



Université ABBES LAGHROUR Khenchela
Faculté des Sciences et de la Technologie
Département de Génie Industriel
جامعة عباس لغرور خنشلة
كلية العلوم والتكنولوجيا
قسم الهندسة الصناعية



N° Série :

Mémoire de fin d'étude
Pour l'obtention du diplôme de Master
Filière : Electrotechnique
Spécialité : Commandes Electriques

Présenté par
Abdi anouar
&
Kassah ibrahim

THEME

Diagnostic des défauts de la machine asynchrone par les réseaux de neurones

Soutenu le :

devant la commission d'examen composée de :

Président: Dr. Rezzak Daoud

MCA

à L'Université Abbes Laghrou de Khenchela

Président

Dr. BESSAM Besma

MCA

à L'Université Abbes Laghrou de Khenchela

Encadrant

Examineur: Dr. Boumaaref

MCA

à L'Université Abbes Laghrou de Khenchela

Examineur

Abdelaali

Promotion 2022/2023

Remerciements

Notre premier remerciement va à Allah, le Très-Haut.

Nous tenions également à exprimer notre profonde gratitude

envers notre encadreur, "BESSMA BESSAM",

Pour sa gentillesse, sa disponibilité et sa contribution générale à

l'élaboration

De ce travail.

Nous souhaitons également exprimer notre sincère gratitude

envers nos enseignants de la faculté de la technologie.

Enfin, nous adressons nos plus sincères remerciements à tous nos

proches et amis qui nous ont toujours soutenu et encouragé pour

la réalisation de ce mémoire

Dédicace

Je dédie ce modeste travail

A ma mère avec toute mon affection.

A mon père avec toute ma reconnaissance.

A mes frères et mes sœurs.

A ma famille.

A tous mes amis.

Abdi anouar

Je dédie ce modeste travail

A ma mère avec toute mon affection.

A mon père avec toute ma reconnaissance.

A mes frères et mes sœurs.

A ma famille.

A tous mes amis.

Kassah ibrahim

Le résumé :

La thèse se concentre sur le diagnostic de mouvement et l'extraction des défauts majeurs, ainsi que l'analyse à l'aide de techniques avancées telles que les réseaux neuronaux. La recherche vise à simuler le comportement du moteur asynchrone dans son état naturel et en cas de rupture des barres du rotor. Les caractéristiques électriques et mécaniques sont extraites pour l'analyse à l'aide de réseaux neuronaux. Ensuite, ces caractéristiques sont analysées afin de pouvoir les intégrer dans des paquets d'ondes, ce qui contribue à approfondir l'étude du moteur et à comprendre les changements majeurs qui y surviennent. L'énergie présente dans le moteur sera également analysée pour évaluer l'impact de la rupture des barres sur celui-ci.

Mots clés : Machine asynchrone, défaut rotorique, cassure de barres

, diagnostic, FFT, RNA

Abstract:

The thesis focuses on motion diagnosis and extraction of major faults, as well as analysis using advanced techniques such as neural networks. The research aims to simulate the behavior of the asynchronous motor in its natural state and when there is a breakage in the rotor bars. The electrical and mechanical properties are extracted for analysis using neural networks. These properties are then analyzed to be able to integrate them into wave packets, which contributes to deepening the study of the motor and understanding the major changes that occur in it. The energy present in the motor will also be analyzed to evaluate the impact of the bar breakage on it.

Keywords: Asynchronous machine, rotor failure, broken rotor bars,

, diagnosis, FFT, RNA

الملخص

تركز الأطروحة على التشخيص الحركي واستخراج العيوب الرئيسية، وكذلك التحليل باستخدام تقنيات متقدمة مثل الشبكات العصبية. يهدف البحث إلى محاكاة سلوك المحرك غير المتزامن في حالته الطبيعية وعند حدوث كسر في قضبان الدوار. يتم استخراج الخواص الكهربائية والميكانيكية المختلفة للتحليل باستخدام الشبكات العصبية. ثم يتم تحليل هذه الخواص حتى

Résumé

تتمكن من دمجها في حزم الموجات، مما يسهم في تعميق دراسة المحرك وفهم أهم التغييرات فيه. وسيتم أيضًا تحليل الطاقة المتواجدة في المحرك لتقييم تأثير كسر القضبان عليه.

الكلمات المفتاحية: الآلة الغير متزامنة, كسر أعمدة الدوار , الشبكات العصبية FFT

Liste des figures

Figure I.1 : Éléments constituant une machine asynchrone à cage d'écureuil	04
Figure I. 2 : Enroulements statoriques d'une phase d'une machine à 4 pôles	05
Figure I. 3 : Stator d'une machine asynchrone	05
Figure I. 4 : Rotor à cage d'écureuil	06
Figure I. 5: Modèle par dipôles élémentaires du rotor en défaut	08
Figure I. 6 : Premier modèle de la machine avec défauts rotoriques	11
Figure I. 7 : Modèle de défaut rotorique de la machine asynchrone.	12
Figure I. 8 : Causes internes de défauts de la machine asynchrone triphasée à cage	13
Figure I. 9 : Causes-externes-de-défauts-de-la-machine-asynchrone-triphasée-a-cage-	14
Figure I.10 : Répartition des défauts	15
Figure I 11: Représentation des différents défauts statoriques possible	16
Figure I .12: Exemples de dégâts dus au défaut de court-circuit statorique d'un moteur asynchrone	16
Figure I.13 : Représentation de l'excentricité statique et dynamique dans la machine asynchrone	18
Figure I .14 : Dimension du roulement à bille	19
Figure I.15 : Mesures vibratoires sur la machine asynchrone	22
Figure II .1 : Un neurone avec son arborisation dendritique	27
Figure II .2 : Représentation schématique d'un neurone biologique	27
Figure II .3 : Mise en correspondance neurone biologique / neurone artificiel	28
Figure II .4 : Représentation d'un neurone artificiel	29

Figure II .5 : Différents types de fonction de transfert pour le neurone artificiel	29
Figure II .6 : Architecture d'un réseau de neurone	31
Figure II .7 : Réseau non bouclé	32
Figure II .8 : Réseau bouclé	33
Figure II .9 : Structure des réseaux MLP	35
Figure II .10 : Organigramme de détection de défaut par le RNA	37
Figure II .11 : Représentation temporelle vers fréquentielle	39
FigureIII .1: Courants statorique de la machine	41
FigureIII .2: Vitesse de rotation de la machine	41
Figure III.3: Couple électromagnétique de la machine	42
Figure III.4 : Courants statorique de la machine avec défaut de rupture de barres au rotor.	43
Figure III.5 : Vitesse de rotation de la machine avec défaut des barres cassées au rotor	43
Figure III.6 : Couple électromagnétique de la machine avec défaut des barres cassées au rotor	43
Figure III.7 : Courant statorique de la machine avec défaut de rupture de barres au rotor.	45
Figure III.8 : Vitesse de rotation de la machine avec défaut des barres cassées au rotor	45
Figure III.9 : Couple électromagnétique de la machine avec défaut des barres cassées au rotor	45
Figure III.10 : Courant statorique de la machine avec défaut de rupture de barres au rotor.	47
Figure III.11 : Vitesse de rotation de la machine avec défaut des barres cassées au rotor	47
Figure III.12 : Couple électromagnétique de la machine avec défaut des barres cassées au rotor	48
Figure III.13 : Spectre du courant statorique pour une machine en régime sain et avec défaut rotorique.	49

Liste des figures

Figure III.14 Les entrées de l'apprentissage du RN_{rb}	52
Figure III.15 : <i>Performance du RN_{rb}</i>	52
Figure III.16 : Sorties et erreurs de l'apprentissage du réseau RN_{rb}	53
Figure III.17 <i>Test des sorties du RN_{rb}</i>	54

Liste de tableau

Tableau III.1: Fréquences calculées et déduites, en cas d'un défaut d'une seule barre cassé 50

Tableau III.2: Fréquences calculées et déduites, en cas d'un défaut de deux barres cassées 50

Symboles et notations

f : est la fréquence d'alimentation

p : représente le nombre de paire de pôles.

G : Glissement

θ : angle repérant le défaut

U_{dqs} : Composante d et q des tensions statoriques

i_{dqs} : Composante d et q des courant statorique

i_{dqr} : Composante d et q des courant rotorique

Φ_{dqs} :Composante d et q du flux statorique

Φ_{dqr} :Composante d et q du flux rotorique

θ_0 :Angle repérant la phase en défaut type rupture de barre

$Q(\theta_0)$:Matrice situant l'angle de la barre cassée au rotor

P : Nombre de paires de pôles

ω : Vitesse angulaire électrique du rotor

n_0 :Pourcentage de barres cassées

f_s : Fréquence d'alimentation statorique

ψ_s : l'induction magnétique

F_{mm} : la force magnétomotrice

α : L'angle de phase du composant fondamental du courant d'alimentation

MCSA : Motors Current Signature Analysis.

Symboles et notations

RNA : Les réseaux de neurones artificiels

MLP : Perceptron multi couches

ZCT : passage par zéro

Sommaire

Introduction générale.....01

Chapitre I

Machine asynchrone : description, modélisation et défaillances

I.1.INTRODUCTION.....03

I.2 Présentation du système d'étude.....03

 I.2.1 Constitution des machines asynchrone.....03

 I.2.1.1.Stator.....04

 I.2.1.2 Le rotor.....06

 I.2.1.3 Les paliers.....06

 I.2.1.4 Organes mécaniques.....07

 I.2.2 Principe de fonctionnement de la machine asynchrone.....07

I.3.Modélisation de la machine asynchrone.....08

 I.3.1 Modèle de défaut rotorique de la machine asynchrone.....08

 I.3.2Modélisation du défaut de rupture des barres.....09

 I.3.3 Schéma équivalent.....11

 I.3.4 Représentation d'état du modèle de défaut rotorique.....12

I.4 Défaillances dans la machine asynchrone.....13

 I.4 .1 Cause des défauts.....13

 I.4 .2 Les principaux défauts.....14

 I.4.2.1 -Défaits statoriques.....15

Sommaire

I.4.2.2 Défauts rotorique.....	16
I.4.2.2.1 Cassure des barres.....	16
I.4.2.2 .2 Défauts d'excentricité.....	17
I.4.2.2 .3 Défauts de roulement.....	18
I.5 Principe du diagnostic des défauts dans la machine asynchrone.....	19
I.6 Méthode de diagnostic et de détection des défauts dans la machine Asynchrone.....	20
I.6.1 Méthodes du diagnostic à base du modèle.....	20
I.6.2 Méthodes sans modèle.....	21
I.6.2.1 Diagnostic par analyse des vibrations mécaniques.....	21
I.6.2.2 Diagnostic par mesure du flux magnétique axial de fuite.....	22
I.6.2.3 Diagnostic par l'analyse des tensions statorique induites.....	22
I.6.2.4 Diagnostic par mesure du couple électromagnétique.....	22
I.6.2.5 Diagnostic par mesure de la puissance instantanée.....	23
I.6.2.6 Diagnostic par analyse du courant statorique.....	23
I.8 Conclusion.....	23

Chapitre II

Théorie de réseaux de neurones et leurs applications

II.1 Introduction.....	24
II.2 Historique	24
II.3 Les réseaux de neurones artificiels.....	25
II.3.1 Définition RNA.....	26
II .3.2 Les Neurones biologiques	26
II .3.3 Les neurones artificiels	27

Sommaire

II .3.4 Fonction d'activation du neurone formel	29
II .3.5 Présentation des réseaux de neurones artificiels	30
II .3.6 Avantages et Inconvénients des réseaux de neurones	31
II .3.6.1 Avantages des réseaux de neurones	31
II .3.6.2 Inconvénients des réseaux de neurones.....	32
II .3.7 Architecture des réseaux de neurones	32
II .3.7.1 Les réseaux non bouclés.	32
II .3.7.2 Réseaux bouclés	33
II .4 Application des RNA au diagnostic de la machine asynchrone	33
II .4.1 Choix des variables d'entrées	33
II .4.2 Choix d'architecture du réseau de Un réseau de neurones artificiels	34
II .4.3 Apprentissage dans les réseaux de neurones	35
II.4.4. 'organigramme de détection de défaut.	36
II .5 Diagnostic par utilisation des techniques d'intelligence artificielle (AI)	37
II .6 Techniques de traitement de signal utilisé dans le diagnostic	38
II .6.1 Transformée de Fourier rapide (FFT)	38
II .7 Conclusion	39

Chapitre III

Résultats et simulation

III.1 Introduction	40
III.2 Résultat de la simulation du modèle d-q	40
III.2.1 Cas d'une machine saine.	40
III.2.2 L'état de la machine si une barre est cassée	42

Sommaire

III.2.3 État de la machine si deux barres distinctes sont cassées	44
III.2.4 État de la machine si deux barres sont cassées	46
III.3 Analyse du courant statorique par la FFT	48
III.4 Diagnostic des défauts rotorique par réseau de neurones	51
III.4.1 Choix des variables d'entrées de RN_{rb}	51
III.4.2 Acquisition des données (base d'apprentissage).	51
III. 4.2.1 Résultats de l'apprentissage.	52
III. 4.2.2 Tests du réseau RN_{rb}	53
III.5 CONCLUSION	54
Conclusion générale	56
Annexe	57
Bibliographie	58

Introduction générale

Introduction générale

Ces dernières années, le secteur industriel a connu un développement important, marqué par l'utilisation croissante de moteurs électriques dans les usines. L'un des objectifs clés de ce développement est d'accroître la productivité et la rentabilité. C'est pourquoi des moteurs asynchrones ont été mis en place en raison de leur puissance électromagnétique et mécanique, ainsi que de leur coût de maintenance réduit [KA09].

D'autre part, bien que le moteur asynchrone présente toutes ces caractéristiques, il est limité dans son utilisation en raison de la difficulté de le contrôler dans les systèmes à vitesse limitée. Cependant, grâce au développement de l'électronique de puissance, le moteur asynchrone est devenu capable de contrôler le couple, la vitesse et la rotation. De plus, il a pu être appliqué dans divers domaines tels que les chemins de fer, l'aviation et l'agriculture.

Malgré le fait que le moteur asynchrone soit considéré comme le plus puissant des moteurs électriques, il peut rencontrer des pannes dans ses parties fixes et tournantes en raison des conditions électriques et mécaniques. Ces pannes entraînent des pertes importantes et des coûts économiques. C'est pourquoi les ingénieurs ont développé une série de techniques de surveillance [KZ17].

Afin de garantir la sécurité et le bon fonctionnement du moteur, il est impératif d'effectuer ces techniques de surveillance pour détecter les défauts le plus tôt possible. Malgré l'existence de ces techniques, de nombreux dysfonctionnements peuvent survenir dans les pièces internes ou pendant le fonctionnement. C'est pourquoi les chercheurs ont développé des techniques de diagnostic visant à déterminer les causes et l'emplacement de ces dysfonctionnements, ainsi qu'à y remédier. Cette situation a conduit les ingénieurs et les chercheurs à mettre au point un ensemble de techniques de surveillance et de diagnostic pour assurer le bon fonctionnement de ces moteurs. Ces systèmes de surveillance reposent sur l'utilisation d'appareils de mesure tels que des ampèremètres et des voltmètres, ainsi que sur des programmes de simulation MATLAB pour les diagnostics. L'objectif de ces techniques est d'étudier et de comprendre les caractéristiques du moteur lorsqu'un dysfonctionnement de ses composants internes se produit, afin de diagnostiquer correctement les problèmes et de trouver les meilleures solutions pour les réparer [KAD16].

Ce travail est divisé en trois chapitres :

Le premier chapitre comprendra une description générale du moteur asynchrone, avec un examen des différentes pannes et la présentation d'un modèle mathématique du moteur en cas de rupture de la barre du rotor.

Le deuxième chapitre sera consacré à la présentation des réseaux neuronaux et à leur utilisation pour diagnostiquer les erreurs dans le moteur asynchrone.

Quant au troisième chapitre, nous construirons un modèle de programme en utilisant les équations mentionnées dans le premier chapitre pour extraire les différentes caractéristiques électriques et mécaniques, puis les analyser à l'aide de la FFT (transformée de Fourier) et les diagnostiquer à l'aide du programme des réseaux neuronaux afin de comprendre le comportement du moteur en cas de rupture de la barre du rotor.

Enfin, le travail se conclura par un chapitre de conclusion qui résumera les résultats obtenus et présentera les recommandations et les commentaires sur la recherche qui a été menée.

Chapitre I :

Machine

*Asynchrone: description, modélisation
et défaillances*

I.1 Introduction

À l'heure actuelle, les machines asynchrones représentent l'outil de conversion électromécanique le plus couramment utilisé dans l'industrie en raison de plusieurs avantages qu'elles offrent. Ces avantages incluent la puissance, la masse, la durabilité, la facilité de maintenance et d'utilisation, ainsi qu'un coût réduit, entre autres. Dans ce chapitre, nous présenterons cette machine pour l'étudier, puis nous modéliserons. Enfin nous identifierons les différents défauts et leurs causes.

I.2 Présentation du système d'étude

I.2.1 Constitution des machines asynchrone

La machine asynchrone, également connue sous le nom de moteur à induction, est composée d'un stator fixe et d'un rotor mobile qui tourne autour de l'axe de symétrie de la machine. Les parties statoriques et rotoriques sont fabriquées à partir de tôles d'acier au silicium. Sur la face interne du stator, des encoches régulièrement réparties abritent trois enroulements identiques comportant P paires de pôles. Les axes de ces enroulements sont espacés entre eux d'un angle électrique égal à $2\pi/3$. Les phases du stator sont alimentées par un réseau triphasé fournissant des tensions sinusoïdales à fréquence et amplitude constantes. Le rotor est monté sur un axe de rotation. Selon que les enroulements du rotor sont accessibles de l'extérieur ou qu'ils sont fermés en permanence sur eux-mêmes, on distingue deux types de rotor [NOU21] :

Bobiné : un système d'enroulements triphasé, raccordés en étoile à trois bagues sur les quelles frottent trois balais fixes accessibles par la plaque à bornes et mis en court-circuit pendant les régimes permanents.

A cage d'écureuil : une cage conductrice intégrée aux tôles ferromagnétiques. Dans ce chapitre, nous allons considérer le cas d'une machine asynchrone à cage d'écureuil [NOU21].

Comme la montre les figures suivantes

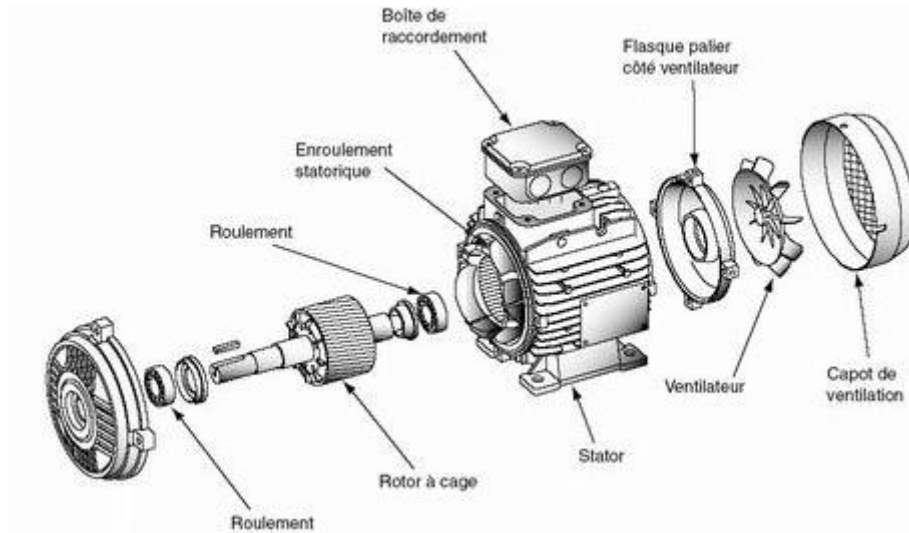


Figure I.1 : Éléments constituant une machine asynchrone [NOU21].

I.2.1.1. Stator

Le stator est la partie fixe du moteur. Il est composé d'un anneau en alliage léger entouré de fines feuilles d'acier au silicium d'environ 0,5 mm d'épaisseur. Les tôles sont isolées les unes des autres par oxydation ou vernis isolant. Cette stratification du circuit magnétique, appelée "laminage", réduit les pertes par hystérésis et les courants de Foucault. La tôle comporte des encoches où sont placés les enroulements statoriques chargés de générer le champ tournant (trois enroulements dans le cas d'un moteur triphasé). Chaque fichier est composé de plusieurs fichiers. Le mode de connexion de ces bobines détermine le nombre de paires de pôles du moteur, et donc sa vitesse de rotation [NOU21].

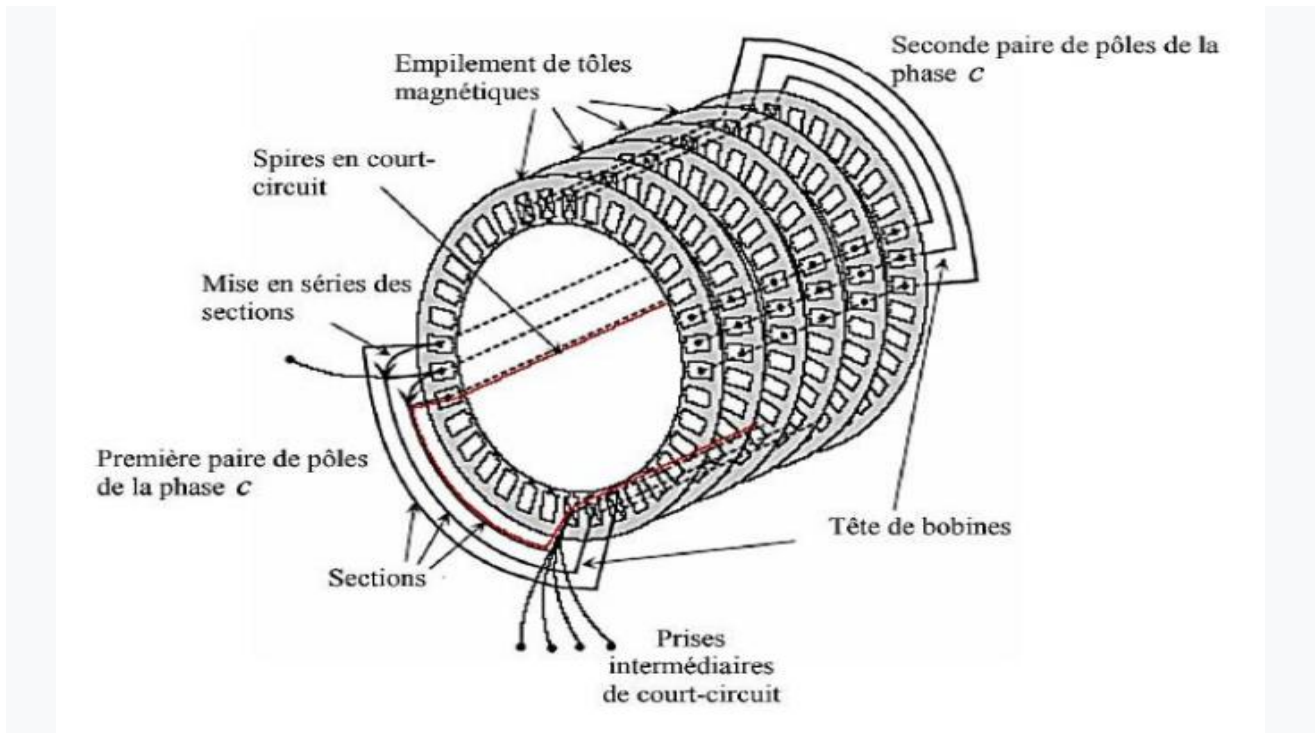


Figure I. 2 : Enroulements statoriques d'une phase d'une machine à 4 pôles [NOU21].

Le bobinage statorique est divisé en deux parties : les conducteurs d'encoches et les têtes de bobines. Les conducteurs d'encoches sont responsables de la création du champ magnétique dans l'entrefer, ce qui permet la conversion électromagnétique. Les têtes de bobines, quant à elles, assurent la fermeture des courants en organisant leur circulation. L'objectif est d'obtenir une répartition aussi sinusoïdale que possible des forces magnétomotrices et du flux dans l'entrefer, afin de limiter les oscillations du couple électromagnétique [NOU21].



Figure I. 3 : Stator d'une machine asynchrone [NOU21].

I.2.1.2 Le rotor

Le rotor est l'élément mobile du moteur. Tout comme le circuit magnétique du stator, il est composé d'un empilage de tôles minces isolées les unes des autres, formant un cylindre fixé à l'arbre du moteur. Cette partie du moteur permet de distinguer deux types de moteurs asynchrones : ceux dont le rotor est dit "à cage" et ceux dont le rotor est bobiné et doté de bagues.

Dans le cas des rotors à cage d'écureuil, les encoches peuvent être semi-ouvertes ou fermées. Les enroulements sont constitués de barres qui sont court-circuitées par un anneau terminal placé à chaque extrémité du rotor. Les conducteurs sont généralement réalisés en coulant un alliage d'aluminium ou en utilisant des barres massives de cuivre, et parfois des barres préformées en laiton qui sont insérées et fixées dans les tôles du rotor. Il n'y a généralement pas, ou très peu, d'isolation entre les barres rotoriques et les tôles magnétiques. Leur résistance est suffisamment faible pour que les courants ne circulent pas dans les tôles, sauf en cas de rupture d'une barre [NOU21].

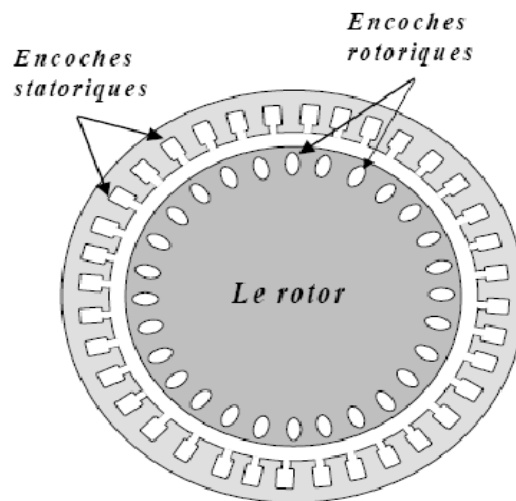


Figure I. 4 : Rotor à cage d'écureuil [NOU21]

I.2.1.3 Les paliers

Les paliers assurent la rotation de l'arbre du rotor et se composent de flasques et de roulements à billes qui sont montés à chaud sur l'arbre. Les flasques, fabriquées en fonte, sont fixées sur le carter statorique à l'aide de boulons ou de tiges de serrage. [KAD19]

I.2.1.4 Organes mécaniques

La carcasse remplit une fonction de support en tant qu'enveloppe et assure la protection contre l'environnement extérieur. L'arbre est un élément de transmission qui comprend une partie centrale servant de support au corps du rotor, ainsi qu'une extrémité sur laquelle est fixé un demi-accouplement. Il est généralement fabriqué en acier moulé ou forgé [OND06].

I.2.2 Principe de fonctionnement de la machine asynchrone

Le principe de fonctionnement du moteur asynchrone repose entièrement sur

Loi de l'induction ; les moteurs asynchrones sont considérés comme des transformateurs de champ
Le stator est équivalent à l'enroulement primaire et le rotor est équivalent à la rotation magnétique
L'enroulement secondaire est en court-circuit.

Cette opération est basée sur le principe de l'interaction électromagnétique le champ magnétique tournant généré par le courant triphasé fourni par le réseau aux bobinages du stator, et Le courant induit dans l'enroulement du rotor lorsque les conducteurs de l'enroulement du rotor sont coupés
Coupé par un champ magnétique tournant.

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

$$n_1 = \frac{f}{p} \quad (I-1)$$

Où f : est la fréquence d'alimentation

p : représente le nombre de paire de pôles.

L'interaction électromagnétique des deux parties de la machine n'est possible que lorsque la vitesse du champ tournant (n_1) diffère de celle du rotor (n), c'est-à-dire lorsque $n \neq n_1$, car dans le cas contraire, c'est à dire lorsque $1 = n_1$, le champ serait immobile par rapport au rotor et aucun courant ne serait induit dans l'enroulement rotorique.

Le rapport $g = \frac{n_1 - n}{n_1}$ est appelé glissement de la machine asynchrone [HAK14].

I.3. Modélisation de la machine asynchrone

I.3.1 Modèle de défaut rotorique de la machine asynchrone

Dans le cadre du diagnostic, le développement des modèles est d'abord influencé par la possibilité d'un échec. [ABE99] ont proposé une modélisation du rotor à plusieurs mailles du moteur asynchrone à cage d'écureuil implique Paramètres électriques des tiges et des anneaux. Outre leur complexité, les inconvénients de ces modèles nécessitent-ils une compréhension approfondie des paramètres électriques machine. Dans le cas des méthodes paramétriques, ces modèles ne conviennent pas car un grand nombre de paramètres qui les contrôlent.

Comme dans le cas de la modélisation du court-circuit statoriques, le modèle de défaut rotorique explique le balourd avec le moins de paramètres qui soient l'image du rotor. Il y a un dysfonctionnement avec la machine. Ainsi, ces paramètres permettent de quantifier et de localiser l'échec. [HAK14].

La figure (.5) illustre la modélisation conventionnelle du rotor par dipôles élémentaires avec une barre cassée

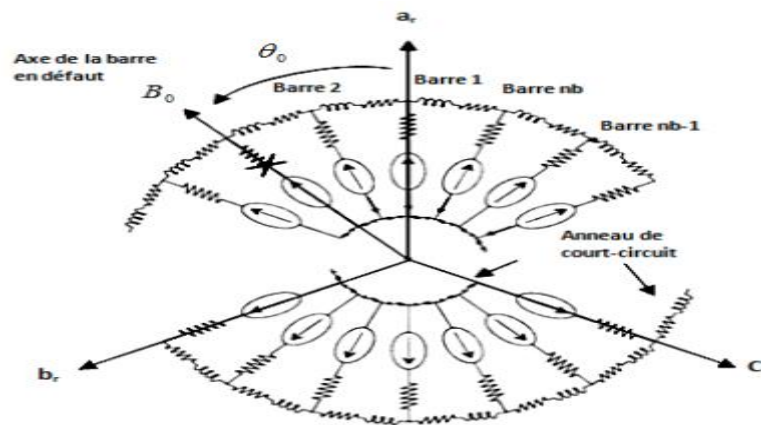


Figure I. 5: Modèle par dipôles élémentaires du rotor en défaut [ABE 99].

En effectuant le même raisonnement que dans le cas du défaut stator, on peut supposer que un rotor défaillant équivaut à un rotor sain auquel on ajoute un bobinage parcouru en plus par le courant fictif i_0 Je par défaut (retenir le courant barre d'erreur). Par conséquent, le modèle de mode

différentiel à deux paramètres Permet la détection et la localisation des défauts de rupture au niveau des barres cassées rotor.

- L'angle électrique noté θ_0 repérant le "bobinage" en défaut par rapport à l'axe d (axe de l'encoche rotorique dont le courant induit est en phase avec la première phase statorique). Ce paramètre permet la localisation de la barre en défaut.
- Le rapport de défaut noté n_0 égale au rapport du nombre de spires en défaut divisé par le nombre total de spires dans une phase triphasée rotorique fictive sans défaut. Ce paramètre permet de quantifier le déséquilibre et d'obtenir le nombre de barres cassées.

Le nombre de spires au rotor étant fictif, pour un rotor de n_b barres, si on considère une spire rotorique comme étant une maille constituée de deux barres court-circuitées par deux portions d'anneaux, alors le nombre total de spires rotoriques est égal au nombre de barres au rotor.

- Une phase fictive est constituée donc de $\frac{n_b}{3}$ barres. Pour n_{bc} barres cassées sur une phase, l'expression du rapport de défaut n_0 est donnée par [HAK14] :

$$n_0 = \frac{3n_{bc}}{n_b} \quad (\text{I-2})$$

I.3.2 Modélisation du défaut de rupture des barres :

De même que les défauts statoriques, les équations de tension et de flux de la bobine en défaut B_0 exprimées dans le repère biphasé d'axe d et q lié au rotor sont les suivantes:

$$0 = n_0 i_{0+} + \frac{d\phi_0}{dt} \quad (\text{I-3})$$

$$\phi = \frac{2}{3} n_0^2 L_m i_0 + \sqrt{\frac{2}{3}} n_0 L_m [\cos(\theta_0) \sin(\theta_0) (i_{dqs} + i_{dqr})] \quad (\text{I-4})$$

Avec :

$$n_0 = \frac{\text{Nombre de spires fictives en défaut}}{\text{Nombre total de spires fictives sur une phase}}$$

θ : angle repérant le défaut

Le courant i_0 dans le bobinage représentant le défaut est donc à l'origine du champ magnétique H_0 stationnaire par rapport au rotor et dirige selon l'axe θ_0 .

Ce champ magnétique est à l'origine du flux Φ_0 . En projetant i_0 et Φ_0 sur les axes d et q de Park, on leur associe les vecteurs stationnaires [BAC 02]:

$$i_{-dq0} = \begin{bmatrix} \cos(\theta_0) \\ \sin(\theta_0) \end{bmatrix} i_0, \quad \Phi_{-dq0} = \begin{bmatrix} \cos(\theta_0) \\ \sin(\theta_0) \end{bmatrix} \Phi_0 \quad (\text{I-5})$$

Donc, l'ensemble des équations de la machine au stator, au rotor et au bobinage B_0 dans le repère rotorique est donné par:

$$\begin{cases} U_{-dqs} = R_s i_{-dqs} + \frac{d}{dt} \Phi_{-dqs} + P\omega \left(\frac{\pi}{2}\right) \Phi_{-dqs} \\ 0_- = R_r i_{-dqr} + \frac{d}{dt} \Phi_{-dqr} \end{cases} \quad (\text{I-6})$$

$$\begin{cases} \Phi_{-dqs} = l_f i_{dqs} + L_m \left(i_{-dqs} + i_{-dqr} + \sqrt{\frac{2}{3}} n_0 i_{-dq0} \right) \\ \Phi_{-dqr} = L_m (i_{-dqs} + i_{-dqr}) + \sqrt{\frac{2}{3}} n_0 L_m i_{-dq0} \end{cases} \quad (\text{I-7})$$

$$\begin{cases} 0_- = n_0 R_r i_{-dq0} + \frac{d}{dt} \Phi_{-dq0} \\ \Phi_{-dq0} = \sqrt{\frac{2}{3}} n_0 L_m Q(\theta_0) \left(i_{-dqs} + i_{-dqr} + \sqrt{\frac{2}{3}} n_0 i_{-dq0} \right) \end{cases} \quad (\text{I-8})$$

Avec :

$$Q(\theta_0) = \begin{bmatrix} \cos(\theta_0)^2 & \cos(\theta_0)\sin(\theta_0) \\ \cos(\theta_0)\sin(\theta_0) & \sin(\theta_0)^2 \end{bmatrix}$$

Par analogie avec le schéma équivalent du transformateur ramené au primaire, les équations de flux de la machine asynchrone en défaut rotorique deviennent:

$$\begin{cases} \Phi_{-dqs} = \Phi_{-dqf} + \Phi_{-dqm} = L_f i_{-dqs} + l_m (i_{-dqs} + i_{-dqr} - i_{-\sim dq0}) \\ \Phi_{-dqr} = \Phi_{-dqm} = L_m \left((i_{-dqs} + i_{-dqr} - i_{-\sim dq0}) \right) \\ \Phi_{-dq0} = n_0 Q(\theta_0) \Phi_{-dqm} \end{cases} \quad (\text{I-9})$$

Avec :

$$i_{-\sim dq0} = -\sqrt{\frac{2}{3}} n_0 i_{-dq0}, \quad \Phi_{-\sim dq0} = \sqrt{\frac{2}{3}} \Phi_{-dq0}$$

De même, on peut écrire l'équation de tension du bobinage en défaut ramenée au primaire

$$\text{par: } \underline{i}_{\sim dq0} = \frac{2 n_0}{3 R_r} Q(\theta_0) \frac{d}{dt} \phi_{-dqm} = R_0^{-1} \frac{d\phi_{-dqm}}{dt} \quad (\text{I-10})$$

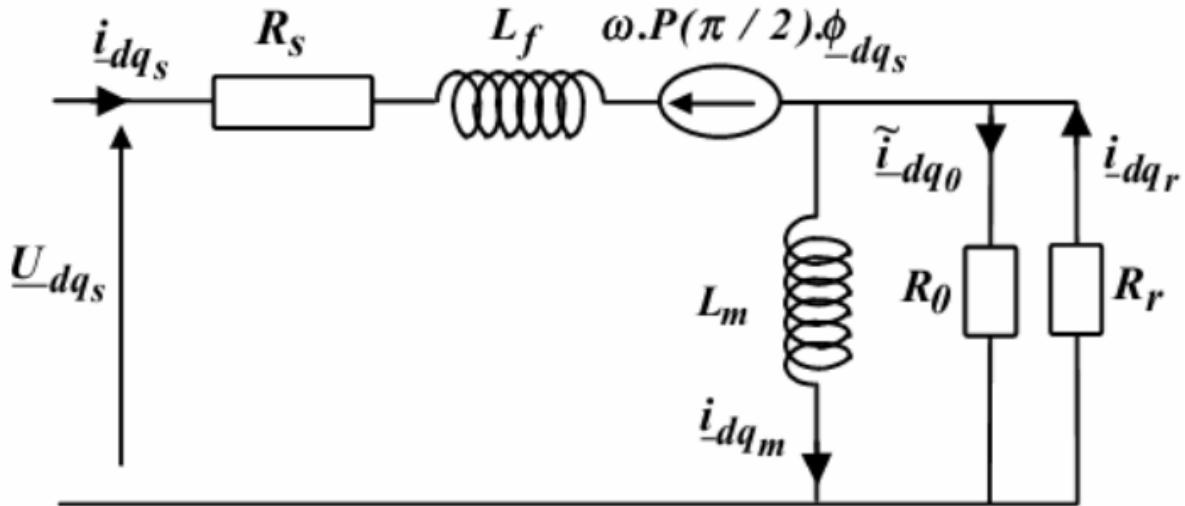


Figure I. 6 : Premier modèle de la machine avec défauts rotoriques [BAC 02].

La figure (6) représente le schéma équivalent de la machine asynchrone en défaut de rupture de barres dans le repère de Park lié au rotor.

I.3.3 Schéma équivalent

D'après l'équation (1.8), la bobine B_0 repères en tant le défaut se ramène à un simple quadripôle résistif mis en parallèle avec l'inductance magnétisante et la résistance rotorique. Dans le repère de Park, la mise en équation d'état d'un tel système reste complexe; il s'avère plus judicieux d'établir le schéma équivalent de la machine avec résistance rotorique et résistance de défaut totalisé au rotor. Ainsi, la résistance équivalente R_{eq} est la mise en parallèle de la résistance rotorique R_r la résistance de défaut R_0 . L'expression de la matrice résistance équivalente au rotor est alors obtenue comme suit [BAC 02]:

$$\begin{aligned} R_{eq}^{-1} &= R_r^{-1} + R_0^{-1} \\ &= R^{-1} + \frac{2}{3} n_0 + R_r^{-1} Q(\theta_0) \end{aligned} \quad (\text{I-11})$$

En inversant pour obtenir l'expression de la matrice résistance équivalente:

$$[R_{eq}] = [R_r] + [R_{défaut}] \quad (\text{I-12})$$

$$= [R_r] - \frac{\alpha}{1 - \alpha} Q(\theta_0) [R_r]$$

Avec :

$$[R_r] = R_r \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ 0 & 1 \end{bmatrix}$$

$$\alpha = \frac{2}{3} n_0$$

$$Q(\theta_0) = \begin{bmatrix} \cos(\theta_0)^2 & \cos(\theta_0)\sin(\theta_0) \\ \cos(\theta_0)\sin(\theta_0) & \sin(\theta_0)^2 \end{bmatrix}$$

La figure (1.7) représente le schéma électrique équivalent de la machine asynchrone avec défaut rotorique, les fuites ramenées au stator. La rupture de barre au rotor est représentée par la résistance équivalente au rotor qui ce dernier est la mise en série de la résistance saine R_r et d'une matrice résistance de défaut $R_{défaut}$.

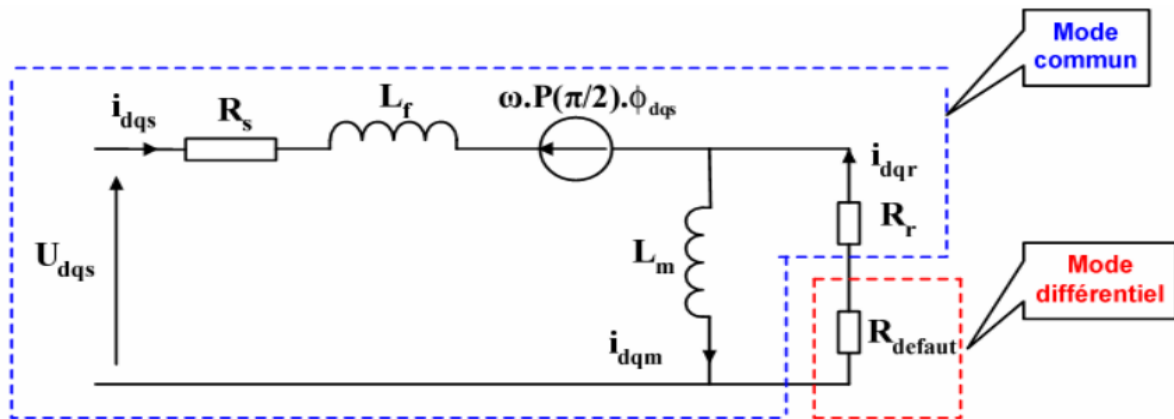


Figure I. 7 : Modèle de défaut rotorique de la machine asynchrone.

I.3.4 Représentation d'état du modèle de défaut rotorique :

On remarque à partir de la figure (1.7) le modèle de la machine asynchrone avec défaut rotorique et le même que celui de la machine en fonctionnement sain sauf que la résistance rotorique est remplacée par la résistance équivalente. La machine asynchrone peut être donc décrite par le système d'équations suivantes :

$$\begin{cases} \dot{X}(t) = A(\omega)X(t) + Bu(t) \\ Y(t) = CX(t) + Du(t) \end{cases} \tag{I-13}$$

Avec :

$$X = [i_{ds} \quad i_{qs} \quad \phi_{dr} \quad \phi_{qr}] , u = [U_{ds} \quad U_{qs}] \text{ et } Y = [i_{ds} i_{qs}]^T$$

et

$$A(\omega) = \begin{bmatrix} -([R_s] + [R_s])L_f^{-1} - \omega P \left(\frac{\pi}{2}\right) & \left(([R_{eq}]L_m^{-1}) - \omega P \left(\frac{\pi}{2}\right) \right) L_f^{-1} \\ [R_{eq}] & -[R_{eq}]L_m^{-1} \end{bmatrix} , B = \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ L_f & 1 \\ 0 & L_f \\ 0 & 0 \\ 0 & 0 \end{bmatrix}$$

$$C = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \end{bmatrix} , [R_{eq}] = [R_r] \left(1 - \frac{\alpha}{1+\alpha} Q(\theta_0) \right)$$

I.4 Défaillances dans la machine asynchrone

I.4 .1 Cause des défauts

De multiples défaillances peuvent apparaître dans la machine asynchrone. Elles peuvent être prévisibles ou intempestives, mécaniques ou électriques. Leurs causes sont très variées. Dans le but d’une présentation synthétique, ces défauts peuvent se classer en deux familles principales, les figures I.8 et I.9 regroupent ces causes [ABD09].

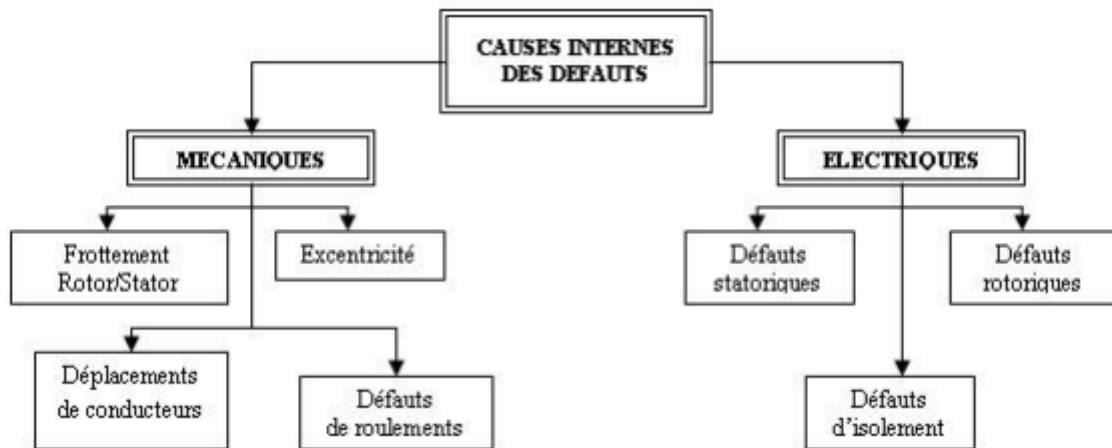


Figure I. 8 : Causes internes de défauts de la machine asynchrone triphasée à cage [ABD09]

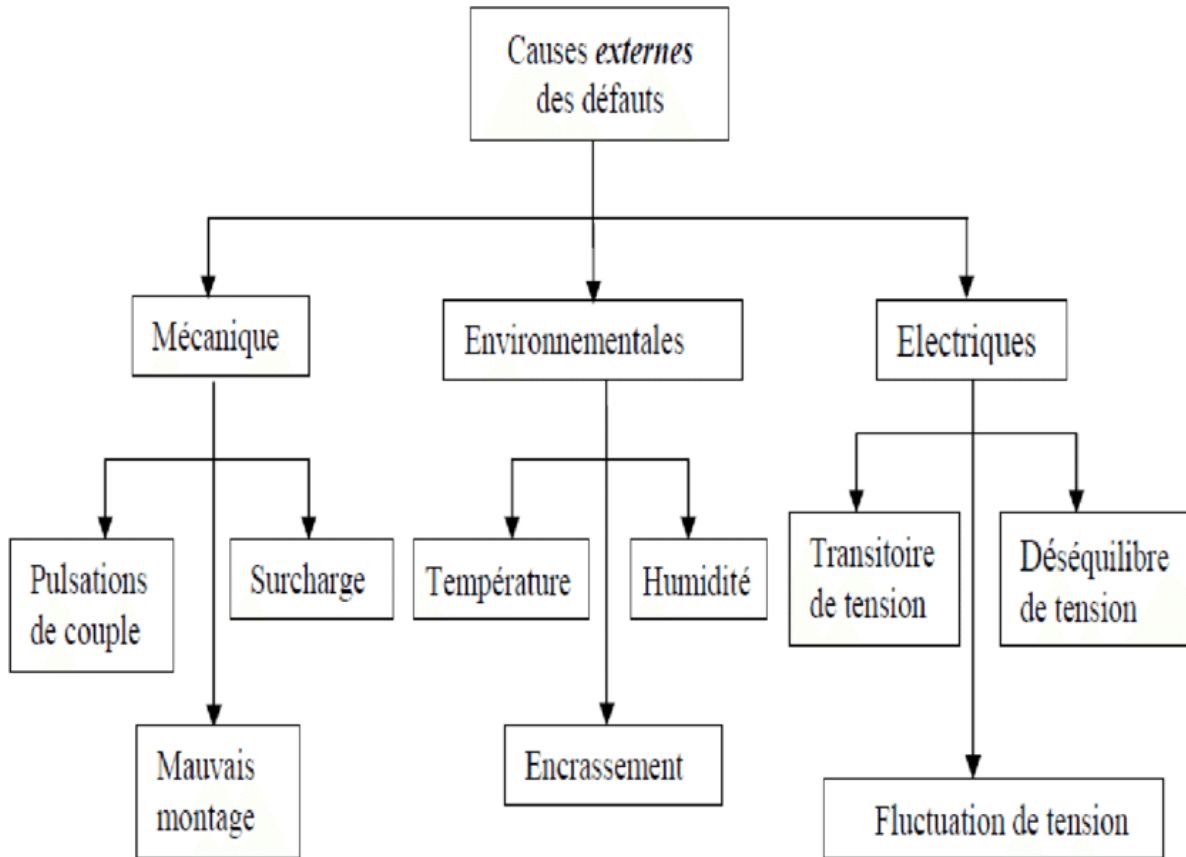


Figure I .9 : Causes-externes-de-defauts-de-la-machine-asynchrone-triphasee-a-cage- [ABD09]

I.4 .2 Les principaux défauts

Les défauts majeurs qui peuvent se produire dans une machine à cage peuvent être regroupés selon la classification suivante :

Défauts au stator résultant d'une ouverture ou d'un court-circuit sur au moins une phase du stator.

- Connexion anormale des enroulements du stator.
- Cassure de barre ou d'anneau de court-circuit au rotor.
- Excentricité dynamique ou statique.
- Roulements [MOH18].

Une étude conduite a établi une statistique des différents défauts pouvant se produire sur une machine électrique (figure 10).

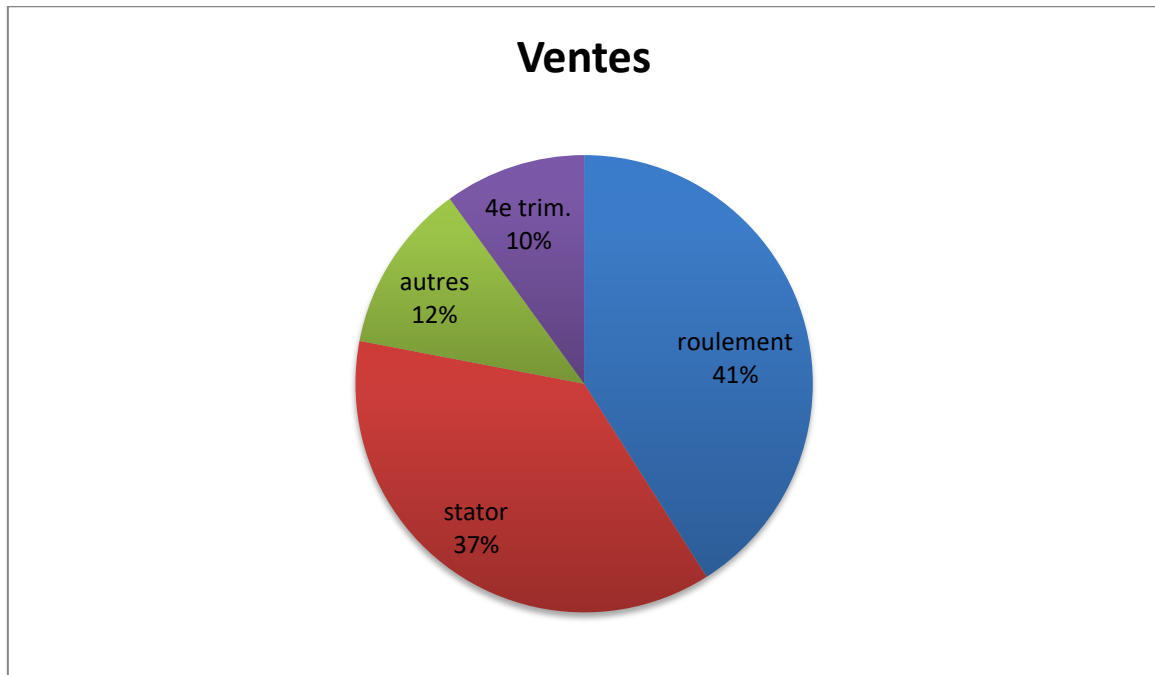


Figure I.10 : Répartition des défauts [MOH18].

I.4.2.1 -Défauts statoriques

L'une des erreurs qui se produisent généralement lors de l'enroulement du stator et qui est causée par différents types de dépassement on distingue :

- Court-circuit dans les spires d'une même phase ;
- Court-circuit entre phases ou entre bobines ;
- Coupure d'une phase ;
- Défaut du circuit magnétique (rupture de tôles) ;
- Défaut de l'isolation masse

A partir des études théoriques, il a été montré que le courant statorique avait un spectre enrichi par la création d'un court-circuit au stator. Les fréquences sont données par la relation [HAR08]:

$$f_{cc} = f_s \left[\frac{n}{p} (1 - g) \pm k \right] \quad (\text{I-14})$$

Avec $n = 1,2,3 \dots$ et $k = 1,3,5 \dots$

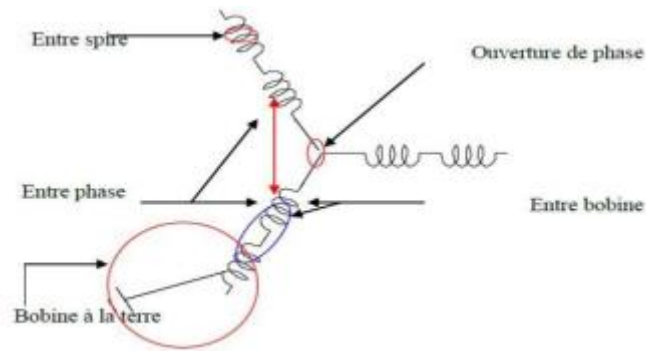


Figure I 11: Représentation des différents défauts statoriques possible [THA20].



Figure I .12: Exemples de dégâts dus au défaut de court-circuit statorique d'un moteur asynchrone [NOU14].

I.4.2.2 Défauts rotorique

I.4.2.2.1 Cassure des barres

L'un des défauts les plus fréquents sur les machines asynchrones est la rupture des barres du rotor. Une limitation importante de l'éventail des situations applicables. Par conséquent, les chercheurs ont exploré des méthodes alternatives qui peuvent surmonter cette limitation et fournir une solution plus robuste.

La simplicité de son exécution en a fait une technique fréquemment étudiée Malheureusement, cette simplicité même entraîne un inconvénient majeur qui impose des contraintes importantes à son application pratique. En conséquence, les chercheurs ont activement étudié des approches alternatives pour contourner cette limitation et proposer une solution plus résiliente.

L'apparition d'harmoniques résulte d'altérations des courants statoriques. En cas de défaut avec rupture de barre, certains attributs peuvent être observés dans le spectre du signal.

La production d'harmoniques de flux conduit à l'induction d'harmoniques de courant.

Aux fréquences proches de la fréquence fondamentale f_s , l'enroulement du stator se comporte d'une manière telle que... [MEN 07].

$$f_{brc} = f(1 \pm 2kg) \text{ Avec } k = 1,2,3 \dots$$

g : Glissement

f_s : Fréquence d'alimentation statorique

I.4.2.2.2 Défauts d'excentricité

La densité de flux a tendance à varier en raison des fluctuations de l'épaisseur de l'entrefer. un espace entre le stator et le rotor, communément appelé entrefer. Cet entrefer est important pour le fonctionnement du moteur car il permet la création d'un champ magnétique qui induit un mouvement de rotation dans le rotor. La taille de l'entrefer doit être mesurée et contrôlée avec précision afin de s'assurer que le moteur fonctionne de manière efficace et efficiente. Les bobinages du stator sont réglés de manière à pouvoir produire ce champ magnétique indispensable au fonctionnement du moteur.

Selon le [MEN 07], le spectre actuel est impacté par deux formes distinctes d'excentricité :

- Excentricité statique: déformation du corps du stator, positionnement incorrecte du rotor,
- Excentricité dynamique: le centre du rotor n'est plus confondu avec le centre de rotation.

L'apparition des deux types d'excentricité au même temps est généralement appelée:

- excentricité mixte.

L'excentricité dans la machine à induction augmente l'apparition des composantes

Additionnelles dans le spectre du courant, leurs fréquences sont données par des composantes

Fréquentielles suivantes:

$$f_{exc} = f_s \left(1 \pm k \frac{(1-g)}{p} \right) \quad (\text{I-15})$$

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

p : nombre de paire de pôles [HAK14].

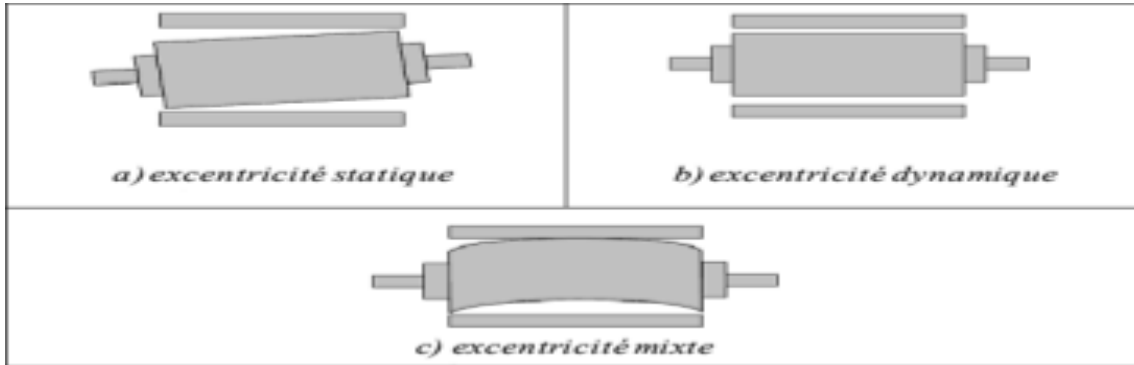


Figure I.13 : Représentation de l'excentricité statique et dynamique dans la machine asynchrone [HAK14].

I.4.2.2 .3 Défauts de roulement

Dans la plupart des cas, les roulements sont composés d'une paire de bagues : l'une étant la bague intérieure et l'autre étant la bague extérieure.

Un jeu de billes ou de rouleaux rotatifs est présent entre deux extérieures.

Les défaillances liées à la fatigue en fonctionnement normal proviennent généralement de minuscules fissures sous les surfaces du chemin de roulement et de l'élément roulant.

Au fil du temps, la substance se répartit lentement et régulièrement sur l'étendue de la zone. Si des modifications se produisent dans la régularité de la charge, le résultat est perceptible.

Les vibrations du stator produisent des raies spectrales de différentes fréquences dans le courant.[BOU07].

$$f_{roul} = |f_s - kf_v| \quad (I-16)$$

Où $k = 1, 2, 3 ..$ est un entier et f_v est l'une des fréquences caractéristiques de vibrations.

- Défauts au niveau d'une bille :

$$f_b = \frac{PD}{BD} f_{rot} \left[1 - \left(\frac{BD}{PD} \cos(\beta) \right)^2 \right] \quad (I-17)$$

- Défauts sur la bague intérieure

$$f_b = \frac{n_b}{2} f_{rot} \left[1 + \frac{BD}{PD} \cos(\beta) \right] \quad (\text{I-18})$$

- Défauts sur la bague extérieure

$$f_b = \frac{n_b}{2} f_{rot} \left[1 - \frac{BD}{PD} \cos(\beta) \right] \quad (\text{I-19})$$

Où BD le diamètre d'un élément roulant, PD la distance entre les centres des billes diamétralement opposées, n_b est le nombre d'éléments roulants, β angle de contact des billes avec les bagues du roulement et f_{rot} est la fréquence de rotation du rotor [BOU 07].

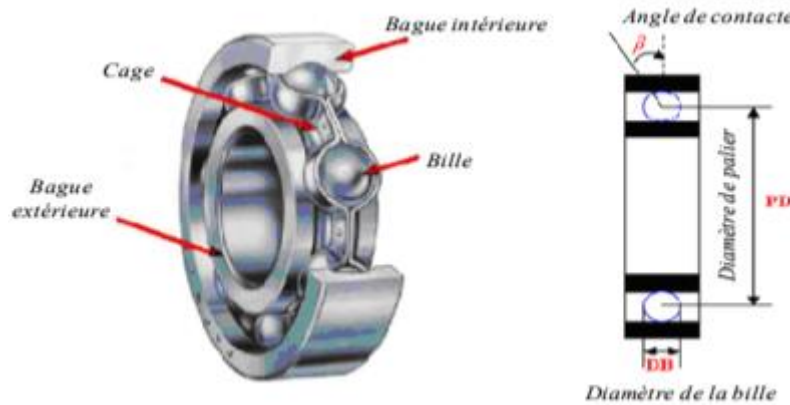


Figure I .14 :Dimension du roulement à bille [HAK14].

I.5 Principe du diagnostic des défauts dans la machine asynchrone

Le diagnostic consiste à détecter de façon précoce un défaut avant qu'il ne conduise à une défaillance. La procédure de diagnostic s'articule autour des étapes suivantes:

- Extraire les informations des capteurs de la machine pour obtenir Un indicateur d'un défaut ou d'un résidu. Les résidus représentent la différence entre les observations et Référence. Avant de rechercher la cause de la panne, il est important de vérifier Informations fournies par les résidus.
- La valeur du résidu doit être quantifiée pour produire des symptômes. question L'évaluation des résidus comprend la détermination de seuils de déclaration de défauts
- La prise de décision constitue l'étape finale de la tâche de diagnostic. depuis La comparaison de la signature courante avec la signature empirique, qui relève de

l'énoncé, est-en Pour la première fois, si le composant est défectueux. Deuxièmement, si l'élément est dysfonctionnement, la cause de l'anomalie doit être recherchée [MEN07].

I.6 Méthode de diagnostic et de détection des défauts dans la machine Asynchrone

I.6.1 Méthodes du diagnostic à base du modèle

Deux approches peuvent être utilisées pour diagnostiquer les défauts à partir des Modèles paramétriques.

- La première méthode repose sur le suivi des paramètres électriques caractérisant les modèles. Elle consiste à détecter un écart entre l'évolution des paramètres lors d'un fonctionnement normal et celle suivie par le système en présence de défauts. L'identification des paramètres peut être réalisée hors ligne. Elle repose alors sur un algorithme d'optimisation de l'erreur entre les paramètres du modèle et ceux du système étudié. Les paramètres peuvent également être identifiés en cours de fonctionnement à l'aide d'observateurs étendus. Le plus couramment utilisé est le Filtre de Kalman . [HAK14]
- La deuxième approche consiste à analyser les résidus générés à partir d'un modèle proche du système surveillé. Le modèle de processus est composé de relations de contraintes dynamiques qui relient deux types de variables : les variables inconnues (variables internes, perturbations, entrées inconnues, ...) et les variables connues (consignes, variables mesurées). Les résidus sont théoriquement nuls en fonctionnement normal et différents de zéro lorsqu'une défaillance survient. La difficulté majeure réside dans l'association entre le résidu observé et un défaut particulier [GAO 12].

I.6. 2 Méthodes sans modèle

Ces méthodes sont basées sur le traitement des signaux des capteurs. La grandeur physique X est affectée par un défaut ou mise en œuvre par un système expert. Utilisation de la technologie de l'intelligence artificielle. Parce que le rythme du temps ne donne pas, il n'y a pas beaucoup d'informations et la technologie de traitement du signal est toujours nécessaire. La méthode basée sur l'analyse du signal d'acquisition présente les avantages suivants : Insensible aux fluctuations au sein du système. Par conséquent, les informations contenues dans le message. Les signaux ne sont affectés par aucune erreur de modélisation. Depuis longtemps, diverses techniques de traitement du signal sont utilisées pour analyser le contenu spectral de divers signaux provenant de moteurs électriques, tels que : Courant, puissance, couple, vitesse, flux magnétique, vibration, etc. Ensuite nous faisons une brève introduction à la transformée de Fourier rapide (FFT) et à la transformée en ondelettes [HAK14].

I.6.2.1 Diagnostic par analyse des vibrations mécaniques

Le diagnostic des défauts en utilisant les vibrations mécaniques est la méthode la plus utilisée dans la pratique [HAN 03]. D'après [CAR 98], 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.

$$\sigma(\theta, t) = \frac{B_s^2(\theta, t)}{2\mu_0} \quad (\text{I-20})$$

La distribution de l'induction magnétique dans l'entrefer est le produit de la force magnétomotrice F_{mm} et de la perméance (P).

$$\psi_s = F_{mm} \cdot P \quad (\text{I-21})$$

La vibration de la machine peut être captée par un accéléromètre placé sur la machine. Roulements axiaux, verticaux et radiaux. Spectre du signal vibratoire. Du moteur défaillant par rapport à la référence au moment de l'enregistrement. La machine est en bon état. Cette méthode permet de détecter les défauts électriques à la fois plutôt que mécanique, car la force magnétomotrice contient les effets de l'asymétrie statorique ou rotor et perméance selon variation d'entrefer. Cependant, le coût. Le capteur de vibration est relativement élevé, et il y a des difficultés

rencontrées La connectivité de ces capteurs (problèmes d'accessibilité) représente une limitation et L'inconvénient de cette approche. [HAK14].

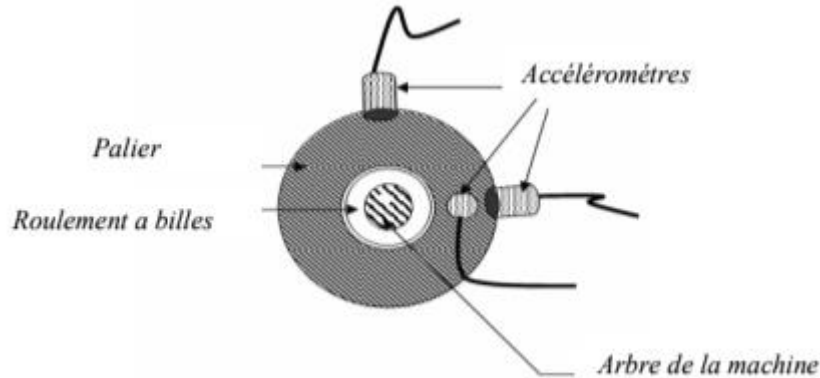


Figure I.15 : Mesures vibratoires sur la machine asynchrone [HAK14].

I.6.2.2 Diagnostic par mesure du flux magnétique axial de fuite

Dans une machine idéale sans défaut, le courant et la tension du stator sont Équilibré, neutralisant ainsi le flux de fuite axial. La présence de toute cause de défaillance Le déséquilibre électromagnétique au niveau du stator entraîne une augmentation du flux magnétique La valeur de fuite axiale dépend de la gravité du défaut. Si nous plaçons une bobine Autour de l'arbre du moteur, ce sera le site de la force électromotrice induite. Ce Le contenu spectral de la tension induite dans la bobine peut être utilisé pour détecter Échec différent [SAH 03].

I.6.2.3 Diagnostic par l'analyse des tensions statorique induites

Cette technique est basée sur l'exploitation du contenu fréquentiel de la tension induite par le flux rotorique dans les enroulements statorique pendant la déconnexion de la machine du réseau. En utilisant cette approche, les effets de non idéalité de la source (déséquilibres et présence des harmoniques) ainsi que la non linéarité des caractéristiques magnétiques de la machine peuvent être évitées [HAK14].

I.6.2.4 Diagnostic par mesure du couple électromagnétique

Le couple électromagnétique généré dans la machine provient de Champ magnétique du stator et champ magnétique du rotor. Par conséquent, tout défaut, que ce soit au niveau du stator ou

Pour le rotor, il affecte directement le couple électromagnétique L'analyse spectrale du signal de couple (mesuré ou estimé) fournit les informations suivantes État de la machine [SAH 03].

I.6.2.5 Diagnostic par mesure de la puissance instantanée

La puissance instantanée est la somme des produits du courant et de la tension Trois phases de stator. Par conséquent, le niveau d'information fourni par cette grandeur est plus supérieur à celle apportée par le courant monophasé. L'avantage de faire cela est Méthode par rapport à d'autres méthodes [SAH 03].

I.6.2.6 Diagnostic par analyse du courant statorique

Sa facilité d'accès et sa capacité à identifier divers défauts en font un choix populaire. L'analyse du courant statorique occupe une place importante en raison de sa nature électromagnétique, par opposition à sa nature mécanique. Le diagnostic des signaux par l'analyse est souvent associé au privilège. Cette méthode particulière est communément appelée... Plusieurs discussions ont tourné autour de l'abréviation MCSA, qui signifie Motors Current Signature Analysis. La recherche consiste à attribuer une signature spectrale à chaque défaut. Il a été montré dans le même contexte que le degré du défaut est directement lié à sa gravité. De plus, il a été établi que l'acte de caractérisation joue un rôle important dans cette détermination. L'amplitude des composantes de fréquence générées, en particulier les raies existantes, est un facteur crucial. Le moteur qui est en bonne santé présente la présence d'harmoniques spatiaux [HAK14].

I.8 Conclusion

Ce chapitre est principalement consacré à la description et à la modélisation d'une machine asynchrone et à la compréhension des différentes pannes qui affectent son fonctionnement et ses performances. Nous avons présenté différentes techniques de diagnostic d'une machine asynchrone à cage et dans le chapitre suivant nous parlerons des dernières techniques de détection de pannes dans une machine asynchrone

Chapitre II :

Théorie de réseaux de neurones et leurs applications

II.1 Introduction

L'un des défis auxquels l'humanité est aujourd'hui confrontée est de reproduire la nature et de reproduire la mode propre raisonnement et comportement, Les réseaux de neurones sont nés en Ce souhait, elles constituent une famille de fonctions non linéaires paramétriques pour De nombreux domaines (physique, chimie, biologie, finance, etc.), notamment la modélisation Synthèse des lois de procédé et de commande, leur application sur le terrain L'électronique de puissance est assez récente [OUL. 92].

Dans ce chapitre notre objectif est de décrire cette nouvelle technologie apparue récemment dans le domaine de l'électronique de puissance. Nous allons le définir et discuter des structures qui s'y rattachent. Ensuite, nous discutons de son application au diagnostic des erreurs dans les machines asynchrones.

II.2 Historique

- 1890 : W. James, célèbre psychologue américain introduit le concept de mémoire associative, et propose ce qui deviendra une loi de fonctionnement pour l'apprentissage sur les réseaux de neurones connue plus tard sous le nom de loi de Hebb.
- 1943 : J. Mc Culloch et W. Pitts laissent leurs noms à une modélisation du neurone biologique (un neurone au comportement binaire). Ceux sont les premiers à montrer que des réseaux de neurones formels simples peuvent réaliser des fonctions logiques, arithmétiques et symboliques complexes (tout au moins au niveau théorique).
- 1949 : D. Hebb, physiologiste américain explique le conditionnement chez l'animal par les propriétés des neurones eux-mêmes. Ainsi, un conditionnement de type pavlovien tel que, nourrir tous les jours à la même heure un chien, entraîne chez cet animal la sécrétion de salive à cette heure précise même en l'absence de nourriture. La loi de modification des propriétés

des connexions entre neurones qu'il propose explique en partie ce type de résultats expérimentaux.

- 1957 : F. Rosenblatt développe le modèle du Perceptron. Il construit le premier neuro ordinateur basé sur ce modèle et l'applique au domaine de la reconnaissance de formes. Notons qu'à cet époque les moyens à sa disposition sont limités et c'est une prouesse technologique que de réussir à faire fonctionner correctement cette machine plus de quelques minutes.
- 1960 : B. Widrow, un automaticien, développe le modèle Adaline (Adaptative Linear Elément). Dans sa structure, le modèle ressemble au Perceptron, cependant la loi d'apprentissage est différente. Celle-ci est à l'origine de l'algorithme de rétro propagation de gradient très utilisé aujourd'hui avec les Perceptrons multicouches. Les réseaux de type Adaline restent utilisés de nos jours pour certaines applications particulières.
- 1982 : J. J. Hopfield est un physicien reconnu à qui l'on doit le renouveau d'intérêt pour les réseaux de neurones artificiels. Il présente une théorie du fonctionnement et des possibilités des réseaux de neurones.
- 1983 : La Machine de Boltzmann est le premier modèle connu apte à traiter de manière satisfaisante les limitations recensées dans le cas du perceptron. Mais l'utilisation pratique s'avère difficile, la convergence de l'algorithme étant extrêmement longue (les temps de calcul sont considérables).
- 1985 : La rétro propagation de gradient apparaît. C'est un algorithme d'apprentissage adapté aux réseaux de neurones multicouches (aussi appelés Perceptrons multicouches). Sa découverte réalisée par trois groupes de chercheurs indépendants indique que "la chose était dans l'air". Dès cette découverte, nous avons la possibilité de réaliser une fonction non linéaire d'entrée/sortie sur un réseau en décomposant cette fonction en une suite d'étapes linéairement séparables. De nos jours, les réseaux multicouches et la Rétro propagation de gradient reste le modèle le plus étudié et le plus productif au niveau Des applications. [MOR. 06].

II.3 Les réseaux de neurones artificiels

Aujourd'hui, un certain nombre de termes sont utilisés dans la littérature pour désigner le domaine Réseaux de neurones artificiels, tels que les réseaux connexionnistes ou pseudo

neuraux. Pour notre En revanche, chacun de ces noms doit, selon nous, être associé à une sémantique précise. C'est tout se réfère uniquement à la manipulation du modèle ; ce n'est pas le domaine recherche ou discipline scientifique. Le connexionnisme et le neuro morphisme sont tous deux domaines de recherche respectifs, chacun manipulant des modèles de réseau Des neurones artificiels, mais dans un but différent. Les objectifs poursuivis par les ingénieurs et Les chercheurs connexionnistes visent à utiliser Modèles avec des composants fortement connectés. De leur côté, la manipulation par simulation neuronale Le seul but des modèles de réseaux de neurones artificiels est de valider leurs théories Biologie du fonctionnement du système nerveux central. A noter qu'en France, à partir de 1982, Des rencontres des deux communautés ont été organisées et ce sont les Journées des Neurosciences et sciences de l'ingénieur. Le titre de cet ouvrage ne laisse aucun doute sur le fait que nous partons d'Ingénieurs à la recherche de connaissances connexionnistes. Cependant, cela nous oblige à Les concepts de neurosciences utiles à notre projet sont abordés dans le chapitre suivant [CT92].

II.3.1 Définition RNA

Les réseaux de neurones artificiels sont des réseaux fortement connectés de processeurs Élémentaires fonctionnant en parallèle. Chaque processeur élémentaire calcule une sortie unique sur la base des informations qu'il reçoit. Toute structure hiérarchique de réseaux est évidemment un réseau [CT92].

II .3.2 Les Neurones biologiques

Un neurone est une cellule composée d'un corps cellulaire et d'un noyau. Ce Le corps cellulaire se ramifie pour former ce que l'on appelle des dendrites. Tout cela est Parfois il y en a tellement qu'on parle de poils dendritiques ou d'arborisation Dendritique. Des centaines de milliards de neurones sont La base du système nerveux central. Chaque neurone traverse ses dendrites, les intégrant pour former un nouvel influx nerveux, il Passé par ses axones (transmetteurs) aux neurones voisins. Transmission entre Les deux neurones ne sont pas directs. En fait, il existe plusieurs intercellulaires

Dizaines d'Angströms (10^{-9} m) entre l'axone du neurone afférent et les dendrites du neurone efférent. La jonction entre deux neurones est appelée la synapse [MOK98]. La figure II.1 & II.2 suivantes montre ce que nous avons détaillé.

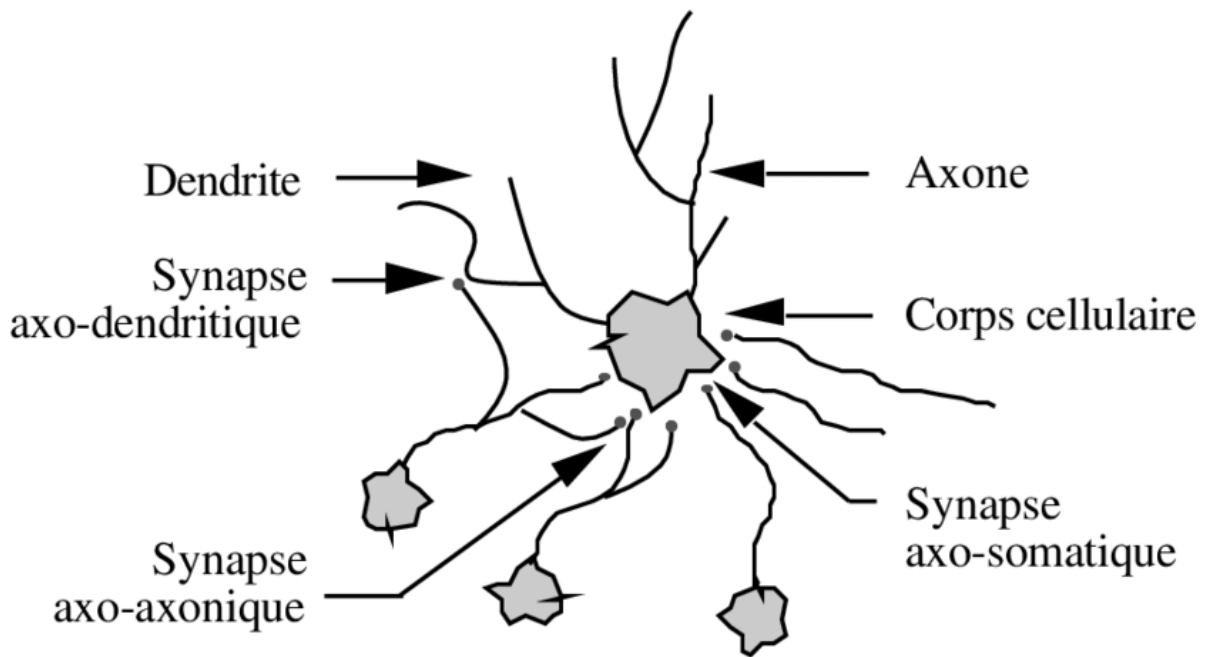


Figure II .1 : Un neurone avec son arborisation dendritique [CT92].

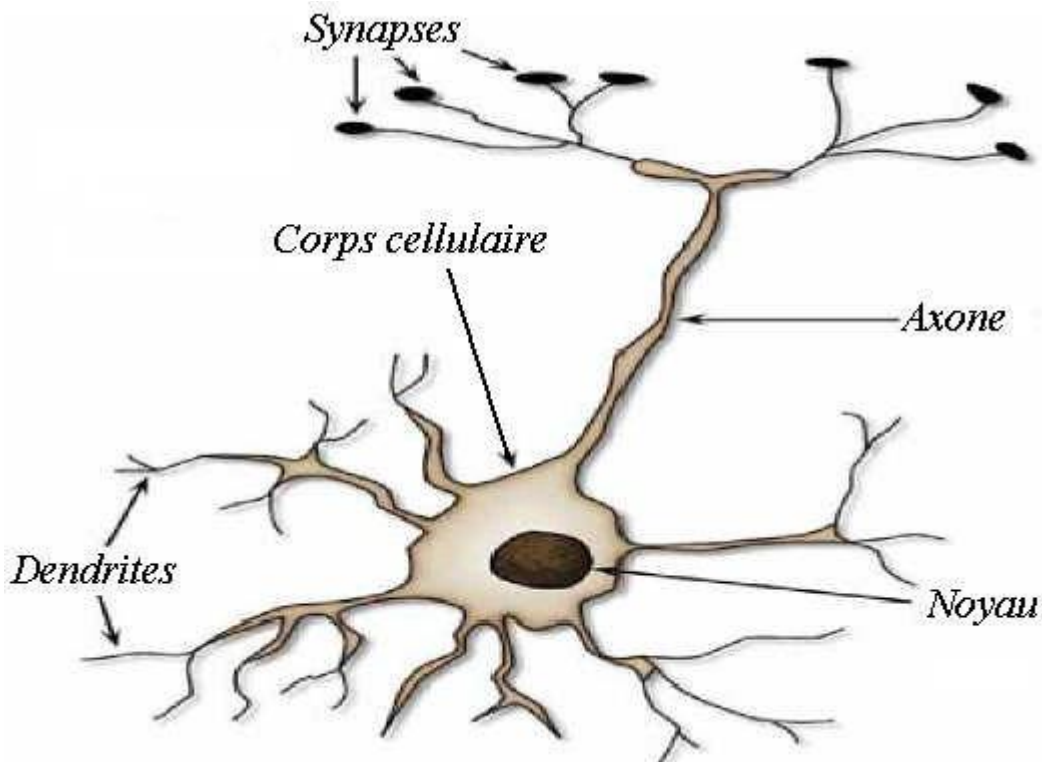


Figure II .2 : Représentation schématique d'un neurone biologique [CHE09].

II .3.3 Les neurones artificiels

Le premier modèle mathématique d'un neurone était le neurone Mc formalisé Culloch et Pitts (1943). Un neurone formel est un diagramme schématique artificiel d'un neurone biologique:

- Les synapses sont modélisées par des poids,
- Le soma ou corps cellulaire est modélisé par une fonction de transfert appelée

Il y a aussi une fonction d'activation

- L'axone traverse l'élément de sortie

La Figure II.3. Présente une représentation schématique sur la mise en Correspondance de neurone biologique / neurone artificiel

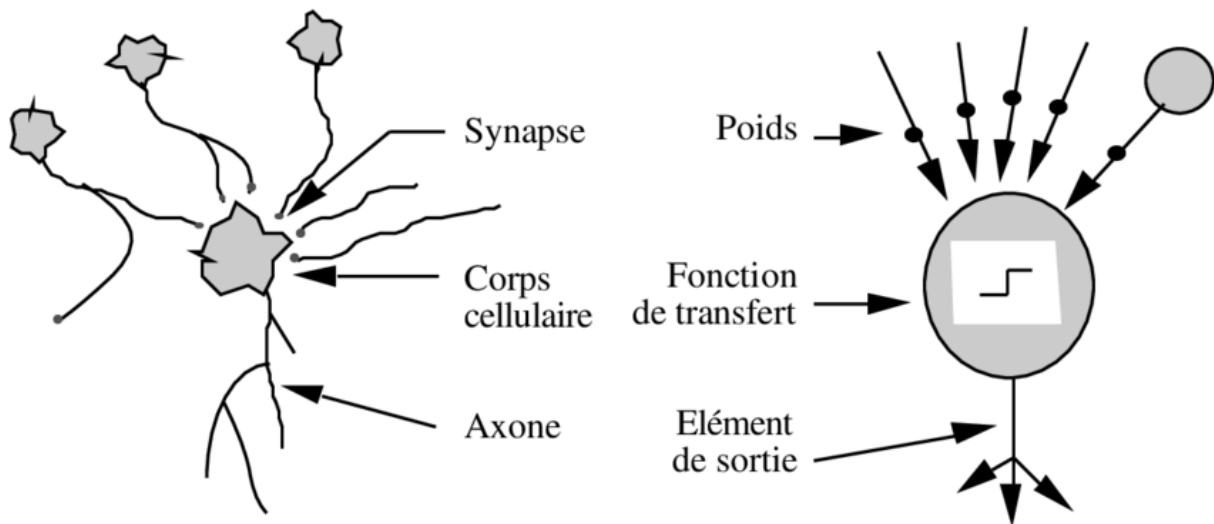


Figure II .3 : Mise en correspondance neurone biologique / neurone artificiel [BASS98].

Les neurones formels reçoivent et émettent des signaux binaires (0/1). Somme pondérée de Toutes ses entrées sont comparées à un seuil θ . Si ce seuil est dépassé, le neurone

Actif, sinon aucun signal n'est envoyé.

La somme pondérée des signaux d'entrée (stimuli), qui constitue l'activation du neurone Donc s'il franchit un certain seuil, le neurone se déclenche et délivre une réponse (sous la forme d'un potentiel d'action) dont la valeur est sa valeur d'activation. Si Le neurone n'est pas déclenché, il ne transmet rien. Cette somme est convertie en une sortie Après passage d'un seuil ou d'une fonction de transfert [BASS98].

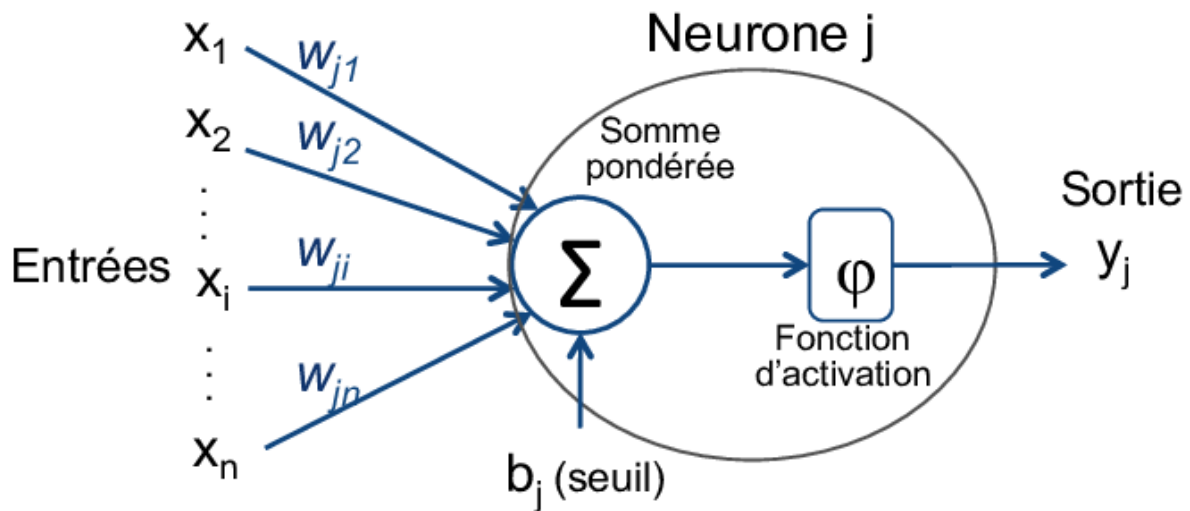
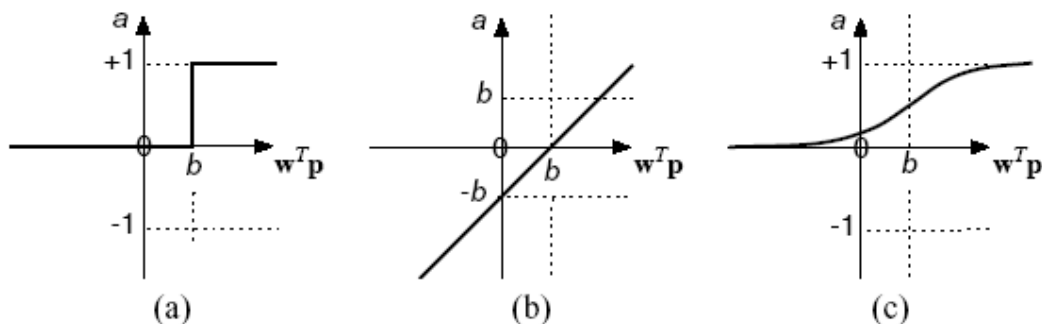


Figure II .4 : Représentation d'un neurone artificiel [BASS98].

II .3.4 Fonction d'activation du neurone formel

La fonction d'activation, également appelée fonction de transfert, est utilisée pour calculer la valeur de sortie de chaque neurone dans un réseau de neurones. Cette fonction peut être une fonction à seuil, linéaire ou non linéaire. Son choix détermine le nombre de neurones qui doivent être activés pour résoudre le problème. Après avoir choisi la fonction d'activation, un algorithme est créé pour faire correspondre chaque entrée à un résultat de sortie. Le seuil de déclenchement est généralement provoqué par une entrée inhibitrice, également connue sous le nom de biais. Parmi les différentes fonctions de transfert pouvant être utilisées comme fonction d'activation, les trois les plus courantes sont les fonctions "seuil", "linéaire" et "sigmoïde" suivantes [NOU21].



- a) Fonction à seuil
- b) Fonction linéaire
- c) Fonction sigmoïde

Figure II .5 : Différents types de fonction de transfert pour le neurone artificiel
[NOU21].

La valeur de la fonction d'activation est la sortie y du neurone.

$$y = f\left(\sum N w_i \times x_i + b\right)$$

II .3.5 Présentation des réseaux de neurones artificiels

Un réseau de neurones peut être considéré comme un modèle mathématique Le traitement distribué, composé de plusieurs éléments de calcul non linéaires (neurones), fonctionnent en parallèle et sont reliés les uns aux autres par des poids. Les réseaux de neurones artificiels sont des réseaux fortement connectés Processeurs de base fonctionnant en parallèle. Par processeur de base Calcule une seule sortie en fonction des informations reçues. Les neurones artificiels sont souvent utilisés sous différentes formes de réseau Selon le type de connexion entre les neurones, il existe une cinquantaine de types qui ne peuvent pas grave. Ce dernier est le plus utilisé dans le domaine de la modélisation, contrôle de processus. Ils sont constitués d'un nombre fini de neurones Disposés en couches. Les neurones de deux couches adjacentes sont liés les uns aux autres par le poids. L'information dans le réseau se propage d'une couche à l'autre, on dit qu'ils sont de type « feed-forward » [bass98]

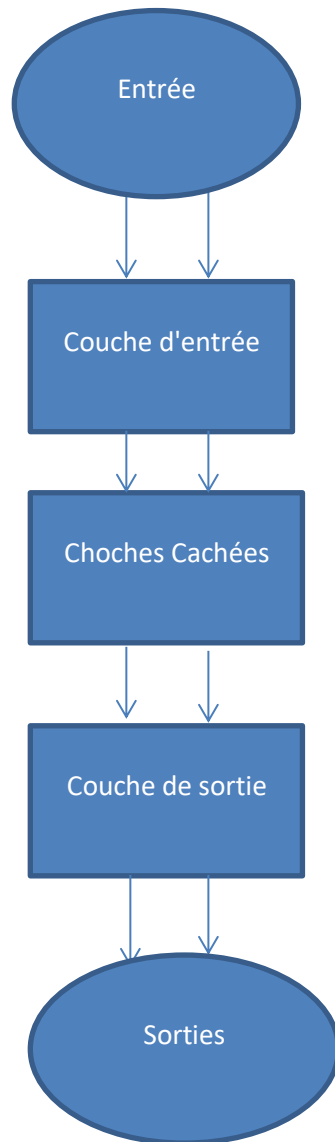


Figure II .6 : Architecture d'un réseau de neurone

II .3.6 Avantages et Inconvénients des réseaux de neurones

II .3.6.1 Avantages des réseaux de neurones

Il est évident que la puissance de calcul d'un réseau de neurones provient de deux aspects : d'une part, sa structure distribuée massivement parallèle, et d'autre part, sa capacité à apprendre et à généraliser.

La généralisation se réfère à la capacité du réseau de neurones à produire des sorties raisonnables pour des entrées qui n'ont pas été rencontrées pendant la phase d'apprentissage. Ces deux capacités permettent aux réseaux de neurones de résoudre des problèmes complexes à grande échelle, qui ne sont actuellement pas résolus. Cependant, en pratique, les réseaux de

neurones ne peuvent pas fournir la solution individuellement, mais doivent plutôt être intégrés dans une approche d'ingénierie système cohérente. Plus précisément, un problème complexe est décomposé en un certain nombre de tâches relativement simples, et les réseaux de neurones sont affectés à un sous-ensemble de tâches qui correspondent à leurs capacités intrinsèques. Il est important de noter cependant que nous avons encore un long chemin à parcourir (si jamais nous y arrivons) avant de pouvoir construire une architecture informatique qui imite le cerveau humain [mp04].

II .3.6.2 Inconvénients des réseaux de neurones

- Manque d'approche systématique pour définir la topologie optimale du réseau et le nombre de neurones à placer dans la couche cachée ;
- La sélection de la valeur initiale du poids du réseau et le réglage de la taille du pas d'apprentissage, où joue un rôle important dans la vitesse de convergence ;
- Problème de sur apprentissage (apprentissage au détriment de la généralisation) ;
- Les connaissances acquises par le réseau de neurones sont codées par des valeurs de poids Les synapses, les réseaux de neurones sont ainsi des boîtes noires pour stocker les connaissances les utilisateurs ne peuvent pas comprendre

II .3.7 Architecture des réseaux de neurones

II .3.7.1 Les réseaux non bouclés

Ce sont des réseaux unidirectionnels sans feedforward. Signal de sortie Obtenu directement après application du signal d'entrée. Sinon tous les neurones Organes de sortie, on parle de neurones cachés (Figure II .7) [BEN.M. 07].

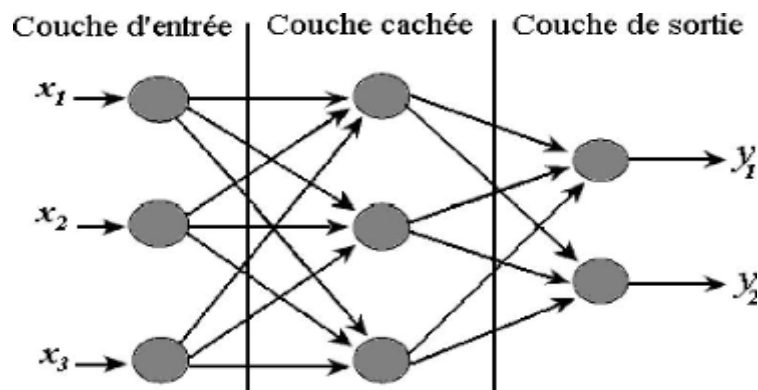


Figure II .7 : Réseau non bouclé. [BEN.M. 07].

II .3.7.2 Réseaux bouclés

Nous présentons ici l'architecture la plus générale pour les réseaux de neurones, un réseau récurrent dont le graphe de connexion est cyclique : lors du déplacement dans le réseau selon le sens de connexion, au moins on peut trouver

Un chemin de retour à l'origine (un tel chemin est appelé cycle). Ainsi, la sortie d'un neurone du réseau peut être une fonction de lui-même ; qu'Évidemment, cela n'est concevable que si la notion de temps est explicitement prise en compte. Considérer. Ainsi, à chaque connexion du réseau neuronal récurrent (ou Chaque arête de son graphe) est additive, en plus des poids du réseau bouclé, retardé, un multiple entier (éventuellement nul) de l'unité de temps choisie. UNE grandeur à un instant donné, elle ne peut pas être fonction de sa propre valeur Dans le même temps, tout cycle du graphe de réseau doit avoir une latence non nulle [DRE03].

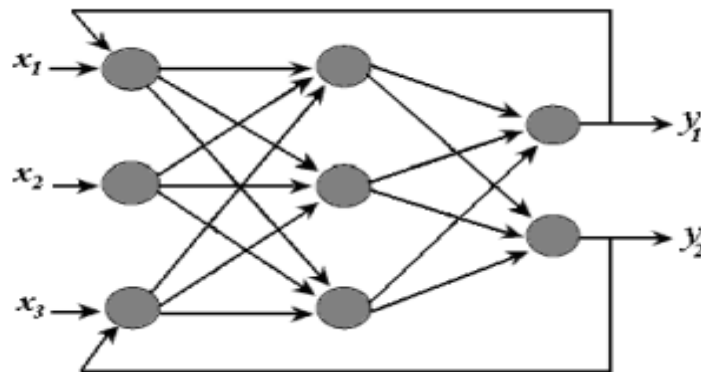


Figure II .8 : Réseau bouclé [CHE09]

II .4 Application des RNA au diagnostic de la machine asynchrone

Les réseaux de neurones artificiels sont bien adaptés pour résoudre les problèmes de diagnostic, en utilisant Classification automatique des signaux et des formulaires. On distingue plusieurs Application du réseau de neurones au diagnostic de pannes

Spécialement pour le diagnostic des défauts des moteurs asynchrones : Diagnostic Court-circuit, déséquilibre de tension, usure des roulements, panne Excentrique d'entrefer et barre de rotor cassés [BES16].

Dans notre cas, les réseaux de neurones sont utilisés pour diagnostiquer le court-circuit Le circuit entre le stator tourne.

II .4.1 Choix des variables d'entrées

Conditions de base pour la mise en œuvre réussie des techniques de diagnostic Les valeurs par défaut basées sur le réseau neuronal sont une disponibilité suffisamment riche, qui est placée comme données d'entrée pour chaque panne. L'entrée du réseau neuronal doit être indicateurs importants de défauts. Le meilleur choix pour un bon indicateur de défaut est Recherchez le paramètre qui fournit le plus d'informations sur l'état du système.

Les chercheurs utilisent différents types de mesures pendant la phase d'apprentissage Réseaux de Neurones, c'est-à-dire : déphasage entre courant et tension [BOU 08], Amplitude et fréquence de la raie de densité spectrale de puissance actuelle de Parker ids et iqs [BOU10], courant et vitesse stator. [BES16] amplitude Harmoniques et glissement [GUE 13].

Dans notre travail, on a utilisé un autre type d'indicateurs pour la détection et localisation du défaut:

- les amplitudes et les fréquences des raies obtenues de l'analyse spectrale de l'enveloppe du courant statorique
- l'énergie emmagasinée dans le niveau 7 obtenue par la décomposition multi-niveau d'ondelettes. [BES16]

II .4.2 Choix d'architecture du réseau de Un réseau de neurones artificiels

(RNA) est un ensemble formel de neurones associés Superposez et exécutez en parallèle. Dans un réseau, chaque sous-groupe forme un Indépendant des autres traitements et transfère ses résultats d'analyse aux couches Ce qui suit. Par conséquent, les informations fournies au réseau seront propagées couche par couche, de Couche d'entrée à couche de sortie, via un ou plusieurs couche cachée. Il existe deux grands types de structures dans la littérature:

- Les réseaux non bouclés (statique ou non récurrent)
- Les réseaux bouclés (dynamique ou récurrent)

Un perceptron (MLP) est un réseau de neurones artificiel du type feedforward, c'est- à-dire à propagation directe [KAD19]

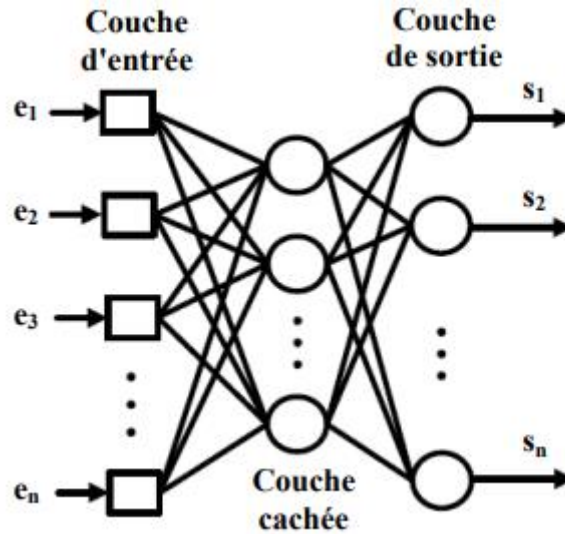


Figure II .9 : Structure des réseaux MLP [KAD19].

II .4.3 Apprentissage dans les réseaux de neurones

L'apprentissage est une phase très importante pour le déploiement d'un réseau de neurone durant laquelle le comportement du réseau est modifié jusqu'à l'obtention du comportement désiré.

Typiquement, les poids sont les variables qui subissent des modifications au cours du processus d'apprentissage. Le processus d'apprentissage dans les réseaux de neurones implique l'ajustement des poids de connexion. Cette modification des pondérations est le seul moyen par lequel le réseau est capable d'apprendre et de s'adapter à de nouvelles informations. Assurez-vous que votre réponse correspond aux exemples fournis et à votre expérience.

Personnelle. Dans le domaine des réseaux de communication, la rétro propagation est actuellement l'outil le plus utilisé. La technique de calcul des dérivées, connue sous le nom de neurones, a de nombreuses applications dans divers domaines. Il peut être mis en œuvre dans toute situation où le calcul de dérivées est requis. L'arrangement ou l'organisation des fonctions qui sont différentiables.

Basée sur la modification du poids, il s'agit d'une technique d'apprentissage supervisée. L'objectif est d'orienter le réseau dans un sens contraire au gradient de l'erreur sur ces poids spécifiques. L'objectif principal de la technique de rétro propagation est d'ajuster les poids synaptiques d'une manière qui minimise leur valeur. La valeur d'erreur moyenne sur

l'ensemble utilisé pour l'apprentissage est calculée dans [HEM 05]. L'algorithme est utilisé pour faciliter l'apprentissage des réseaux MLP dans la partie suivante de ce chapitre. Le gradient d'erreur est propagé vers l'arrière à travers le réseau neuronal, un processus communément appelé rétro propagation.

II.4.4. 'organigramme de détection de défaut

Afin de détecter le MAS, l'organigramme d'évolution du diagnostic est présenté ci-dessous.

En cas de panne comme en fonctionnement normal, la phase joue un rôle crucial. L'extraction des courants et tensions statoriques du MAS dépend d'une fonction. En utilisant la méthode ZCT, nous avons calculé chaque passage par zéro pour le temps donné, ce qui a donné les valeurs suivantes.

Lorsque les décalages horaires sont autorisés, ils subissent une transformation en décalages horaires réels. La structure angulaire de l'RNA est très bénéfique pour son inclusion dans la base de données d'RNA, car elle permet à la molécule de remplir efficacement ses fonctions. Le processus implique la détection et la localisation des phases saines et défectueuses. [KAD19]

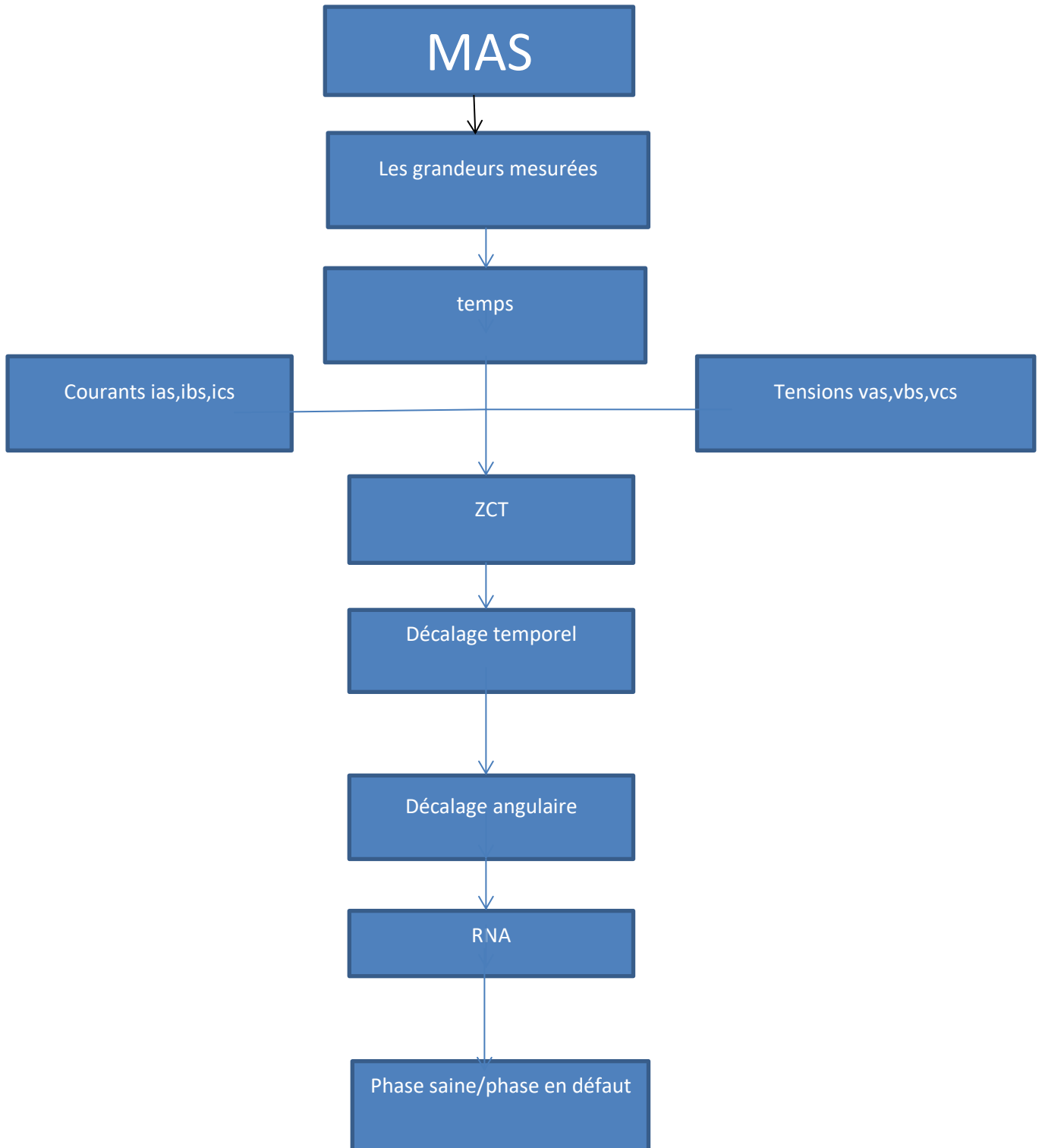


Figure II .10 : Organigramme de détection de défaut par le RNA

II .5 Diagnostic par utilisation des techniques d'intelligence artificielle (AI)

Ces dernières années La surveillance et la détection des dysfonctionnements du moteur ont été supprimées De manière traditionnelle à la technologie dite de l'intelligence

artificielle (IA) Ces méthodes sont basées sur une connaissance préalable du système et de l'utilisation L'ensemble des règles et les faits qui le composent (les données sont manipulées par les règles) Connectez-vous à la base de connaissances. Parmi ces méthodes on peut citer [MEN07] :

- * Logique floue,
- * Réseaux neuronaux,
- * Reconnaissance des formes. [HAK14]

II .6 Techniques de traitement de signal utilisé dans le diagnostic

II .6.1 Transformée de Fourier rapide (FFT)

Considérons le signal $X(t)$ à temps continu. Si X est à énergie finie, sa transformée de Fourier à la fréquence f est la suivante [ORA 88] :

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

Son inverse est donnée par:

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



Figure II .11 : Représentation temporelle vers fréquentielle [HAK14]

II .7 Conclusion

Nous avons présenté dans ce chapitre des informations générales sur les réseaux neuronaux et leurs principes fondamentaux, ainsi qu'une explication de leur utilisation pour diagnostiquer les erreurs des machines asynchrones. Dans le chapitre suivant, nous présenterons les résultats du diagnostic des erreurs des machines asynchrones à l'aide des réseaux neuronaux.

Chapitre III :
Résultats et simulation

III.1 Introduction

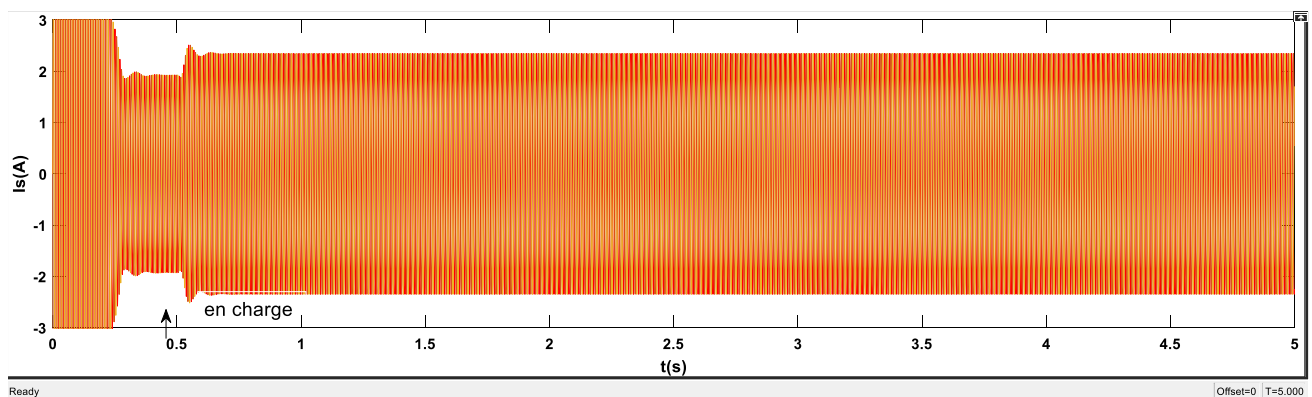
À travers notre étude du premier chapitre, nous constatons que les principales erreurs lors de l'exploitation d'un moteur asynchrone sont la survenue de cassures dans les barres du moteur. Nous allons donc essayer de simuler le moteur en ce qui concerne un modèle de base du moteur basé sur l'analyse et les équations du premier chapitre dans le logiciel MATLAB. Nous essaierons de créer un modèle dans des conditions normales ainsi qu'en cas de rupture d'une seule barre et de la rupture de plusieurs barres séparément et simultanément.

III.2 Résultat de la simulation du modèle d-q

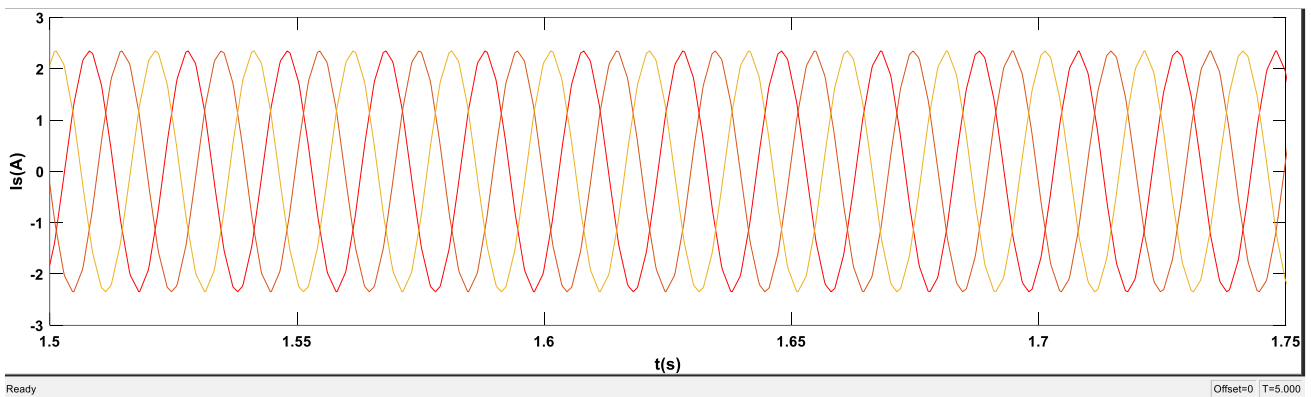
Nous effectuerons des simulations dans ce chapitre dans tous les états du moteur et quand et quand il n'y a pas de rupture dans les rails, La simulation de la machine est initialement effectuée sans surcharge, puis une charge est appliquée partir de 3,5 Nm appliqués à $t = 0,5s$, les résultats obtenus sont les suivants :

III.2.1 Cas d'une machine saine

La simulation du modèle du moteur asynchrone avec un rotor sain, on observe les différentes caractéristiques de ce moteur à partir de la vitesse, du couple électromagnétique et des courants statoriques (figures III.1).

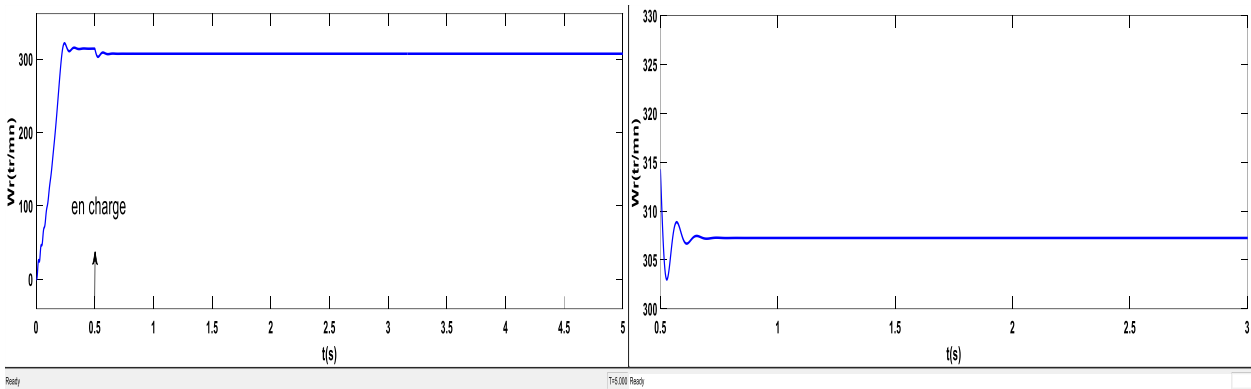


(a): les courants statoriques



(b) : zoom de courants.statoriques

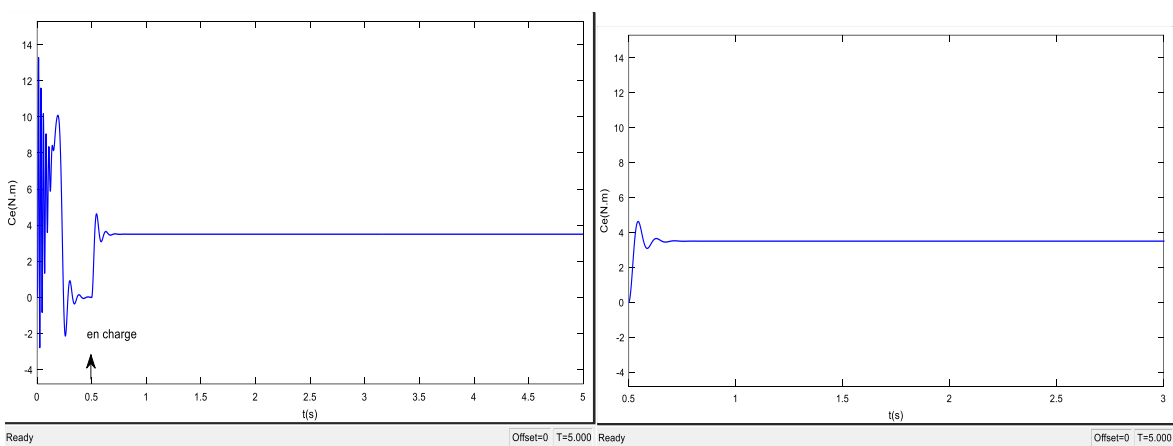
FigureIII .1: Courants statorique de la machine



(a) : la vitesse de rotation au défaut rotorique.

(b) : Zoom de la vitesse de rotation

FigureIII .2: Vitesse de rotation de la machine



(a) : Couple électromagnétique

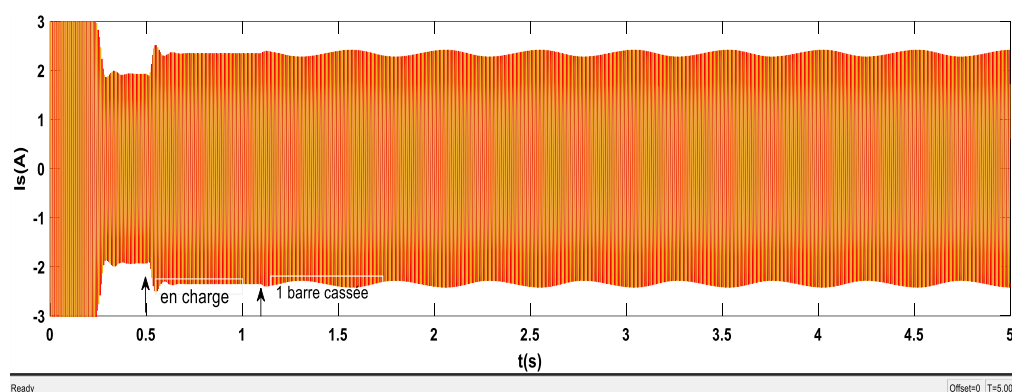
(b): Zoom du couple électromagnétique

Figure III.3: Couple électromagnétique de la machine

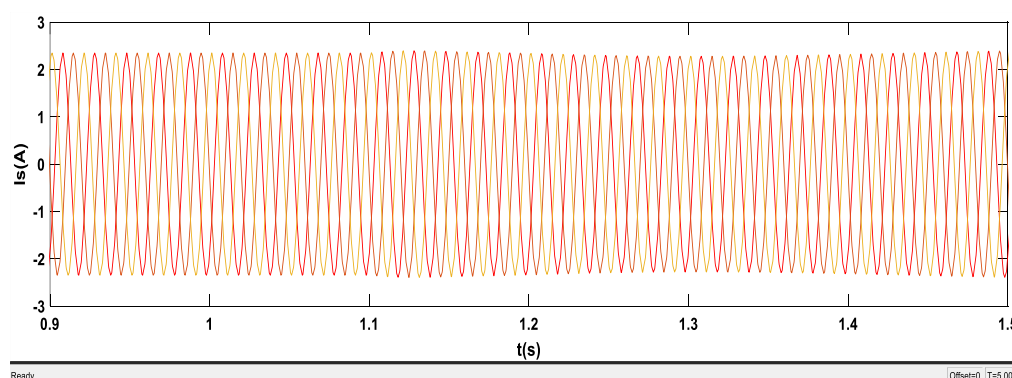
La simulation du modèle a confirmé le bon fonctionnement du moteur asynchrone avec un rotor en bon état. Les caractéristiques obtenues sont en accord avec les spécifications nominales du moteur. Cela indique que le moteur est capable de fournir la puissance et le couple requis dans des conditions normales de fonctionnement.

III.2.2 L'état de la machine si une barre est cassée

La simulation de la machine est réalisée au début du processus, à la fois sans charge et avec une charge utile. À partir de 3,5 Nm appliqués à $t = 0,5s$, une erreur de rupture de l'arbre est introduite à $t = 1,1s$. Les résultats obtenus sont les suivants :

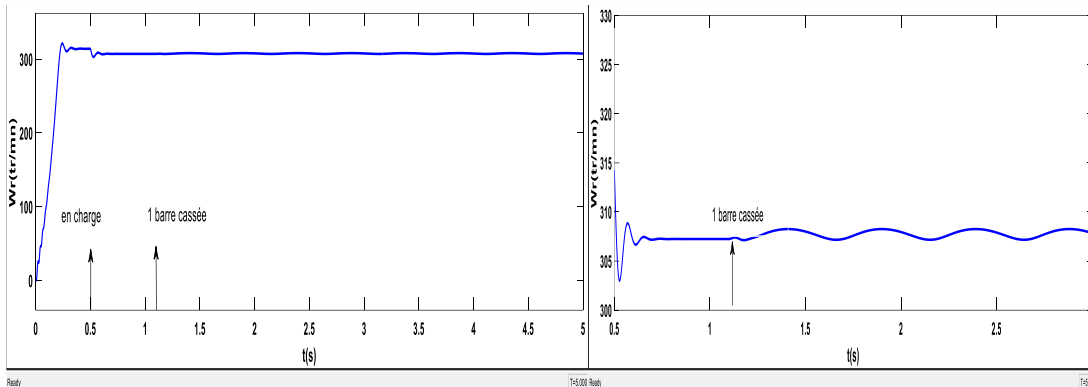


(a) : les courants statoriques



(b) : zoom de courants statoriques

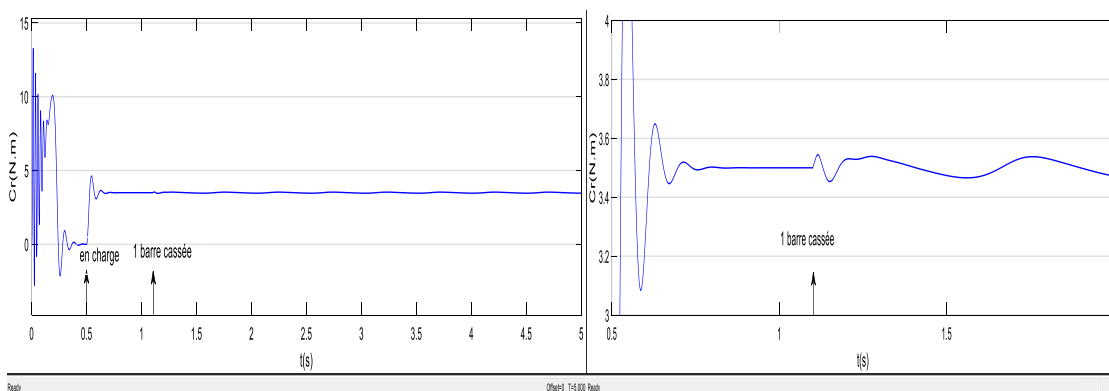
Figure III.4 : Courants statorique de la machine avec défaut de rupture de barres au rotor.



(a) : la vitesse de rotation au défaut rotorique.

(b) : Zoom de la vitesse de rotation.

Figure III.5 : Vitesse de rotation de la machine avec défaut des barres cassées au rotor



(a) : Couple électromagnétique lors d'un défaut rotorique

(b): Zoom du couple électromagnétique

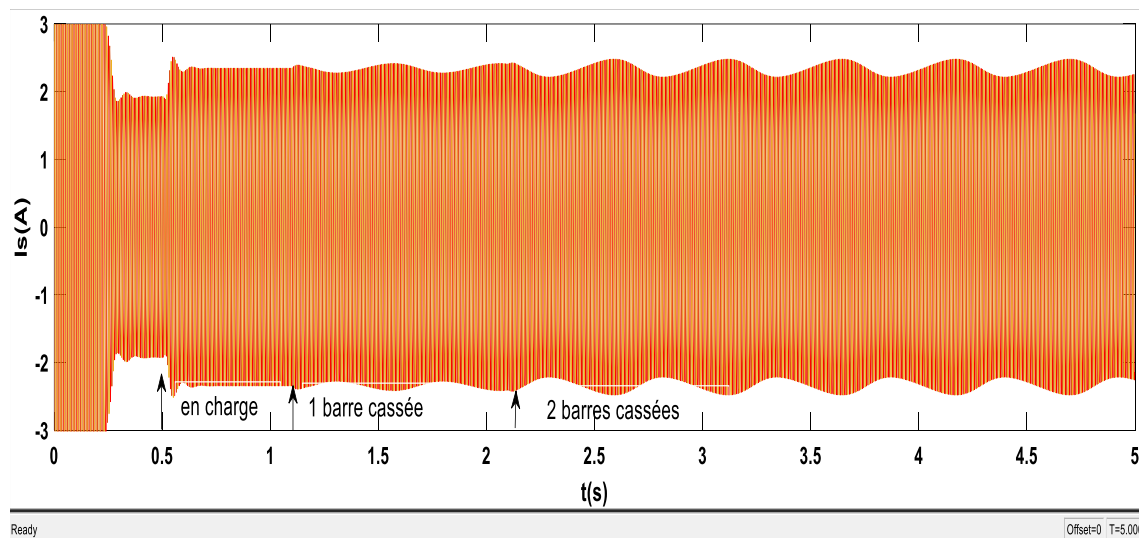
Figure III.6 : Couple électromagnétique de la machine avec défaut des barres cassées au rotor

Lors de la comparaison entre les figures (III.1) et (III.4), on peut observer que en cas de défaut de rupture de l'arbre dans le rotor, une déformation appropriée se produit avec l'arbre cassé. De plus, on constate également que les courants statoriques des charges restent non synchronisés. De plus, le défaut du rotor entraîne l'apparition de fluctuations de vitesse et de couple électromagnétique, comme illustré dans les figures (III.5) et (III.6). Les fluctuations de couple augmentent les vibrations du moteur et accélèrent sa détérioration.

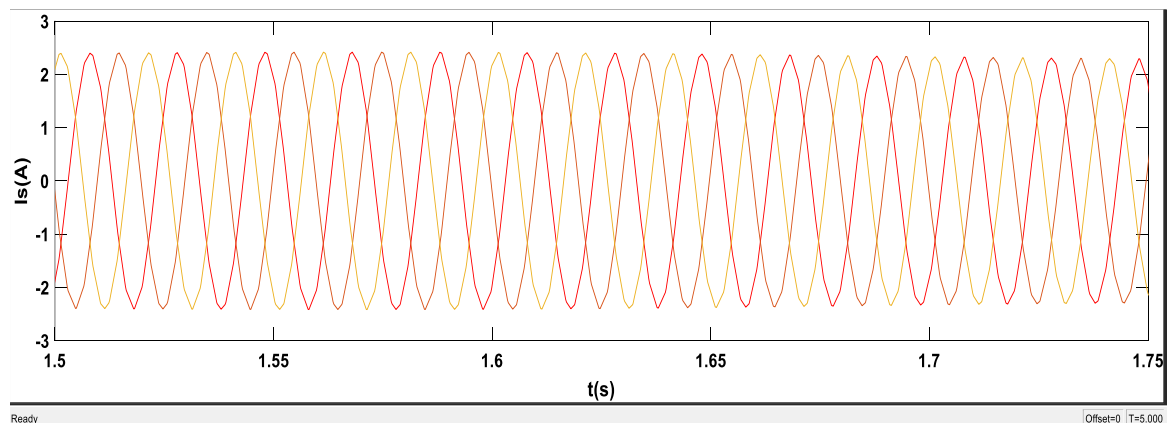
La diminution des courants dans les barres cassées est une conséquence directe de la cassure du chemin de courant. Les barres cassées ne peuvent plus transporter efficacement le courant électrique, ce qui entraîne une diminution significative des courants dans ces barres.

III.2.3 État de la machine si deux barres distinctes sont cassées

La simulation de la machine est effectuée au début en fonctionnement à vide, la charge de 3.5N.m est appliquée à $t=0.5s$, le défaut d'une barre est introduit à $t=1.1s$, le second défaut de barre est introduit à $t=2.1s$. Les résultats obtenues sont comme suit:

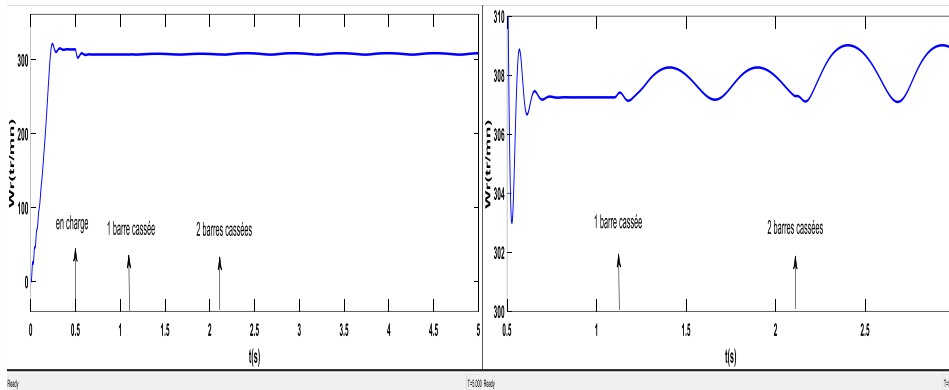


(a) : les courants statoriques



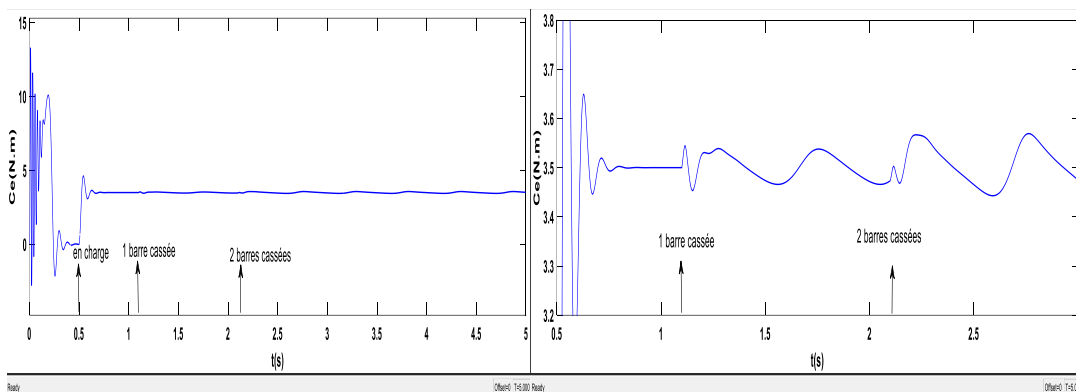
(b) : zoom de courants statoriques.

Figure III.7 : Courant statorique de la machine avec défaut de rupture de barres au rotor.



(a) : la vitesse de rotation au défaut rotorique .(b) : Zoom de la vitesse de rotation

Figure III.8 : Vitesse de rotation de la machine avec défaut des barres cassées au rotor



(a) : Couple électromagnétique lors d'un défaut rotorique. (b): Zoom du couple électromagnétique

Figure III.9 : Couple électromagnétique de la machine avec défaut des barres cassées au rotor

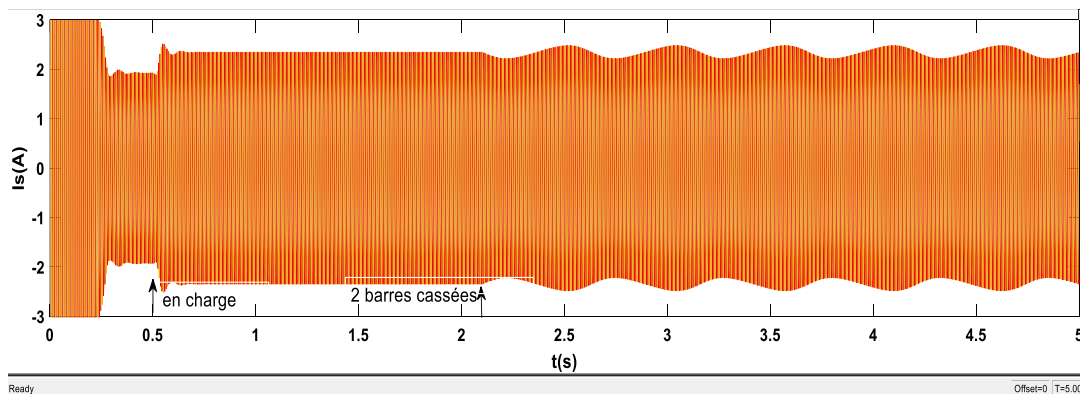
Selon la figure (III.7a), en cas de rupture de barres au niveau du rotor, on observe l'apparition d'ondulations identiques sur les trois courants statoriques. L'amplitude de ces ondulations est proportionnelle au nombre de barres cassées, et l'on remarque que cette amplitude augmente avec

L'augmentation du nombre de barres cassées. De plus, les courants statoriques restent toujours déphasés de 120° les uns par rapport aux autres (**figure III.7**).

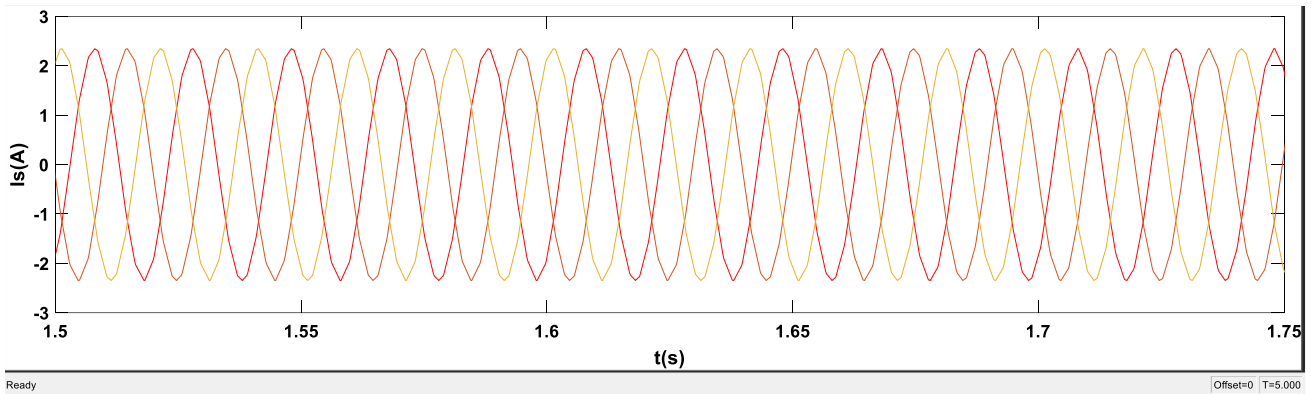
De même, un défaut au niveau du rotor entraîne l'apparition d'ondulations au niveau de la vitesse et du couple électromagnétique, comme illustré respectivement dans les figures (**III.8**) et (**III.9**). Les ondulations du couple entraînent une augmentation des vibrations du moteur et accélèrent sa détérioration.

III.2.4 Etat de la machine si deux barres sont cassées

La simulation de la machine est effectuée au début du processus, à la fois sans charge et avec une charge utile. À partir de 3,5 Nm appliqués à $t = 0,5s$, une erreur de deux barres est introduite simultanément à $t = 2,1s$. Les résultats obtenus sont les suivants :

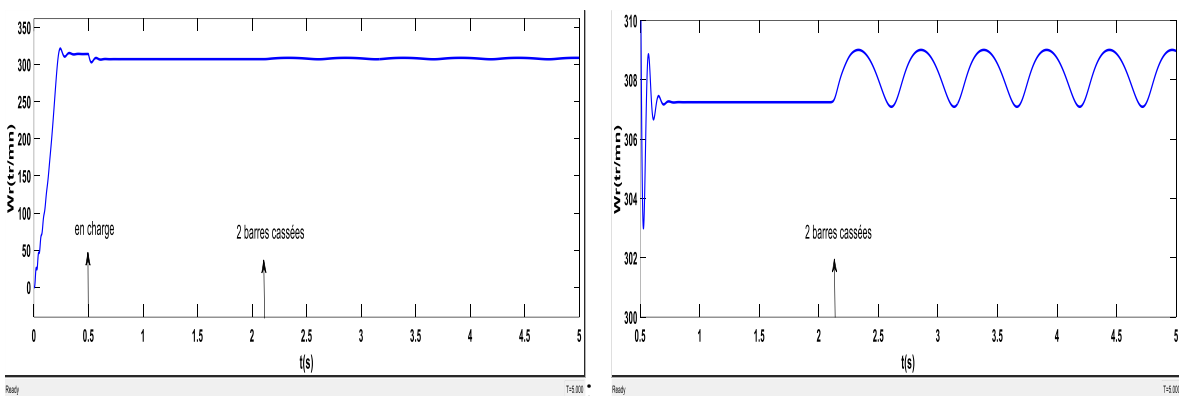


(a): les courants statoriques



(b) : zoom de courants statoriques.

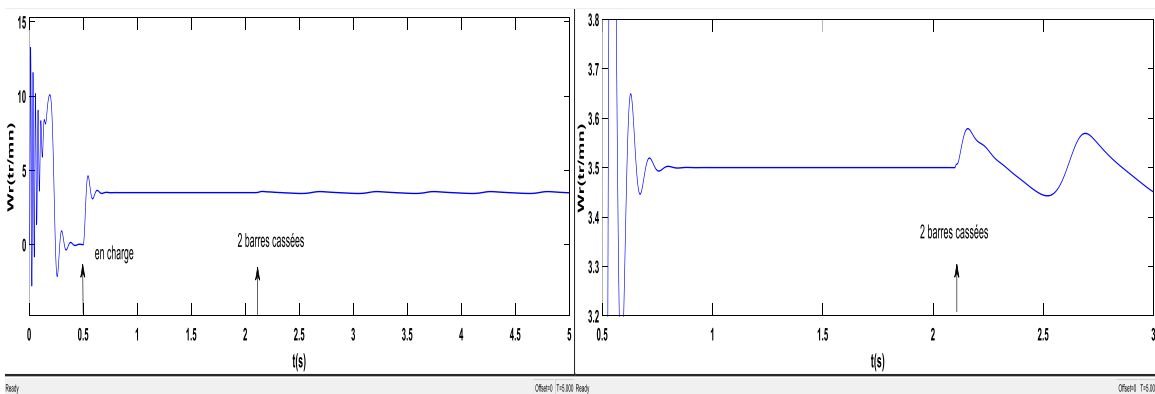
Figure III.10 : Courant statorique de la machine avec défaut de rupture de barres au rotor.



(a) : la vitesse de rotation au défaut rotorique.

(b) : Zoom de la vitesse de rotation

Figure III.11 : Vitesse de rotation de la machine avec défaut des barres cassées au rotor



(a) : Couple électromagnétique lors d'un défaut rotorique. **(b)**: Zoom du couple électromagnétique

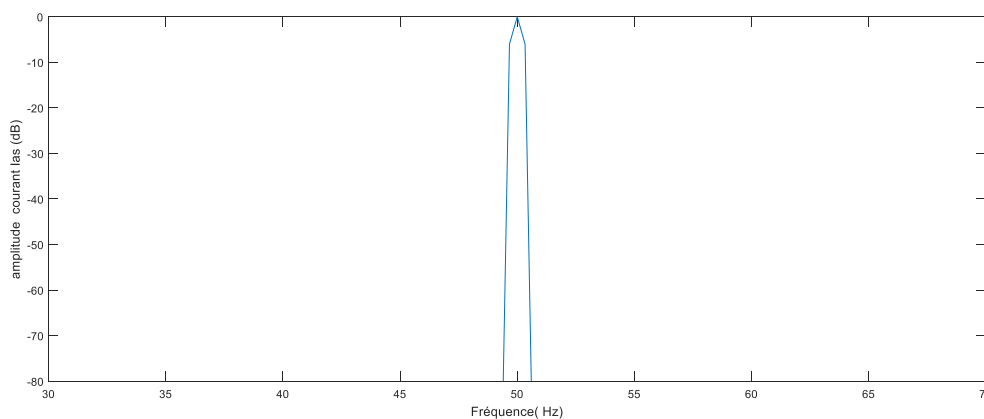
Figure III.12 : Couple électromagnétique de la machine avec défaut des barres cassées au rotor

D'après la figure (III, 10a), en cas de rupture de deux barres dans le plan du rotor, on observe l'apparition d'ondulations identiques sur les trois courants statoriques. De plus, les courants statoriques restent toujours déphasés de 120° les uns par rapport aux autres (Figure III.10).

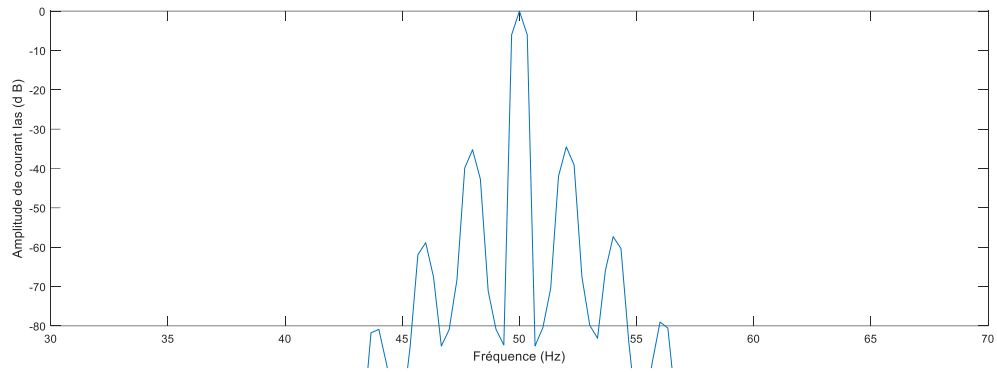
De même, un défaut dans le rotor entraîne l'apparition d'ondulations dans la vitesse et le couple électromagnétiques, comme le montrent respectivement les figures (III.11) et (III.12). Les ondulations de couple augmentent les vibrations du moteur et entraînent une détérioration rapide du moteur.

III.3 Analyse du courant statorique par la FFT

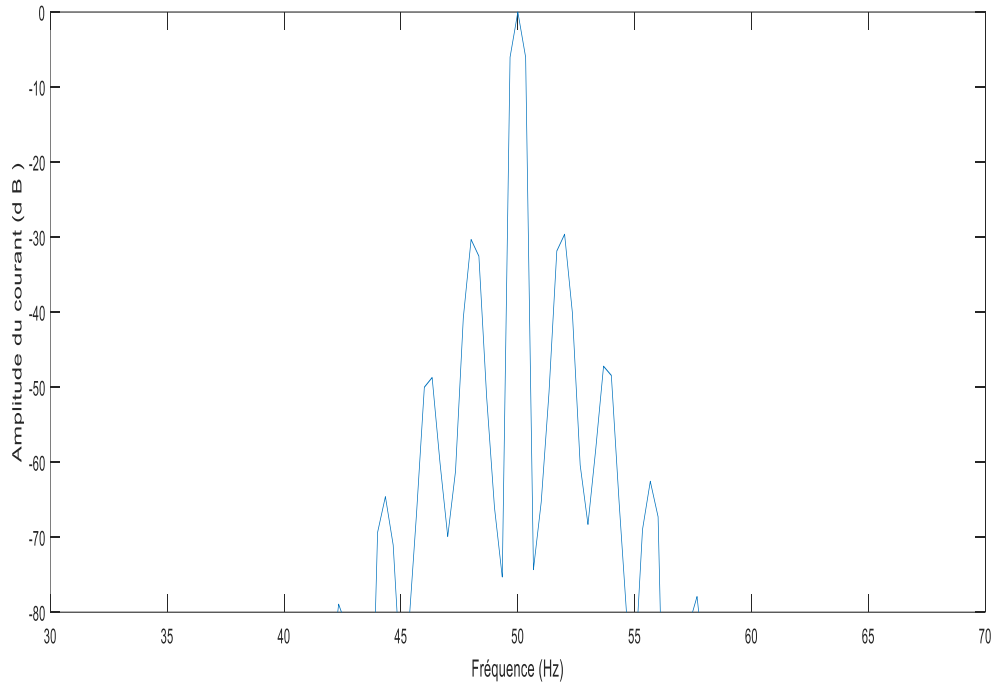
Considérez la machine alimentée directement par le réseau triphasé Charge moyenne 3.5N.m. L'analyse spectrale de la FFT est effectuée sur le courant Phases statoriques d'un rotor sain et barres cassées défectueuses, avec fenêtres Type "Hanning", l'acquisition se fait en 10 périodes d'échantillonnage ExisterLa durée totale est de 20s. Ces résultats sont présentés dans la figure (III.13).



(a) : machine saine



(b) : Machine avec une seule barre cassée



(c) : Machine avec deux barres cassées

Figure III.13 : Spectre du courant statorique pour une machine en régime sain et avec défaut rotorique.

Lorsque la machine est en bon état de fonctionnement, aucune ligne latérale ne peut être vue autour de la fréquence fondamentale. La fréquence fondamentale est de 50 Hz (Fig. III.13a) et représente le contenu spectral du courant statorique dans un état stable. Une et deux barres cassées se sont produites pendant le fonctionnement (Fig. III.13 b et III.13c), des lignes latérales apparaissent près de la

fondamentale correspondant à la ligne de faille. On remarque l'apparition de lignes de symétrie autour Bande de base. La différence entre une et deux barres cassées ne semble pas être Même l'amplitude de la ligne augmente avec l'amplitude du défaut est perceptible.

La rupture de la barre du rotor crée un champ tournant dans l'entrefer de la machine inversion de fréquence gfs . L'interaction de ce champ tournant avec la vitesse du rotor produit Composante de fréquence $(1-2g)fs$ dans le spectre du courant statorique. l'existence de ce Les harmoniques dans le courant du stator provoquent des oscillations de couple Machine à fréquence électromagnétique $2gfs$. Cette oscillation de couple produit La vitesse du rotor oscille inévitablement à la même fréquence, provoquant Nouvelle composante de fréquence $(1+2g)fs$ dans le spectre du courant stator. et passer Dans le même processus, on obtient des harmoniques d'une série de fréquences $(1 \pm 2kg)fs$ avec $k = 1,2,3,\dots$

g= 2.04 %	$(1 - 4g)f_s$	$(1 - 2g)f_s$	$(1 + 4g)f_s$	$(1 + 2g)f_s$
$f_s = 50\text{Hz}$				
$f(\text{Hz})$	46.2	48.1	52	54
Amplitude (dB)	-58	35.23	-34.5	-57.28

Tableau III.1: Fréquences calculées et déduites, en cas d'un défaut d'une seule barre cassée

g= 2.04 %	$(1 - 4g)f_s$	$(1 - 2g)f_s$	$(1 + 4g)f_s$	$(1 + 2g)f_s$
$f_s = 50\text{Hz}$				
$f(\text{Hz})$	47.2	59.12	52.1	54.1
Amplitude (dB)	-48.1	-30.7	-30.2	-47.12

Tableau III.2: Fréquences calculées et déduites, en cas d'un défaut de deux barres cassées

A travers ces tableaux, on remarque que les fréquences sont $(1 \pm 2.k.g).f_s$ Pour les lignes latérales Les courbes déduites de l'analyse spectrale correspondent aux valeurs théoriques (calculées). à partir de ces fréquences. De là, on peut voir que les lignes de faille de deux barres augmentent plus par défaut à une seule mesure brisée, cette dernière étant plus prononcée surtout

à l'harmonique $(1 \pm 6g) f$ que au défaut d'une seule barre est très petite qui on ne peut être vu, par contre au défaut de deux barres il est très claire.

III.4 Diagnostic des défauts rotorique par réseau de neurones

III.4.1 Choix des variables d'entrées de RN_{rb}

Sur la base d'observations effectuées sur les spectres du courant statorique de données précédemment (III.3), on a construit une base de données contenant les amplitudes et les fréquences des raies située à $(1 + 2g)f_s$ liés au défaut rotorique augmentent sous l'effet de l'accroissement de la charge et celui de l'évolution du nombre de barres cassées. Ceci nous a poussés à construire une basse de donnés contenant les amplitudes et les fréquences relatives au défaut rotorique $(1 + 2g)f_s$ pour les l'état sains et avec défaut de rupture de barres.

III.4.2 Acquisition des données (base d'apprentissage)

Pour construire un modèle non paramétrique (RN_{rb}) on doit construire une base de données très riches, qui possède beaucoup d'informations sur le défaut. Pour réaliser cette tache on procède d'utiliser un algorithme d'apprentissage comme suit **Figure III.14**

- 15 échantillons sont utilisés pour un fonctionnement sain de la machine opérant pour divers valeurs du couple de charge: $C_r = 10\%$, 30% , 50% , 70% et 100% de la charge nominale;
- 15 échantillons sont utilisés pour un fonctionnement avec défauts rotorique d'une barre pour divers valeurs du couple de charge: $C_r = 10\%$, 30% , 50% , 70% et 100% de la charge nominale;
- 15 échantillons sont utilisés pour un fonctionnement avec défauts rotorique de deux barres pour divers valeurs du couple de charge: $C_r = 10\%$, 30% , 50% , 70% et 100% de la charge nominale.

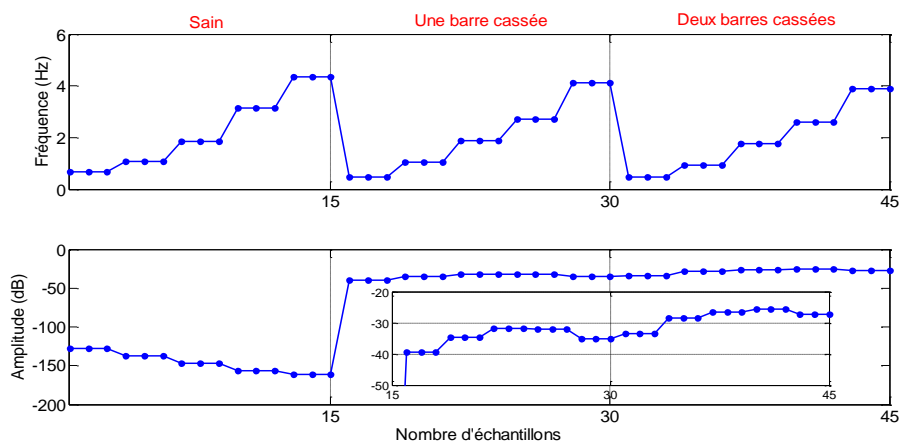


Figure III.14 Les entrées de l'apprentissage du RN_{rb}

L'ensemble des sorties désirées du RN_{rb} sont les suivants:

- (1 0 0) pour le cas de la machine saine,
- (0 1 0) pour le cas de la machine avec une barre cassé,
- (0 0 1) pour le cas de la machine avec deux barres cassées.

III. 4.2.1 Résultats de l'apprentissage

Le réseau RN_{rb} utilisé est de réseau multi couches, comportant deux neurones d'entrées, une couche caché de trois neurones et trois neurones de sorties. La fonction d'activation des neurones de la couche cachée est de type sigmoïde et de type linéaire pour les neurones de la couche de sortie.

Le réseau sélectionné est entraîné par l'algorithme de rétro propagation. L'évolution de l'EQM a atteint une valeur de $2.86 \cdot 10^{-15}$ après 50 itérations **Figure III.15**

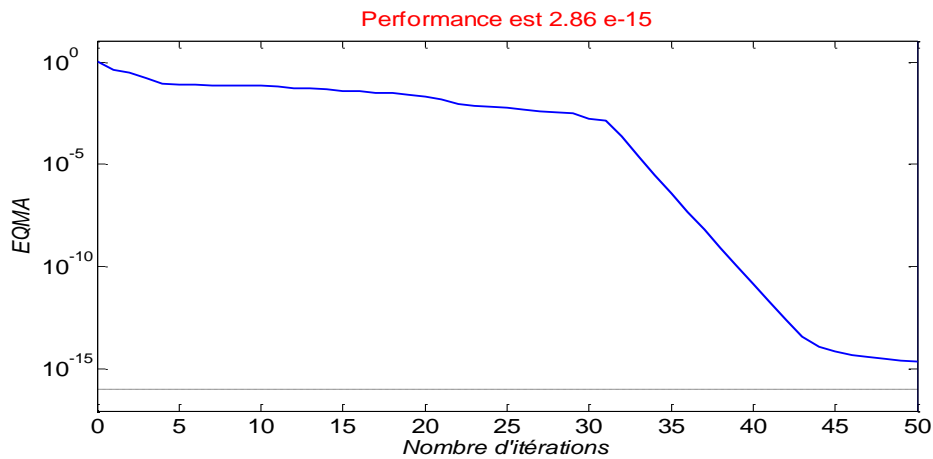


Figure III.15 : Performance du RN_{rb}

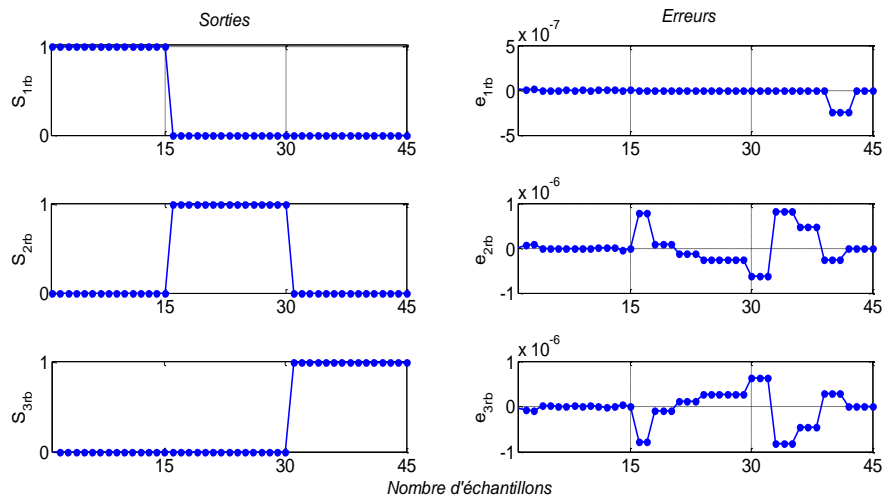


Figure III.16 : Sorties et erreurs de l'apprentissage du réseau RN_{rb}

Les sorties ainsi que les erreurs d'apprentissage du réseau sont illustrées sur la **Figure III.16**. On remarque que l'erreur d'apprentissage est presque nulle, elle est de l'ordre de 10^{-6} , ce qui prouve que le réseau a bien appris les séquences de défaut.

III. 4.2.2 Tests du réseau RN_{rb}

Pour évaluer la capacité de généralisation et les performances du réseau adopté, des tests sont effectués pour divers charges de la machine ($C_r=20\%$, 40% , 60% et 80% de la charge nominale) et l'algorithme opère comme suit:

- 12 échantillons sont utilisés pour un fonctionnement sain de la machine;
- 12 échantillons sont utilisés pour un fonctionnement avec défauts rotorique d'une barre;
- 12 échantillons sont utilisés pour un fonctionnement avec défauts rotorique de deux barres.

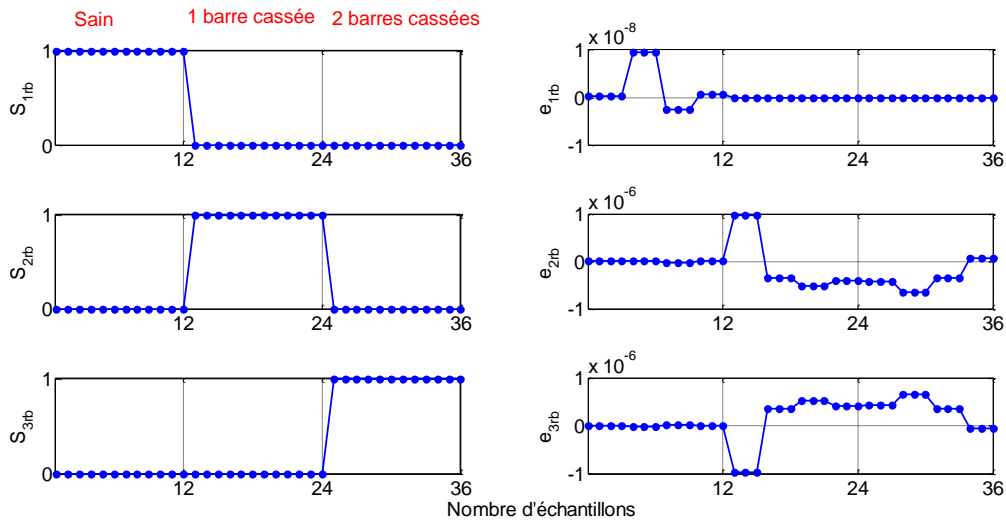


Figure III.17 Test des sorties du RN_{rb}

La **Figure III.17** représente les performances de l'ensemble de test du RN_{rb} . On observe que le réseau RN_{rb} affiche à ses sorties:

- (1 0 0) pour le cas de la machine saine,
- (0 1 0) pour le cas de la machine avec une barre cassée,
- (0 1 0) pour le cas de la machine avec deux barres cassées,

Avec une bonne précision pour chaque cas.

III.5 CONCLUSION

Dans ce chapitre, nous avons présenté les résultats de la simulation d'un moteur asynchrone triphasé dans différents systèmes d'exploitation de santé, lorsque ses arbres rotatifs sont endommagés

Après avoir étudié le moteur, effectué des simulations et extrait différentes caractéristiques électriques et mécaniques, et après les avoir analysées à l'aide de réseaux neuronaux, nous avons conclu que la présence de fractures dans les arbres du rotor entraîne des fluctuations de couple et de vitesse, ainsi que des courants dans le stator et le rotor. Nous avons également observé que la force et l'intensité de ces oscillations augmentent conjointement avec le nombre et la position des arbres rotatifs endommagés. De plus, nous avons constaté que la durée du système augmente

simultanément. Il est à noter que les effets des fractures peuvent ne pas être perceptibles lorsque le moteur fonctionne sans charge ou avec une charge légère.

Lors de l'étude de la quantité d'énergie dans le moteur pour tous les cas étudiés, nous avons observé une augmentation de la quantité d'énergie perdue à mesure que le nombre d'arbres endommagés augmente.

Conclusion générale

Conclusion générale

En conclusion, le développement technologique dans le domaine de l'industrie au cours des dernières années a suscité un intérêt croissant de la part des chercheurs et des ingénieurs pour la réparation et la maintenance des moteurs électriques. En raison de l'utilisation répandue des moteurs asynchrones dans l'industrie, il est devenu primordial pour les ingénieurs de trouver les meilleurs moyens de détecter les dysfonctionnements.

Dans le premier chapitre, nous avons décrit le moteur asynchrone en examinant différentes erreurs du moteur asynchrone. Ensuite, nous avons développé un modèle mathématique pour étudier le moteur en cas de rupture de l'arbre du rotor.

Dans le deuxième chapitre, nous avons étudié les réseaux neuronaux et souligné leur importance dans le domaine du diagnostic des défauts des machines asynchrones.

En fin de compte, dans le troisième chapitre, nous avons utilisé un modèle mathématique dérivé du premier chapitre pour construire un modèle de simulation du moteur à l'aide du logiciel MATLAB. Nous avons obtenu une variété de caractéristiques électriques et mécaniques dans tous les cas étudiés (présence de cassure dans les barres du rotor et cas sain) et les avons analysées à l'aide de réseaux neuronaux pour étudier les variations les plus importantes dans le comportement du moteur. Nous avons extrait des courbes de puissance du moteur dans tous les cas étudiés, où nous avons constaté que la présence de cassure dans les barres du rotor entraîne une perte de puissance, et plus le nombre de barres du rotor cassées augmente, plus la quantité d'énergie perdue augmente.

En conclusion, nous concluons que la présence de cassure dans les barres du rotor provoque des vibrations dans les courbes de vitesse, de couple électromagnétique et de courant électrique, et entraîne une perte significative d'énergie du moteur au fil du temps, c'est-à-dire une réduction de son efficacité.

Annexe

Annexe

Les paramètres de la machine asynchrone triphasée utilisée sont :

Puissance nominale 1.1 kW

Fréquence nominale 50 Hz

Tension nominal 400/230 V

Courant nominal 2.6/4.3 A

Vitesse nominale 1425 tr/mn

Nombre de pair de pôles 2

Nombre de barres au rotor 28

Nombre des encoches du stator 48

Nombre de spires par phase 464

Bibliographie

BIBLIOGRAPHIE

[**ABD09**] : KHATIR Abdelfatah : Etude comparative des modèles des machines asynchrones utilisés en diagnostic des défauts, Mémoire de Magister Machines Electriques et leurs commande, UNIVERSITE FERHAT ABBAS - SETIFUFAS (ALGERIE), 2009

[**ABE 99**] : A. ABED, L. BAGHLI, H. RAZIK & A. REZZOUG "Mödling induction Motors for diagnoses proposes" EPE'99, Lausanne, Suisse, pp.1-8, Septembre 1999.

[**BASS98**] : A. bernieri, M.D.Apuzzo, L.Sansone, M. Savastano, « une approche neuronale en réseau Pour l'identification et le diagnostic de pannes sur des systèmes dynamiques », livre, 564, Italie, 1998.

. [**BOU07**] : R.Bousseksou Modélisation analytique des machines Asynchrone application Au diagnostic. Mémoire de Magister. Université Mentouri Constantine. Algérie 2007.

[**BAC 02**] : S. BACHIR, "Contribution au diagnostic de la machine asynchrone par Estimation paramétrique", Thèse de Doctorat de l'Université de Poitiers, Décembre 2002.

[**BES16**] : BESSAM Besma : 'Analyse et détection des défauts dans la machine asynchrone à base des techniques intelligentes', thèse de doctorat Automatique, Université Mohamed Khider de Biskra, 2016.

[**BOU 08**] : M.Bouزيد, G.Champenois, N.Bellaj, L.Signac, K.Jelassi, "An effective neural Approche pour la localisation automatique des défauts inter-spires du stator dans le moteur à induction", IEEE Trans. Électronique industrielle, vol. 55, pages 4277-4289, décembre 2008.

[**BEN.M. 07**] : M. Bendjebbar, Contribution à l'étude d'algorithmes de l'intelligence artificielle pour le développement de stratégies de commande des machines asynchrones Thèse de Doctorat d'Etat, Université des sciences et de la technologie Mohamed Boudiaf

[**CT92**]: Claude Touzet «les reseaux de neurones artificiels s,

Introduction au connexionnisme » court, exercices et travaux pratiques, 1992

[CHE09] : Soufyane Chekroun : Commande neuro-floue sans capteur de vitesse d'une machine asynchrone triphasée, magistère, Ecole Normale Supérieure d'Enseignement Technologique d'Oran, 2009

[DRE03] : G.Dreyfus, j-M.Martinez, M.Samuelides, M.B.Gordon, F.Badran, S.Thiria « Apprentissage statique », livre, Eyrolles, 2003.

[GAO 12] : M. Gaouaoui Diagnostic par reconnaissance des formes : Application à la Machine asynchrone. Thèse de Magistère. Université Mouloud Mammeri de Tizi-Ouzou. Algérie 2012

[HAK14] : Hakima CHERIF : Détection des défauts statorique et rotorique dans la machine asynchrone en utilisant l'analyse par FFT et ondelettes, Mémoire de Magistère Génie Electrique, Université Mohamed Khider – Biskra, 2014

[HAR18] : S. Haroun, «Détection robuste de défauts et diagnostic par classification neuronale des pompes de refroidissement d'une centrale nucléaire avec dégradation de la qualité d'énergie», Thèse de doctorat, Université Houari Boumediene, 2018.

[HAR08] : Mr HARIR Miloud : Etude des Défauts dans La Machine Asynchrone à Cage d'Ecureuil par l'Emploi de la Fonction d'Enroulement Modifié, MEMOIRE DE MAGISTER, Université des Sciences et de la Technologie d'Oran Mohamed BOUDIAF, 2008/2009

[KAD16] : KADRINE Abderrahmane « Utilisation du Courant Statorique pour la Détection Des Défauts dans les Machines Electriques » Thèse de MASTER ACADEMIQUE, UNIVERSITE Echahid Hamma Lakhdar d'El Oued soutenu EN 25- 05 -2016

[KAD19] : KADA Ihcene & MAHMOUD BACHA Chaïmaa : Diagnostic des défauts de la MAS à L'aide des réseaux de neurones artificiels, Mémoire de Master Machine Electrique, Université SAAD DAHLAB de BLIDA, 2019-2020

[KA09] : KHATIR ABDELFAH « Etude comparative des modèles des machines asynchrones utilisés en diagnostic des défauts » Thèse de Magistère, Université Ferhat Abbas – Sétif UFAS(Algérie), Soutenue 11 / 04 / 2009.

BIBLIOGRAPHIE

[KZ17] : KHATRAOUI ABDERREZAK, ZAID MANSOUR «Diagnostic Des Machines Asynchrones Triphasées», Thèse de MASTER ACADEMIQUE, UNIVERSITE Echahid Hamma Lakhdar D'El-oued soutenu en Mai 2017.

[LB19] : LABIOD LAID, BOUTADJINE FARES « Diagnostic des défauts rotoriques des machines asynchrones (Résultats expérimentaux et de simulation) » Thèse de MASTER ACADEMIQUE, UNIVERSITE Echahid Hamma Lakhdar d'El Oued soutenu Juin 2019

[MOH18] : CHELAGHEMA Mohamed Lamine : Pronostic des défauts statoriques et rotoriques des machines asynchrones, Mémoire de master, Université Mohamed Seddik Ben Yahia – Jijel, 2018/2019

[mp04] : M.Parizeau, « Réseaux de neurones présentation et applications », université de laval hiver, livre, 2004.

[MOK98] : M.Mokhtari, M.Marie « Applications de MATLAB 5 et SIMULINK 2 », livre, Springer, 1998.

[MOR. 06] : Y. Morere, "Réseau de Neurones feedforward Master 2 AIH", 2006
D'Oran USTO, Décembre 2007.

[MEN 07] : A. Menacer, "Contribution à l'identification des paramètres et des états d'une Machine à induction pour diagnostic et développement de commande robuste: Robustesse vis-à-vis de défauts", Thèse de doctorat, Université de Batna,
Décembre 2007.

[NOU21] : NOUMA AMIRA & KANOUN MAROUA : Diagnostic de la machine asynchrone par l'usage des réseaux de neurones artificiel, Mémoire de Master Machine Electrique, Université SAAD DAHLAB de BLIDA 1, 2021-2022

[NOU14] : SADKI NOUR ELHOUDA : simulation des défauts statorique d'un moteur a asynchrone, mémoire master academique, UNIVERSITE KASDI MERBAH OUARGLA, 2014/2015

BIBLIOGRAPHIE

[NOU17] : K. Nour and T. Arezki, "Technique de daignostique des défaut statorique d'un moteur asynchrone",Mémoire de master, Université de Béjiaï, 2017.

[SAH 03] : M. Sahraoui, "Contribution aux diagnostics des machines asynchrones triphasées À cage," Mémoire de Magistère, Université Mohamed Khider, Biskra, Décembre 2003.

[THA20] : KHERBICHE THABET, NEDJAI WALID : Commande Vectorielle indirect d'un moteur asynchrone à cage sous défaut, Mémoire présenté pour l'obtention Du diplôme de Master Académiqu, UNIVERSITE MOHAMED BOUDIAF - M'SILA, 2020/2021

Robustesse vis-à-vis de défauts", Thèse de doctorat, Université de Batna, Décembre 2007.

[OND06] : O.Ondel « Diagnostic par reconnaissance des formes : Application a un ensemble Convertisseur – machine asynchrone » Thèse de Doctorat, Ecole centrale de Lyon, France, 2006