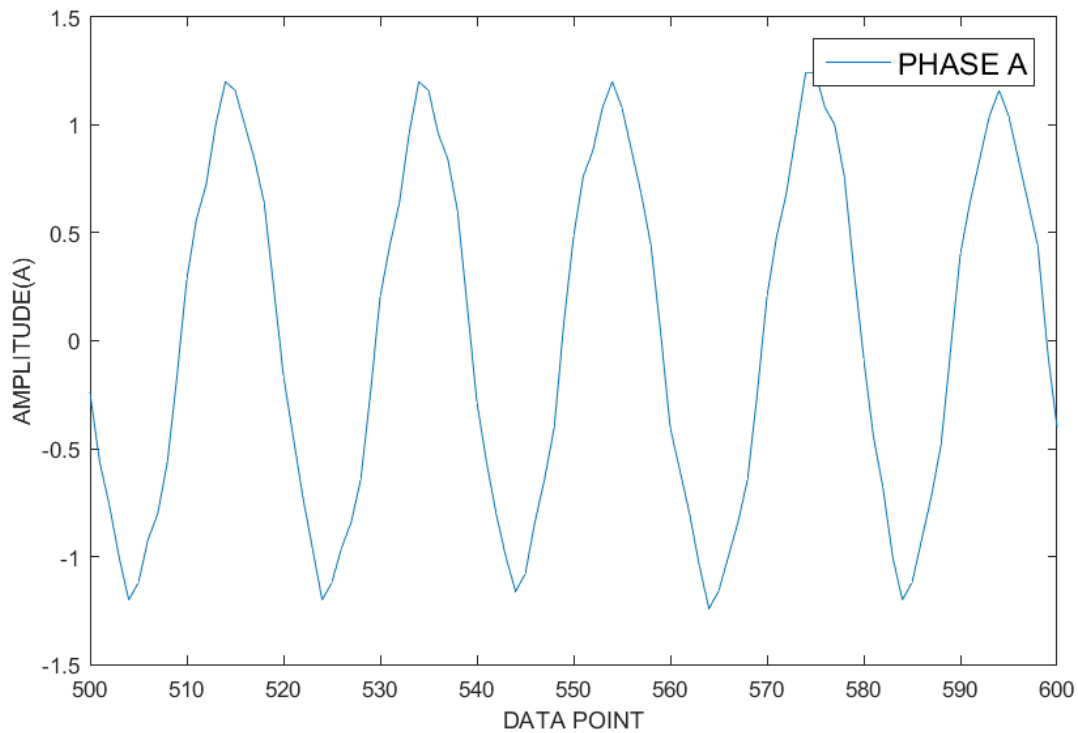


Figure 34 : Régime permanent du courant statorique de la phase A (moteur sain).

II.3.2.3 Analyse par la représentation des courants statoriques(vecteur de Park et la modélisation 3D des courants)

- **Fonctionnement normal**

Les figures suivantes représentent le tracé du vecteur de Park et le modèle 3D des courants statoriques de la machine asynchrone dans le cas de fonctionnement normale.

Comme illustré dans les figures, avec les conditions normales, ces méthodes donnent un cercle centré sur l'origine des coordonnées, mais le résultat obtenu n'est pas parfaitement circulaire, ceci est justifié par les causes déjà cités.

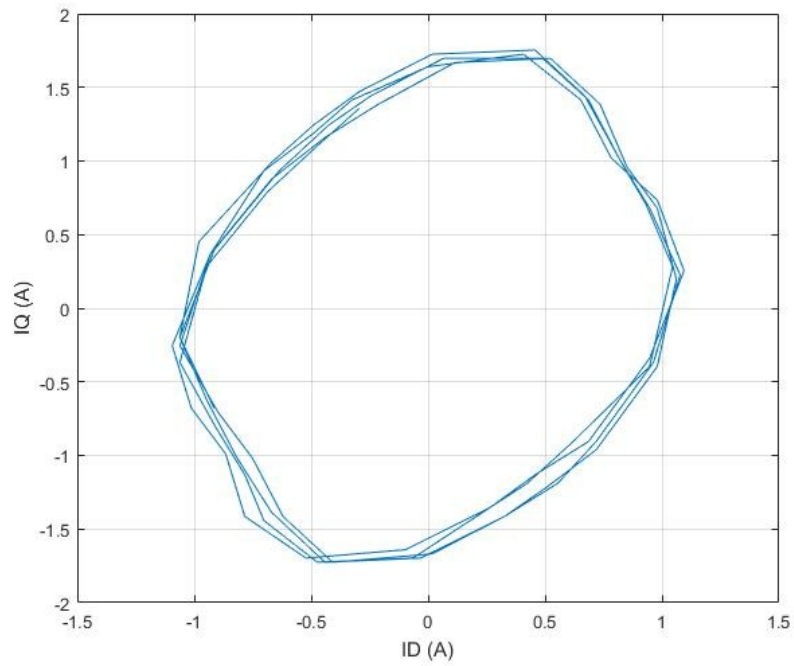


Figure 35 : Tracé du vecteur de Park dans les conditions de travail normales

La figure suivante représente le résultat obtenu du modèle 3D des courants statoriques, on note, la similarité des résultats obtenus par ces deux types de représentation.

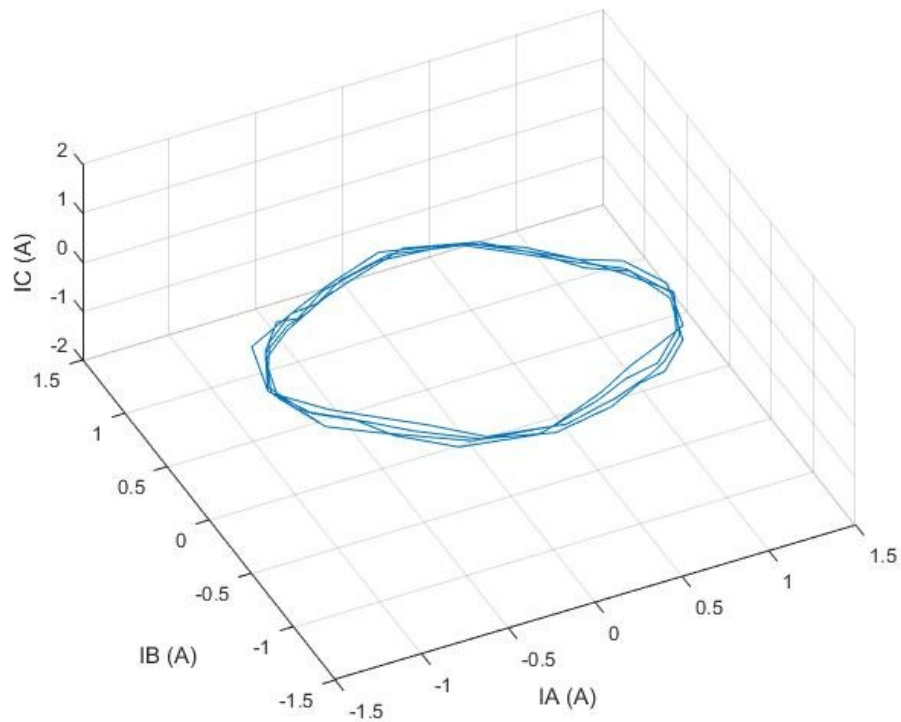


Figure 36 : Tracé tridimensionnel des courants statoriques dans les condition normale.

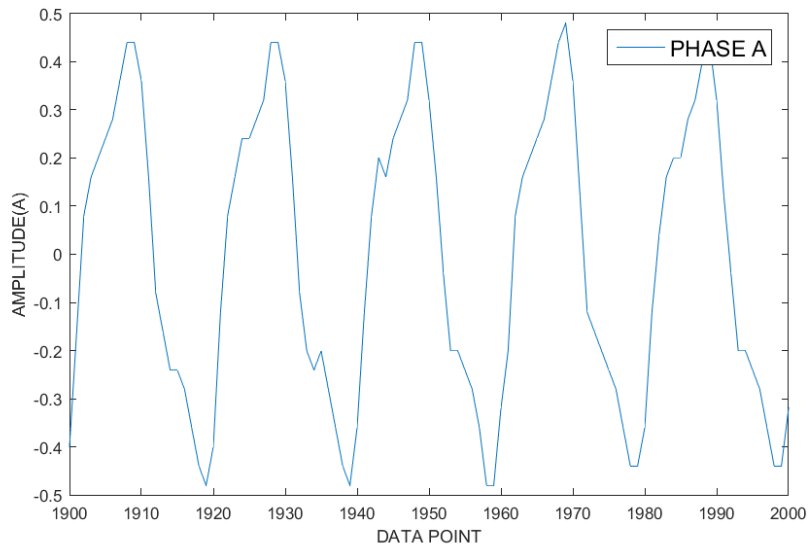
Ces résultats sont donc considérés comme une référence pour le fonctionnement normal du moteur.

- **Fonctionnement avec un déséquilibre de tension d'alimentation**

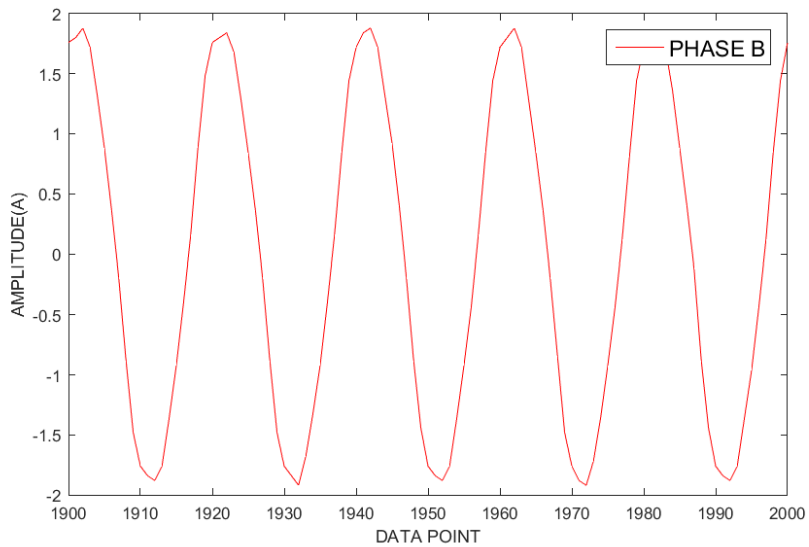
La tension d'alimentation déséquilibrée a été créée par la même manière expliquer en [3], les phases B et C sont connecté à la source, et la phase A a été reliée à un auto transformateur avec le neutre. Ce procédé permet de réduire la tension dans cette phase[3]. C.à.d. de créer un défaut au niveau de l'alimentation du stator. Alors, L'enregistrement des signaux des courants a été réalisé avec une réduction de 40V dans une seule phase A. Donc de cette manière un déséquilibre de tension a été créé dans une seule phase statorique.

III.3.2.1 Les signaux des courants statoriques

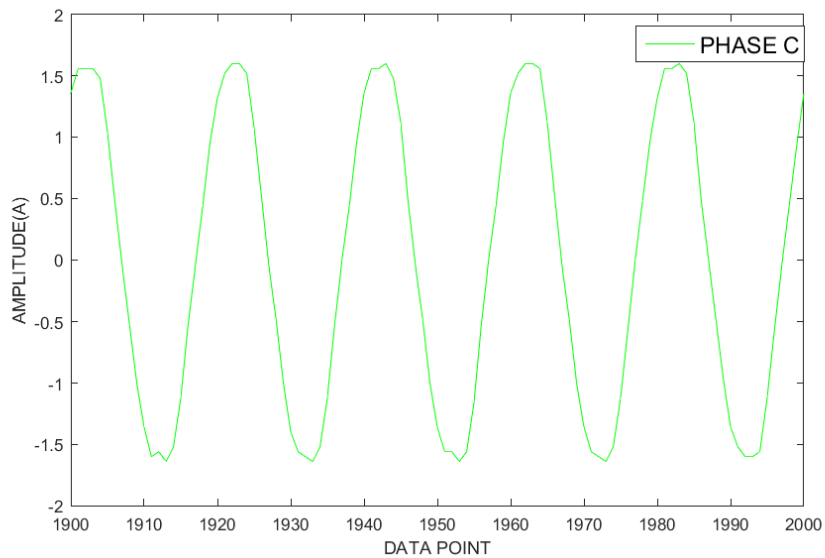
Les figures suivantes représentent les signaux des courants statoriques dans le cas de déséquilibre de tension :



(a)



(b)



(c)

Figure 37 : Les signaux des phase statoriques dans le cas de déséquilibre de tension

On remarque l'augmentation des amplitudes des deux courants statoriques B et C, par rapport au fonctionnement normal. Cette augmentation provoque les problèmes d'échauffement et de vieillissement déjà discuté [3].

III.3.2.2 Représentation des courants statorique (Park et la modélisation 3D)

Les figures suivantes représentent les résultats obtenus dans le cas de fonctionnement avec ce déséquilibre de tension, on remarque clairement, que le tracé est devenu elliptique par rapport au tracé circulaire du fonctionnement sain, à cause de la séquence négative générée par le déséquilibre. Donc ce tracé nous indique l'existence d'une asymétrie au niveau de stator. On remarque aussi la similarité entre les deux résultats obtenus des deux représentations.

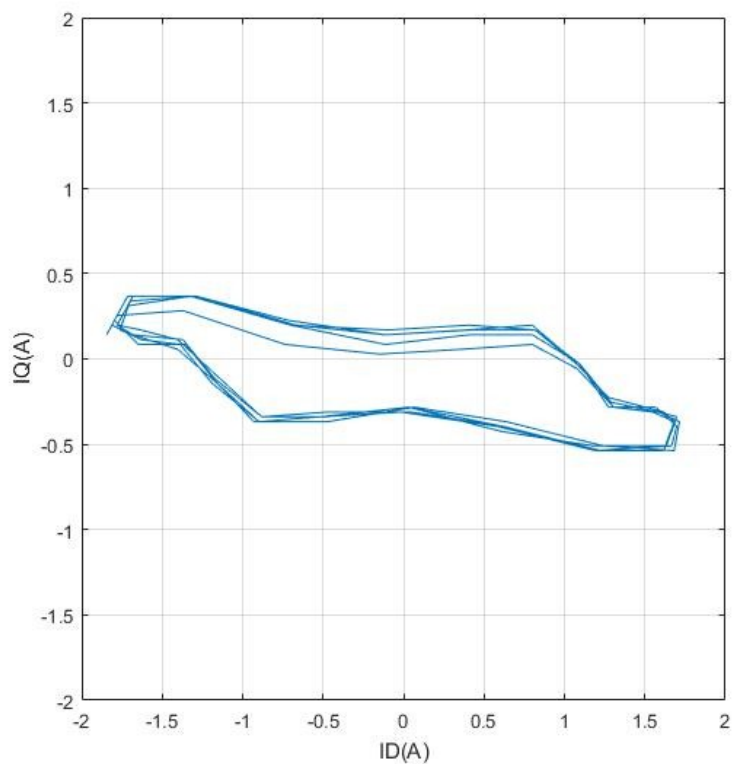


Figure 38 : Tracé du vecteur de Park avec déséquilibre de tension (diminution de 40V dans une seul phase)

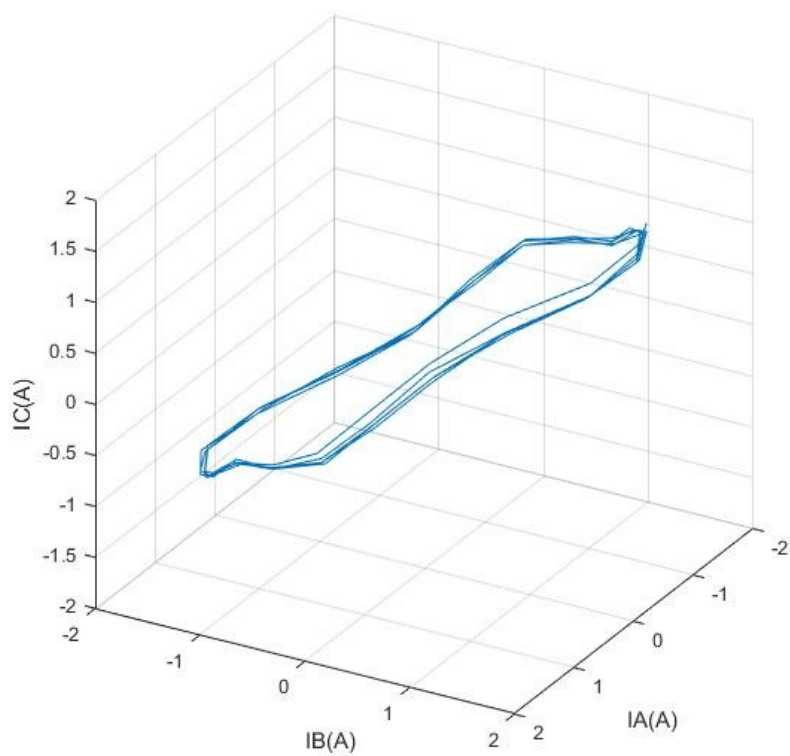


Figure 39 : Tracé du modèle 3D des courants avec déséquilibre de tension (diminution de 40V dans une seul phase)

III.4 Conclusion :

Dans ce chapitre, une analyse des données expérimentale des courants statorique d'une machine asynchrone triphasée dans son fonctionnement sain et défectueux a été effectuée. L'analyse des courants statoriques à travers la représentation des courants par le vecteur de Park et le modèle 3D des courants statoriques, nous à donner un tracé n'est pas parfaitement circulaire, mais il donne l'information que la machine est à l'état normal de fonctionnement.

Par la suite, une deuxième analyse des donnés de courants mais en présence de déséquilibre de tension d'alimentationa été aussi réalisé. On a remarqué facilement le changement des résultats obtenus par rapport à l'état sain, la forme du tracé et devenue presque elliptique, ce qui indique l'existence d'une anomalie.

Conclusion générale

Conclusion générale

Les moteurs asynchrones sont utilisés dans plusieurs domaines industriels, donc ces machines demandent, un diagnostic fiable de leurs différents types de défauts, et ce pour garantir une continuité et une efficacité de ces machines.

Ce travail représente une approche de diagnostic de la machine asynchrone triphasée à cage. Il consiste à l'état de l'art de la machine asynchrone et les méthodes de diagnostic. En suite l'analyse des mesures expérimentales dans les deux cas : sain et défaillant (déséquilibre de tension d'alimentation) par la méthode de vecteur de Park et la représentation des trois phases des courants. L'objectif est donc de mettre en application les méthodes employées pour analysé des données de mesures de courant de la machine asynchrone.

Dans le premier chapitre nous avons présenté une synthèse bibliographique concernant les machines asynchrones. Nous avons présenté l'état de l'art de la machine, son principe de fonctionnement, les éléments de constitution et les différents défauts électriques et/ou mécaniques.

Le deuxième chapitre, a été réservé à la présentation des méthodes de diagnostic des défauts des moteurs asynchrones.

Concernons le troisième chapitre, des mesures expérimentales des courants statoriques dans l'état sain ont été analysé, le tracé presque circulaire obtenu, indique l'état sain de fonctionnement de la machine. Par la suite, la machine asynchrone a été alimentée par des tensions non symétriques (diminution de la tension d'une phase). Cette anomalie a été détectée par le tracé elliptique obtenu dans cette condition d'alimentation. Donc, ces techniques peuvent être utilisées comme un outil de surveillance des machines asynchrones triphasée, lors de l'existence des déséquilibres de tension d'alimentation.

Pour améliorer la fiabilité du diagnostic des défaillances des machines asynchrones et pour réduire l'incertitude, il est possible d'utiliser avec les techniques utilisées dans ce travail, d'autres méthodes et techniques de diagnostic (analyse spectrale des courants statoriques, EPVA, analyse vibratoire, etc...).

Bibliographie

Bibliographie

- [1] R. BOUSSEKSOU, *Modelisation analytique des machine Asynchrone - application au diagnostic*. 2007.
- [2] M. Hichem, *SURVEILLANCE ET DETECTION DE DEFAUTS*. 2009.
- [3] B. Nadir, *Contribution au diagnostic de la machine asynchrone triphasé en présence de défaut*. 2017.
- [4] Site web: wordpress.com.
- [5] Site web : «energieplus-lesite.be,». [Accès le Mars 2020].
- [6] B. ABDELAZIZ, *Diagnostic des machines asynchrones*. 2018.
- [7] K. SAMIR, *Contribution a la surveillance et au diagnostic des Défauts De la Machine Asynchrone*. 2016.
- [8] G. DIDIER, *Modélisation et diagnostic de la machine asynchrone en presence de defaillances*. 2004.
- [9] Allianz, "Présentation des avaries. Machines électriques tournantes" Cahier des Préventions.CP2., 1988.
- [10] T. .. D. .. V. e. D. .. M, *Transactions on Industry Applications*, 1995.
- [11] Site web: <https://ieeexplore.ieee.org/document/8613542/authors#authors>.
- [12] Site web: https://www.researchgate.net/publication/329773764_Detection_De_Defaut_Statorique_Par_Suivi_Parametrique_D'un_Moteur_Synchrone_A_Aimants_Permanents.
- [13] Site web: easa.com/resources/failures-in-three-phase-stator-windings . [Accès le Avril 2020].
- [14] *detection du desequilibre de tension d'alimentation, en vue de diagnostic de la machine asynchrone, african review of science, tchnology and developement*. 2016.
- [15] A. m. t. Jawad Faiz, *derating of three-phase squirrel-cage induction motor under broken bars fault, 1th international conference on applied electromagnetic*. 2013.
- [16] Site web: electricalapparatus.net/detecting-broken-rotor-bars-prevents-catastrophic-damage/ (. [Accès le Mars 2020].
- [17] A. Bouzida, *Application de la technique des ondelettes au diagnostic de défauts de la machine asynchrone à rotor à cage, Revue des Energies Renouvelables,*. 2014.
- [18] K. Djallel, *Elaboration d'un Système Intelligent de Surveillance et de Diagnostic Automatique en Temps Réel des Défaillances des moteurs a induction*. 2007.
- [19] *Institut d'Electrotechnique, U.S.T.Oran, B.P. 1505, El M'naouar, Oran, Algérie*.
- [20] R. Khaled, *CONTRIBUTION AU DIAGNOSTIC ET A LA DETECTION DES DEFAUTS D'UN GENERATEUR*

ASYNCHRONE A CAGE , memoire de master, Annaba : université BADJI Mokhtar, 2018.

[21] Site web: https://www.researchgate.net/publication/277015620_Thermographie_Infrarouge.

[22] Site web: <https://www.m-c-i.fr/#la-thermographie-infrarouge-mecanique>.

[23] Site web: https://fr.wikipedia.org/wiki/Méthode_expérimentale.

[24] Benbouzid M., *A Review of Induction Motors Signature Analysis as a Medium for Faults Detection* IEEE transactions on industrial electronics, vol.47, NO. 5, October 2000.

Annexe

Annexe

Caractéristiques de la machine asynchrone analysée :

| Caractéristiques | Valeurs |
|---------------------------|----------------|
| Puissance nominale | 270 W |
| Nombre de paires de pôles | 2 |
| Vitesse nominale | 1400 tr/min |
| Fréquence | 50Hz |
| Tension d'entrée nominale | 220/380 V |
| Courant de ligne | 1,43 A |