

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية
République Algérienne Démocratique et Populaire
وزارة التعليم العالي و البحث العلمي
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique
Centre Universitaire Abdelhafid Boussouf -Mila
Institut des Sciences et de Technologie
Département Electromécanique et Génie Mécanique



N°Ref :.....

Projet de Fin d'Etude préparé En vue de l'obtention du diplôme de

MASTER

Spécialité : Electromécanique

**Diagnostic des défauts du moteur à induction
par analyse spectrale du courant**

Réalisé par :

- *Mokhbi Fatima Zahra*
- *Abid Aicha*

Soutenu devant le jury :

Mr R.Bouhanache
Mr B.mehimmedatsi
Mr Bazi Smail

Président
Examineur
Promoteur

Année universitaire : 2022/2023

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ



Dédicace

À l'aide de "ALLAH", le Tout-Puissant

À la plus chère personne de ma vie

Mon père (رحمه الله)

Ce travail est dédié à mon père décédé trop tôt, qui est toujours dans mon esprit... Tu nous as quittés si vite !

Aucun mot ne serait exprimer mon profond amour, mon plus respect, mon immense gratitude et ma considération pour les sacrifices qu'il a donné pour mon instruction et mon bien être.

A ma chère **Maman**, pour ses sacrifices, son amour, sa tendresse et ses prières .

A mon oncle paternel **Kaddour**

A ma deuxième mère **Houda** qui a été toujours présente pour moi, pris soin de moi, et m'encouragé pour réussir, je t'aime infiniment...

À ma sœur **Soundous** ,À mes frères **Ahmed** , **Karim** et **Yahya** pour leurs encouragements, aides et supports pendant les moments difficiles.

À mon grand-père et **ma grand-mère** ,les mots ne suffisent pas pour te remercier je t'aime

À mes cousines surtout mes inséparables **Fouzia** , **Meryam** , **Hadjira** , **Roumaysa** , , pour leurs grand amour et leur soutien qu'ils trouvent ici l'expression de ma haute gratitude.

Mon cher binôme **Aicha** merci pour tous les moments qu'on a passé ensemble, merci de m'avoir soutenu pendant cette année.

A toute ma **famille MOKHBI**





Dédicace

À l'aide de "ALLAH", le Tout-Puissant

En premier lieu mes dédicaces s'orientent aux prunelles de mes yeux,

Mon cher **papa** qui a su se montrer patient, compréhensif et encourageant, sa

Chaleur paternelle a été et sera toujours pour moi d'un grand réconfort.

A ma chère **maman** qui n'a jamais cessée de ménager ses efforts pour que j'atteigne ce niveau. Ses sacrifices et privations ne l'ont pas empêchée d'accomplir son devoir de mère soucieuse de l'avenir de ses enfants.

A mes frères : **Youssef, Samir, Rabah**

A mes Sœurs : **Nabila, Karima**

qui était toujours à mes côtés et qui a jamais cessés de mesoutenir et de m'encourager.

A la première joie de notre famille, **Akram, Anes, Nour, Talin**

Je prie toujours dieu de vous protéger, de prendre soin de vous et de vous bénir

A ma chère collègue "**Fatima Zahra**" qui m'a toujours soutenue et encouragée au cours de la réalisation de ce mémoire.

A tout ce que ma plume n'a pas mentionné, mais il existe dans le cœur

Je remercie toute les personnes proches, et qui ont participé de près ou de loin, directement ou indirectement à la réalisation de ce travail





Remerciements

Premièrement et avant tout nous remercions le Dieu le plus gracieux et le plus miséricordieux, le plus clément qui nous a donné la force, la patience et le courage pour accomplir ce travail, et qui nous a procurés cette réussite, ainsi que l'audace pour dépasser toutes les difficultés.

Je tiens à remercier vivement notre encadreur **Mr: BAZI SMAIL** qui a sacrifié un grand effort afin de me permettre de mener à bien le présent travail et à qui j'exprime ma gratitude et mon respect.

. Nous tenons à remercier vivement, les enseignantes au centre

Universitaire **Abdelhafid BOUSSOUF, MILA**, pour l'honneur qu'il nous fait en

acceptant d'être président du jury, nous lui exprimons notre

profond respect et notre sincère reconnaissance.

Notre gratitude et reconnaissance, enseignante aux

centre universitaire **Abdelhafid BOUSSOUF, MILA**, nous vous sommes très

reconnaissant de la spontanéité et de l'amabilité avec lesquelles vous avez accepté de juger notre travail.

Enfin, j'dresse mes remerciements à tous mes enseignants du Département D'Electromécanique et à toutes

les Personnes qui, de manière directe ou indirecte, ont contribué à l'aboutissement de ce travail

Et afin de n'oublier personne, mes vifs remerciements s'adressent à tous

ceux qui nous ont aidé à la réalisation de ce modeste travail



Nomenclature

s, r	Indice du stator, du rotor.
d, q	Indice des composantes orthogonales directs et en quadrature.
R_s, R_r	Résistance statorique, rotorique.
R_{cc}	Résistance de portion court-circuitée.
L_s, L_r	Inductance propre statorique, rotorique.
I_{cc}	Courant de court -circuit.
M	Mutuelle inductance cyclique stator-rotor.
Φ_s, Φ_r	Respectivement flux statorique et rotorique.
$\Phi_{ds}, \Phi_{qs}, \Phi_{dr}, \Phi_{qr}$	Respectivement flux statorique et flux rotorique.
Φ_m	Flux magnétisant.
Φ_f	Flux de fuite.
Φ_{cc}	Flux de court-circuit.
V_s, V_r	Tension simple respectivement statorique et rotorique.
$[R_s]$	Matrice des résistances statoriques.
$[R_r]$	Matrice des résistances rotoriques.
$[M_{sr}]$	Matrice mutuelle inductance stator- rotor.
$[V_s]$	Vecteur des tensions statoriques.
$[V_r]$	Vecteur des tensions rotoriques.
$[I_s]$	Vecteur des courants statoriques.
$[I_r]$	Vecteur des courants rotoriques.
Ω_r	Vitesse mécanique du rotor.
θ_s, θ_r	Angle électrique statorique, rotorique.
ω_s, ω_r	Pulsation statorique , rotorique.
ω_m	Pulsation mécanique.
f_s	Fréquence du stator.
P	Nombre de paire de pole.
N_s, N_r	Nombre de spire statorique, rotorique.
G	Glissement.
C_{em}	Couple électromagnétique.
J	Inertie de la machine.
C_r	Couple résistant.
F	Coefficient de frottement visqueux.
η_{cc}	rapport de court circuit entre spire.
η_0	rapport de barres cassées.
FFT	Fast Fourier Transform.

Sommaire

Sommaire

Titre	Page
Remerciements	
Dédicaces	
Sommaire	
Liste des tableaux	
Liste des figures	
Remerciements	
Dédicaces	
Introduction générale	1
Chapitre 01 : Etat de l'art	2-11
I. INTRODUCTION	2
II. Description et constitution du moteur asynchrone	2
II.1 le stator	3
II.2 Le rotor	4
III les différents défauts de la machine asynchrone	5
III .1 les Défauts d'ordre mécanique	5
III.1.1 Défaillances des roulements	5
III.1.2 Défaillances du flasque	6
III.1.3 Défaillances de l'arbre	6
III .2 : les Défauts d'ordre électriques	7
III.2.1 Défaillances des circuits électriques rotoriques	7
III.2.1.1 Rupture de barres	7
III.2.1.2 Rupture d'une portion d'anneau de court-circui	8
III.2.2 Défaillances des circuits électriques statoriques	8
IV Les différentes méthodes pour détecter les défauts de la MAS	9
V Conclusion	11
Chapitre 02 : Modélisation de la machine asynchrone en présence des défauts	12-32
II.1 Introduction	12
II. 2 Modèle de la machine asynchrone dédié au diagnostic	12
II. 2.1 Hypothèse de travail	12
II.2.2 Équations électriques	13
II.2.3 Equations magnétiques	14
II.2.4 Equation mécanique	14

Sommaire

II.3 Changement de référentiel	15
II.3.1 Transformation de Park	15
II.3.2 Choix du référentiel	16
II.3.3 Modèle vectoriel de la machine asynchrone	16
II.4 Relation de passage entre référentiels	17
II.4.1 Model tension et flux	17
II.5 Model d'état de la machine asynchrone saine et en défaut	19
II.5.1 Model d'état de la machine saine	19
II.5.2 Model d'état de la machine avec défauts	21
II.5.3 Défaut statoriques de type court-circuit	21
II.5.4 Défaut rotoriques de type rupture de barres	25
II.5.5 Modèle de défauts mixte stator et rotor	27
II.5.6 Défaut d'alimentation déséquilibre des phases	28
II.6 Résultat et discussion de la simulation des modèles présentés	28
II.7 Conclusion	32
Chapitre 03 : Diagnostic des défauts de la machine asynchrone par analyse spectrale	33-43
III.1 Introduction	33
III.2 La Transformée de Fourier Rapide	33
III.3 Défaut de barres rotoriques	33
III.4 Défaut de de court-circuit	40
III.5 Conclusion	43
Conclusion générale	44
Références bibliographiques	45

Liste des tableaux

Tableau	Titre	Page
Tableau (III.1)	ou on a prélevé différentes valeurs de la fréquence des cassures de barres et la vitesse de rotation de l'arbre en fonction de la charge insérée	39

Liste des Figures

Figure	Titre	page
Figure (I.1)	Elément constituant le moteur asynchrone à cage d'écureuil.	3
Figure (I.2)	Stator du moteur asynchrone.	4
Figure (I.3)	Rotor à cage d'écureuil.	5
Figure (I.4)	Sources de défauts de la machine asynchrone à cage (a), et leurs recensements (b)	6
Figure (I.5)	le roulement à bille	7
Figure (I.6)	Circuit élémentaire montrant la rupture de barre.	9
Figure (I.7)	Rupture d'une barre et d'un anneau de court-circuit.	10
Figure (I.8)	Représentation des différents défauts statoriques possible.	10
Figure (II.1)	Model triphasé de la machine asynchrone.	13
Figure (II.2)	Transformation de PARK	16
Figure (II.3)	Choix du référentiel dans un système d'axes commun	19
Figure (II.4)	Enroulements triphasés avec court-circuit	24
Figure (II.5)	Modèle général de court-circuit dans le repère de Park	27
Figure (II.6)	Modèle général de rupture de barre dans le repère de Park	28
Figure (II.7)	Modèle mixte de court-circuit et rupture de barre dans le repère de Park	29
Figure (II.8)	Paramètres, de la MAS saine, simulés : (a) courant des trois phases. (b) vitesse. (c) couple électromagnétique.	31
Figure (II.9)	Paramètres, de la MAS avec défaut de court-circuit, simulés : (a) courant des trois phases. (b) vitesse. (c) couple électromagnétique. Le rapport de court-circuit ($\eta_{cc1}=15\%$, $\eta_{cc2}=0$, $\eta_{cc3}=0$)	32
Figure (II.10)	Paramètres, de la MAS avec défaut de court-circuit, simulés : (a) courant des trois phases. (b) vitesse. (c) couple électromagnétique. Le rapport de rupture de barre, $\eta_0=0.2500$	33
Figure (III.1)	courant de la phase (as) du stator avec introduction de $C_r=40Nm$ et le défaut de rupture de barre avec un rapport de $\eta_0=0.250$	34
Figure (III.2)	fréquence de la portion saine du courant du stator de la phase (as)	34

Liste des Figures

Figure (III.3)	Les composantes, autour du fondamental, caractérisant le défaut de barres pour un glissement de $g=0.06$ et une charge de $Cr=40$ Nm.	35
Figure (III.4)	Le spectre de raie pour une charge nulle.	36
Figure (III.5)	Le spectre de raie pour une charge $Cr=10$ Nm et $g=1.02\%$	36
Figure (III.6) :	Le spectre de raie pour une charge $Cr=20$ Nm et $g=3\%$	37
Figure (III.7)	Le spectre de raie pour une charge $Cr=30$ Nm et $g=4\%$	37
Figure (III.8)	Le spectre de raie pour une charge $Cr=40$ Nm et $g=6\%$	38
Figure (III.9)	Le spectre de raie pour une charge $Cr=50$ Nm et $g=8\%$	38
Figure (III.10)	Le spectre de raie pour une charge $Cr=60$ Nm et $g=12\%$	39
Figure (III.11)	Le spectre de raie pour un essai à vide et $rcc1=10\%$.	40
Figure (III.12)	Le spectre de raie pour un essai en charge, $Cr=10$ Nm, et $rcc1=10\%$.	41
Figure (III.13)	Le spectre de raie pour un essai en charge, $Cr=20$ Nm, et $rcc1=10\%$.	41
Figure (III.14)	Le spectre de raie pour un essai en charge, $Cr=30$ Nm, et $rcc1=10\%$.	42
Figure (III.15)	Le spectre de raie pour un essai en charge, $Cr=40$ Nm, et $rcc1=10\%$.	42

Introduction Générale

Introduction générale :

Les moteurs asynchrones sont les moteurs les plus robustes en raison de leur construction, et les moins cher du marché. La machine est largement utilisée dans la plupart des entraînements électriques dans plusieurs secteurs industriels, en particulier les applications à vitesse variable. Comme toute autre machine, la machine à induction ne peut éviter les pannes. Elle peut être affectée par une panne électrique ou mécanique au niveau du stator ou du rotor, ou les deux, [1]. Les défauts peuvent être aussi dus à de simples problèmes de fabrication ou à une mauvaise utilisation. Parfois, l'environnement d'exploitation de la machine est responsable de la détérioration de la machine (environnement de corrosion, environnement chimique, etc.). Ainsi en effet, un arrêt soudain dû à une anomalie aléatoire peut entraîner une perte financière (perte de production, retards de livraison, etc.) ce qui influe sur la rentabilité de l'entreprise, [2]. Par conséquent, la détection rapide et précoce des défauts est nécessaire afin d'intervenir au plus vite et minimiser les effets induits (arrêt chaîne de production, perte de produit, etc.). Cela a encouragé les fabricants à équiper leurs lignes de production de systèmes sophistiqués de détection et diagnostic des défauts, [3].

Le travail réalisé dans ce mémoire présente le diagnostic des défauts du moteur à induction par analyse spectrale du courant par la Transformée de Fourier rapide (TFR) soit en anglais anglais Fast Fourier Transform (FFT). Pour mener à bien ce travail, le mémoire est subdivisé en trois chapitres :

Le premier chapitre traitera la présentation de la machine asynchrone, sa description, sa constitution et son principe de fonctionnement. Puis il exposera Les différents défauts qui peuvent apparaitre dans une machine asynchrone. Après cela, quelques techniques utilisées pour la détection des défauts dans le moteur asynchrone sont citées.

Le deuxième chapitre sera exploité pour la modélisation et la simulation de la machine asynchrone dans les deux régimes sain et défectueux avec présentation des résultats et discussion des différents essais de simulation.

Le troisième chapitre présentera la méthode de diagnostic des défauts dans la machine asynchrone par analyse spectrale du courant par (FFT) et cela par analyse de deux défauts ; le court-circuit des spires d'une phase stator et le défaut de rupture de barre.

Enfin, le présent travail est clôturé par une conclusion générale pour évaluer les résultats obtenus et les perspectives souhaitées.

Chapitre 01
Etat de l'art

I. INTRODUCTION

Le moteur asynchrone est le plus populaire dans les petites et hautes applications industrielles. Il est Simple, car cet actionneur possède de nombreux avantages, à savoir la puissance spécifique, sa robustesse, sa facilité de mise en œuvre et son faible coût. De plus, l'évolution de l'électronique de puissance, ces dernières décennies, a assuré que le contrôle électronique des moteurs à induction est davantage favorisé dans les environnements industriels. Sa vaste utilisation le met objet de différentes défaillances de nature électrique ou mécanique. Ainsi, en raison des conséquences non souhaitables que peut engendrer l'apparition des défauts sur le processus industriel, le diagnostic des défauts fait l'objet d'un intérêt accru depuis les trois dernières décennies.

Ce premier chapitre présentera les éléments constitutifs du moteur asynchrone triphasé à cage et son principe de fonctionnement. Par la suite, il établira une synthèse des pannes dont pouvait souffrir la machine et les différentes méthodes de diagnostic utilisées pour remédier à toutes anomalies de fonctionnements.

II. Description et constitution du moteur asynchrone

Le moteur asynchrone, ou moteur à induction, est un moteur électrique à courant alternatif, sans connexion entre le stator et le rotor. Le terme asynchrone provient du fait que la vitesse de rotation du rotor est différente de celle du champ tournant statorique. Son principe est basé sur l'effet de la propulsion électromagnétique, la figure (I.1) présente une vue éclatée sur la constitution du moteur asynchrone, [4].

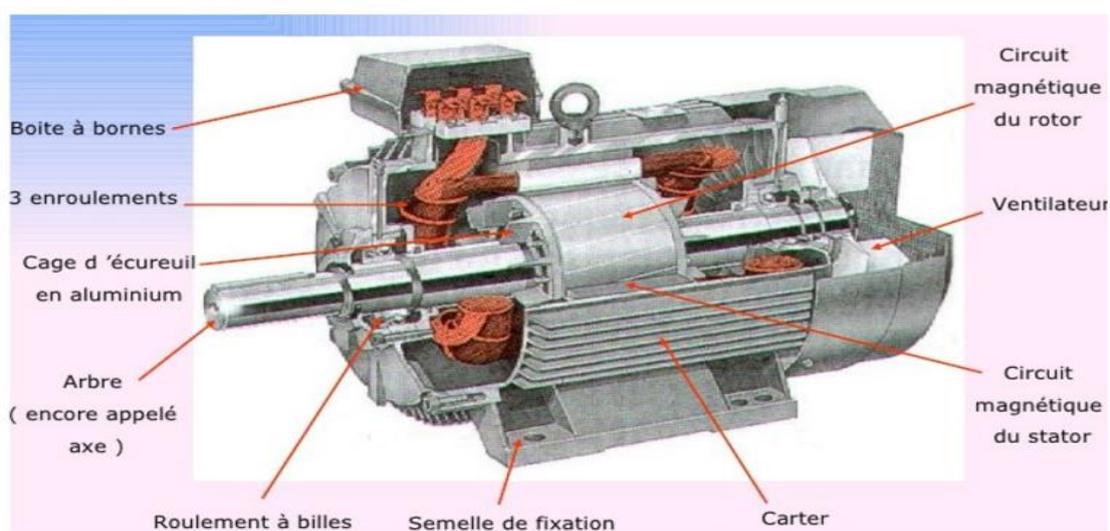


Figure (I.1) : Elément constitutifs le moteur asynchrone à cage d'écurieil.

Il est constitué d'une partie fixe le stator, les enroulements (bobinages) du stator sont logés dans une carcasse en acier et ils sont raccordés à une plaque à borne permettant le branchement sur le réseau. D'une partie mobile nommée le rotor qui est soit à cage d'écureuil ou de type rotor bobiné, et les paliers qui sont responsables de la mise en rotation de l'arbre (rotor).

II.1 le stator

Le stator d'un moteur asynchrone représente la partie fixe, il comporte une carcasse en acier renfermant un empilage de tôles minces identiques isolées entre elles par oxydation ou par vernis qui constituent un cylindre creux, ces tôles sont percées de trous à leur périphérie intérieure.

L'alignement de ces trous forme des encoches dans lesquelles on loge un bobinage généralement triphasé, le tout est trempé dans un vernis qui pénètre jusqu'au fond des encoches et imprègne le bobinage au complet, Figure (I.2), [5].

Le stator d'une machine triphasée comporte 3 enroulements donc 6 bornes, il est constitué des composants suivants :

- De la carcasse
- Des paliers
- Des flasques
- Du ventilateur
- Le cache du ventilateur

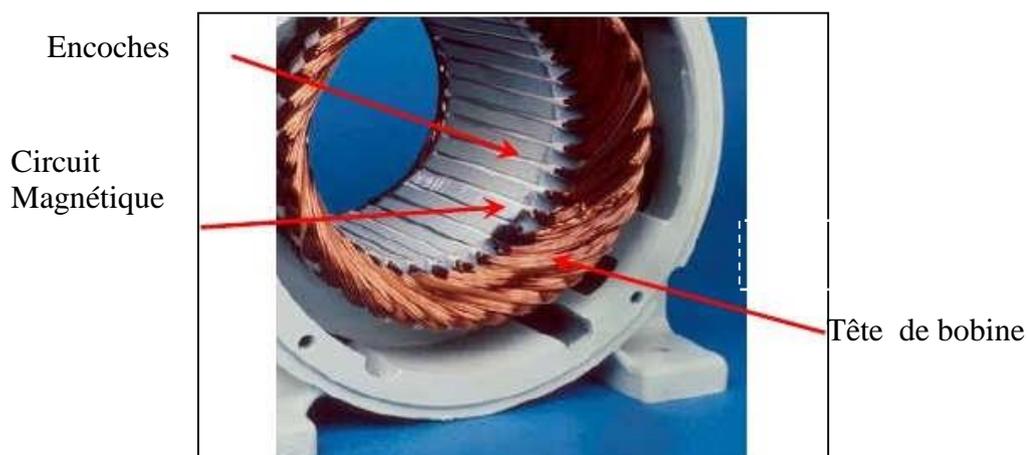


Figure (I.2) : Stator du moteur asynchrone.

II.2 Le rotor

Le rotor est la partie mobile dans la machine, il se compose d'un cylindre de tôles feuilletées poinçonnées à leur périphérie extérieure pour former les encoches destinées à recevoir des conducteurs. Il est séparé du stator par un entrefer très court de l'ordre de 0.4 à 2 mm seulement. Il existe deux types de rotor : Le rotor à cage d'écureuil et le rotor bobiné.

Dans notre cas on s'intéresse au rotor à cage d'écureuil, Figure (I.3). Ce rotor est formé de barres de cuivre ou d'aluminium nues conductrices du cylindre rotorique. Les barres sont situées dans les encoches et réunies à leurs deux extrémités par des anneaux conducteurs qui les court-circuitent Figure (I.3). Un rotor à cage d'écureuil peut toujours être considéré comme ayant un nombre de pôles égal au nombre de pôles du stator, [5].

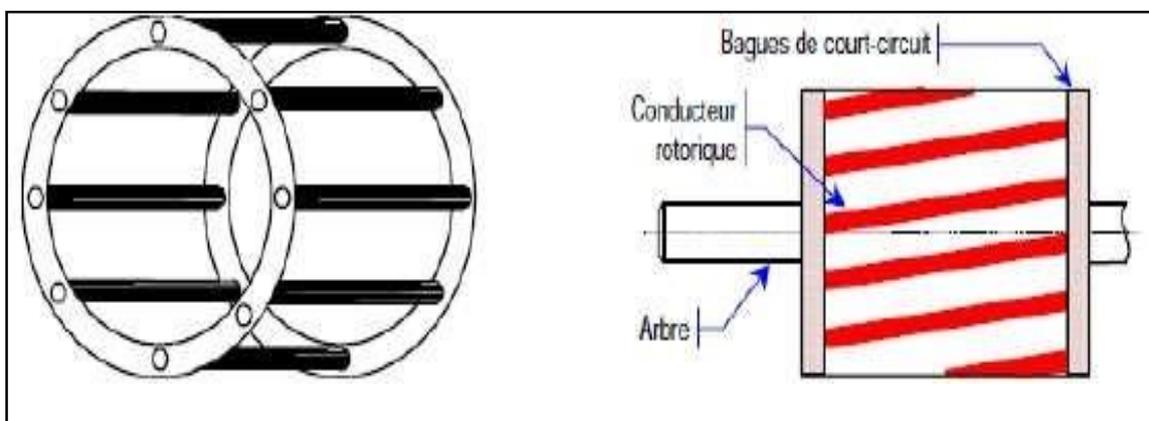


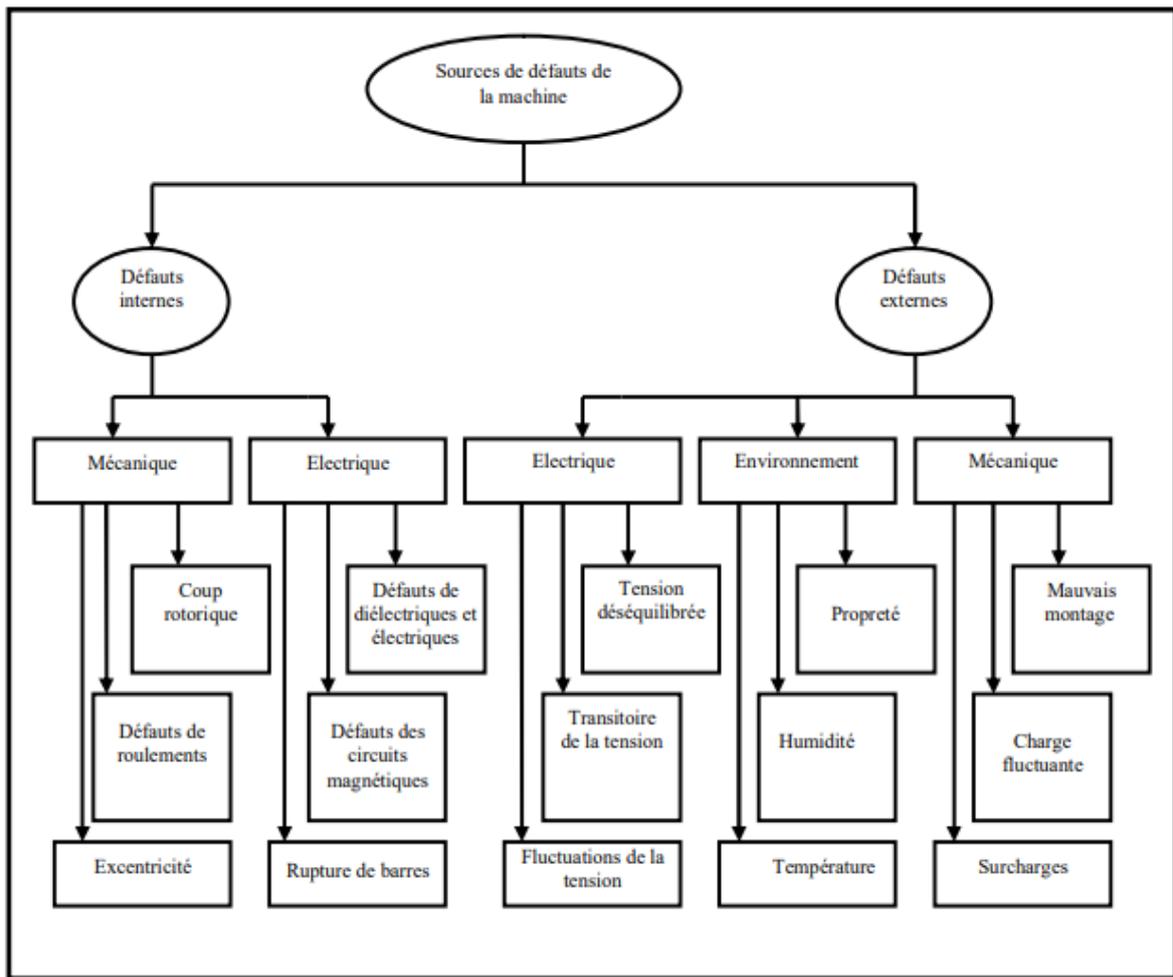
Figure (I.3) : Rotor à cage d'écureuil.

II.3 Les paliers

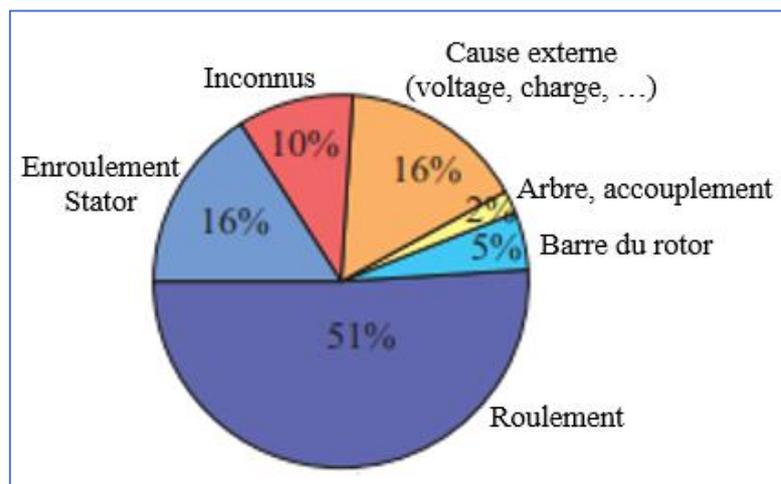
Les paliers, qui permettent de supporter et de mettre en rotation l'arbre rotorique, sont constitués de flasques et de roulements à billes insérés à chaud sur l'arbre. Les flasques, moulées en fonte, sont fixées sur le carter statorique grâce à des boulons ou des tiges. L'ensemble ainsi établi constitue alors le moteur asynchrone à cage d'écureuil, [6].

III. les différents défauts de la machine asynchrone

Différents défauts peuvent affecter le moteur asynchrone, de nature électrique ou mécanique et de source interne ou externe. Ci-après l'énumération de ces défauts et leurs pourcentage, figure (I.4).



(a)



(b)

Figure (I.4) : Sources de défauts de la machine asynchrone à cage (a), et leurs recensements (b), [7-8].

III.1 les Défauts d'ordre mécanique

Les défauts mécaniques sont souvent les défauts les plus rencontrés dans la machine asynchrone, Ces défauts peuvent apparaître dans les roulements à billes, les brides ou même les arbres. Arbre, par exemple déséquilibrés et mal alignés.

III.1.1 : Défaillances des roulements

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

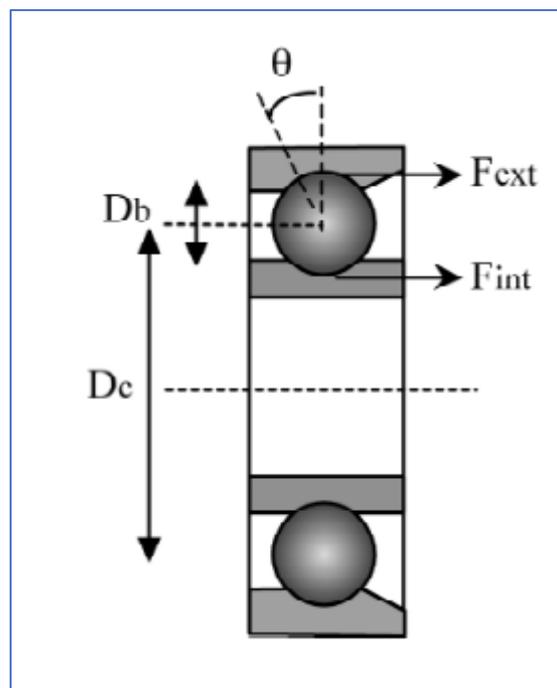


Figure (I.5) : le roulement à bille [9]

La relation entre les vibrations des roulements à billes et le spectre du courant statorique est basée sur le fait que toutes les excentricités interfèrent sur le champ dans l'entrefer de la machine asynchrone. Un défaut de roulement à billes se manifeste par la répétition continue du contact défectueux avec la cage de roulement extérieur comme intérieur, [9].

III.1.2 Défaillances du flasque

Les défauts créés par les flasques de la machine asynchrone sont le plus généralement causés à l'étape de fabrication. En effet, un mauvais positionnement des flasques provoque un désalignement des roulements à billes, ce qui induit une excentricité au niveau de l'arbre de la machine. Il est possible de détecter ce type de défaillance par une analyse vibratoire ou une analyse harmonique des courants absorbés par la machine, [10].

III.1.3 Défaillances de l'arbre

Ces défaillances ont pour cause des fissures sur l'arbre dues à un mauvais choix du matériau ou une mauvaise construction de la machine. Sous l'action des différentes contraintes mécaniques, dynamiques, résiduelles, thermiques, électromagnétiques et environnementales, les fissures peuvent entraîner la fracture nette de l'arbre provoquant l'arrêt immédiat de la machine. D'autre part, l'utilisation de la machine dans des milieux corrosifs entraîne l'apparition de microfissures pouvant conduire à la destruction de la machine. Les différents défauts d'excentricité peuvent aussi entraîner la fatigue de l'arbre en induisant des efforts supplémentaires, [10].

III.2 les Défauts d'ordre électriques

Ils sont différents à savoir :

III.2.1 Défaillances des circuits électriques rotoriques

Les défauts les plus courants au niveau du rotor peuvent être définis comme suit :
Rupture de barres et Rupture d'une portion d'anneau de court-circuit.

III.2.1.1 Rupture de barres

Au cours de ces deux dernières décennies, il y a eu poursuite des efforts à l'étude et le diagnostic des défauts dans les machines asynchrones et, en particulier, de nombreux travaux ont été consacrés au problème de la rupture des barres rotoriques ainsi que le développement de techniques de diagnostic. Certains travaux de recherches ont été basés sur la technique des éléments finis (EF) où de plus amples informations peuvent être récupérées à des fins de diagnostic. Il est bien établi d'utiliser des courants de ligne comme un paramètre indicatif qui peut donner un aperçu de la base d'un système de surveillance de l'état non-invasive pour la détection précoce des dégradations. Un autre effort de recherche a été axé sur l'analyse de la signature du courant statorique afin de détecter les défauts électriques et mécaniques affectant les moteurs à induction. Un autre problème constamment signalé dans la littérature et qui a également reçu beaucoup d'attention de la part des chercheurs, c'est l'échec lié à l'échauffement. Pour par exemple,

des recherches ont été menées sur les ventilateurs de refroidissement des moteurs à induction par une analyse de la sensibilité thermique. Dans cette référence, les problèmes de conception thermique ont été examinés et des algorithmes d'optimisation de conception ont également été développés. Une analyse thermique magnétique couplée d'un moteur à induction ayant pour objectif principal de parvenir à une prédiction rapide et précise de la performance IM a été proposée dans Le problème de l'échauffement d'un moteur lorsque l'une des barres du rotor est totalement cassée a été simulé dans certains journaux ; certains documents ont étudié les caractéristiques de l'échauffement et la distribution de la chaleur du moteur avec les rotors sains et Bien que de nombreux journaux aient couvert ce domaine de recherche, des problèmes techniques persistent encore lors de l'analyse des champs thermiques des moteurs électriques en présence des défauts de rupture des barres de la cage rotorique, [8].

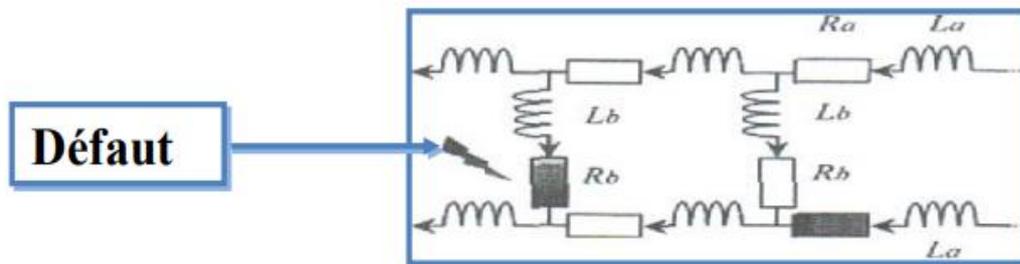


Figure (I.6) : Circuit élémentaire montrant la rupture de barre.

III.2.1.2 Rupture d'une portion d'anneau de court-circuit :

La rupture de portion d'anneaux est un défaut qui apparaît aussi fréquemment que celui de la cassure de barres. Les fissures sont dues aux dilatations différentielles entre les barres et les anneaux. Comme il est difficile de détecter ce défaut car il est généralement groupé, voir confondu, avec la rupture de barres dans les études statistiques. Ces portions d'anneaux de court-circuit véhiculent des courants plus importants que ceux des barres rotoriques. De ce fait, un mauvais dimensionnement des anneaux, une détérioration des conditions de fonctionnement (température, humidité,...) ou une surcharge de couple et donc de courants, peuvent entraîner leur cassure. La rupture d'une portion d'anneau déséquilibre la répartition des courants dans les barres rotoriques et de ce fait, elle engendre un effet de modulation d'amplitude sur les courants statoriques, tout à fait similaire à celui provoqué par la cassure de barre, [8].

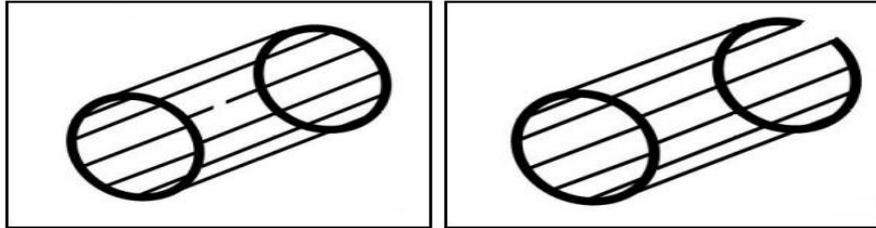


Figure (I.7) : Rupture d'une barre et d'un anneau de court-circuit.

III.2.2 Défaillances des circuits électriques statoriques

L'apparition d'un défaut au niveau des circuits électriques statorique de la machine asynchrone peut avoir des origines diverses. On peut citer à titre d'exemple, les défauts de type courts-circuits inter-spires qui apparaissant à l'intérieur des encoches statoriques. Ce type de défauts peut être causé par une dégradation des isolants des spires du bobinage statorique. On peut citer aussi les courts-circuits qui apparaissant entre une phase et le neutre, entre une phase et la carcasse métallique de la machine ou entre deux phases statoriques. Les courts-circuits entre spires est donc le défaut le plus fréquemment rencontré au stator, la figure (I.8) schématise les différents courts-circuits rencontrés, [11].

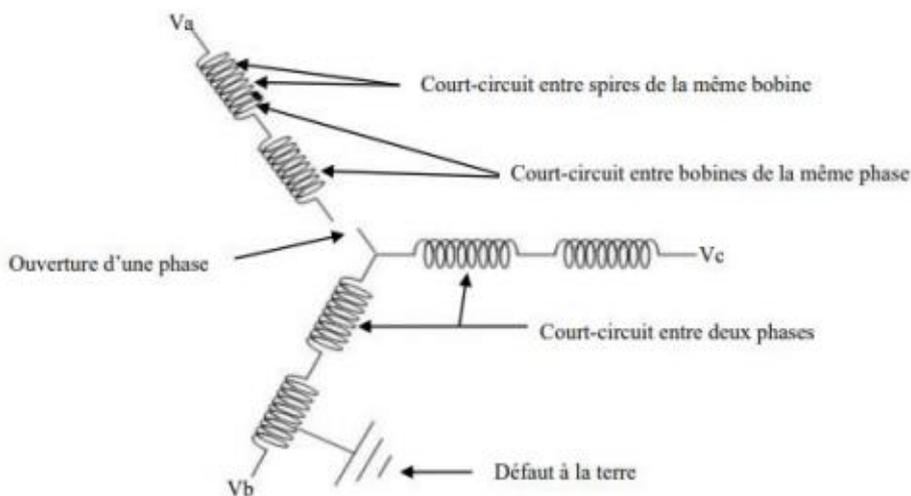


Figure (I.8) : Représentation des différents défauts statoriques possible [11].

IV. Les différentes méthodes pour détecter les défauts de la MAS

Les techniques utilisées pour détecter les défauts dans les moteurs asynchrones sont nombrables. En effet, elles sont internes ou externes.

IV.1 Détection à partir des méthodes internes

Elles sont extraites principalement de l'automatique et supposent une connaissance préalable du système. Elles se basent sur le suivi d'évolution des caractéristiques du système étudié ou sur la différence entre le modèle et le processus. Une comparaison entre les paramètres mesurés ou estimés dans les deux modes de fonctionnement, nous renseigne sur la présence éventuelle de défaut. On cite deux approches qui peuvent être utilisées pour diagnostiquer les défauts à partir des modèles paramétriques, [8].

IV.1.1 La surveillance par les observateurs

Les observateurs, en général, sont introduits dans les lois de commande de la machine. Ils sont utilisés selon les performances désirées du système commandé. Un défaut se traduisant par la divergence du modèle, il peut se voir par l'altération des grandeurs observées par rapport aux grandeurs mesurées. La comparaison de la sortie réelle avec la sortie observée peut donc fournir des informations exploitables pour la détection et la localisation des défauts.

IV.1.3 La surveillance par estimation paramétrique

Cette méthode se base sur un algorithme d'optimisation de l'erreur entre les paramètres du modèle et ceux de système étudié. Les paramètres peuvent aussi être identifiés en cours de fonctionnement à l'aide d'observateurs étendus. Le plus couramment utilisé est le filtre de Kalman. C'est un algorithme qui peut identifier les paramètres en temps réel, tel que la résistance lors de l'échauffement.

IV.2 Détection à partir des méthodes externes

Ces techniques se basent sur l'analyse spectrale des signaux ou des mesures que fournit la machine lors de son fonctionnement telle que les courants, le couple estimé et les flux. Le principe de ces méthodes repose sur l'existence de caractéristiques fréquentielles propres au fonctionnement sain et défaillant du procédé.

L'analyse fréquentielle peut se faire sur :

- La surveillance des vibrations avec des capteurs de vibrations (accéléromètres...).

- La surveillance du couple électromagnétique.
- La surveillance du flux.
- L'analyse du courant de phase avec la méthode MCSA (Motor Current Signature Analysis) parce que les machines sont généralement équipées d'un capteur de courant.
- Analyse de la température par l'imagerie.
-

V. Conclusion :

Dans ce chapitre, nous avons abordé la description et la constitution du moteur asynchrone à cage. Ensuite, une citation des différents défauts, que peut subir le moteur, est exposée, tels que le court-circuit entre spire, la rupture des barres et les défauts de roulements.

Enfin, nous avons présenté quelques techniques qui sont utilisées pour la détection des défauts dans le moteur asynchrone. Parmi ces techniques celles qui utilisent un modèle théorique qui imitent les modèles réels, la simulation, qui sera l'objet du deuxième chapitre.

Chapitre 02
Modélisation de la
machine asynchrone
en présence des défauts

II.1 Introduction

La machine asynchrone, en raison de son faible coût et de sa robustesse, est actuellement la machine la plus utilisée dans le domaine de l'industrie. Elle présente un système dynamique non linéaire. Lors de son utilisation elle peut subir plusieurs défauts tel que les courts circuits des spires du stator, les ruptures de barres du rotor et les défauts de roulement et autres.

La simulation est un moyen d'étude efficace pour imiter le comportement réel de la machine asynchrone que ce soit dans cette commande ou dans son diagnostic.

La modélisation et la simulation de la machine asynchrone a fait l'objet de plusieurs travaux, que ce soit dans le but du dimensionnement, commande ou le diagnostic. Donc, la diversité des objectifs a fait paraître plusieurs techniques de modélisation ainsi que leurs simulations.

Ce chapitre présentera la modélisation linéarisée de la machine asynchrone, en régime sain et défectueux, en la mettant sous forme d'état afin de valider cette modélisation par une simulation implantée sous le logiciel MATLAB.

II. 2 Modèle de la machine asynchrone dédié au diagnostic

Ce modèle s'appuie sur la transformation de Park pour l'étude des machines asynchrones en régime dynamique, et se base sur les hypothèses simplificatrices suivantes [12-13]:

II. 2.1 Hypothèse de travail

- la répartition de la force magnétomotrice est sinusoïdale.
- la machine est supposée symétrique (à grandeurs périodiques).
- le rotor est représenté par un bobinage triphasé équivalent.
- les pertes fer sont négligées et l'entrefer est lisse.
- Les circuits magnétiques sont non saturés et l'effet de peau est négligé.

Dans ces conditions, si on considère que le moteur à induction est triphasé au stator et au rotor figure (II.1). Les trois types d'équations traduisant le comportement du moteur sont :

- Les équations électriques.
- Les équations magnétiques.
- L'équation mécanique.

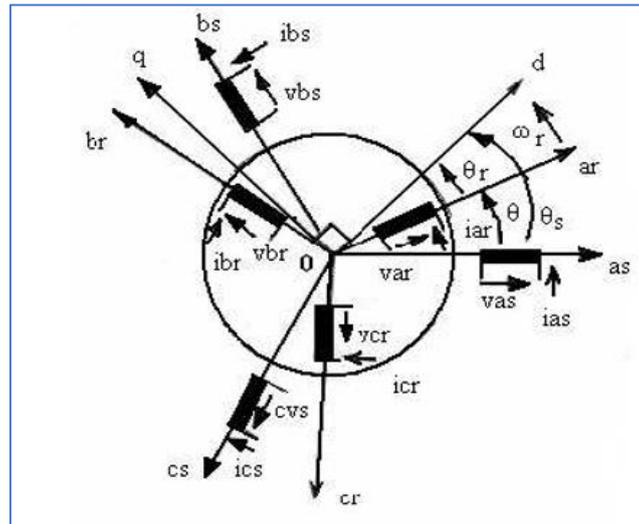


Figure (II.1) : Model triphasé de la machine asynchrone.

II.2.2 Équations électriques

Les enroulements des trois phases statoriques sont décalés dans l'espace d'un angle de $2\pi/3$ et également ceux du rotor et peuvent être représentés comme indiquée sur la figure (II.1). Les phases rotoriques sont court circuitées sur elles-mêmes. θ , est l'angle électrique entre l'axe de la phase (a_s) statorique et la phase (a_r) rotorique. En appliquant la loi d'Ohm généralisée à chaque phase du stator (respectivement rotor), on aura les équations de tension suivantes [12].

$$\begin{cases} [V_s] = [R_s][I_s] + \frac{d}{dt}[\Phi_s] \\ [V_r] = [R_r][I_r] + \frac{d}{dt}[\Phi_r] \end{cases} \quad (II-1)$$

où :

$[X_{s,r}] = [X_a \ X_b \ X_c]^T$: Vecteur d'élément tension ou courant ou flux statorique (respectivement rotorique).

avec :

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

$[R_s]$: matrice des résistances statorique.

R_s : résistance d'une phase du stator.

$[R_r]$: matrice des résistances rotorique.

R_r : résistance d'une phase du rotor.

II.2.3 Equations magnétiques

Les hypothèses, présentées précédemment, conduisent à une matrice des inductances qui établit les relations linéaires entre les flux totalisés et les courants :

$$\begin{cases} [\Phi_s] = [L_{ss}][I_s] + [M_{sr}][I_r] \\ [\Phi_r] = [M_{rs}][I_s] + [L_{rr}][I_r] \end{cases} \quad (II-2)$$

tel que : $[M_{rs}] = [M_{sr}]^T$ et : $[L_{ss}] = \begin{bmatrix} l_s & m_s & m_s \\ m_s & l_s & m_s \\ m_s & m_s & l_s \end{bmatrix}$, $[L_{rr}] = \begin{bmatrix} l_r & m_r & m_r \\ m_r & l_r & m_r \\ m_r & m_r & l_r \end{bmatrix}$

$$[M_{sr}] = [M_{rs}] = M_0 \begin{bmatrix} \cos\theta & \cos(\theta + \frac{2\pi}{3}) & \cos(\theta - \frac{2\pi}{3}) \\ \cos(\theta - \frac{2\pi}{3}) & \cos\theta & \cos(\theta + \frac{2\pi}{3}) \\ \cos(\theta + \frac{2\pi}{3}) & \cos(\theta - \frac{2\pi}{3}) & \cos\theta \end{bmatrix}$$

$[M_0]$: Représente la valeur maximale des inductances mutuelles entre phases statoriques et rotoriques, il est obtenu lorsque les axes sont alignés.

θ : L'angle de rotation du rotor par rapport au stator.

$[L_{ss}]$: Matrice d'inductances statorique.

$[L_{rr}]$: Matrice d'inductances rotorique.

$[M_{sr}]$: Matrice des inductances mutuelle stator-rotor.

$L_s = l_s - m_s$: Inductance propre cyclique du stator.

$L_r = l_r - m_r$: Inductance propre cyclique du rotor.

$M = \frac{3}{2} M_0$: La mutuelle inductance cyclique stator-rotor.

II.2.4 Equation mécanique

Pour étudier les caractéristiques dynamiques, on introduit l'équation du mouvement suivante :

$$J \frac{d\Omega}{dt} = C_e - C_r - f_v \Omega$$

(II-3)

J : moment d'inertie de la partie tournante.

Ω : vitesse mécanique du moteur

f_v : coefficient de frottement visqueux

C_e : couple électromagnétique.

C_r : couple de charge.

Le stator et le rotor de la machine asynchrone présentent une isotropie électrique et magnétique, ce qui implique que seule la matrice inductance mutuelle $[M_{sr}]$ est fonction de la position θ . Les coefficients des équations (II.1) et (II.2) sont donc variables, la résolution analytique du système devient pratiquement difficile d'où l'adaptation d'un changement de base sur les grandeurs physiques (tension, courant et flux) indépendant de la position θ , ce passage est appelé transformation de Park [13].

II.3 Changement de référentiel

II.3.1 Transformation de Park

Elle permet de transformer les enroulements statoriques et rotoriques disposés sur trois axes (a, b, c) en des enroulements équivalents du point de vue électriques et magnétiques disposés sur deux axes (d,q) ou (α,β).

Elle est constituée d'une transformation triphasé-diphasé suivie d'une rotation. Elle permet de passer du repère (a,b,c) vers le repère (α,β) puis vers le repère (d,q). Le repère (α,β) est toujours fixe par rapport au repère (a,b,c), par contre le repère (d,q) est mobile. Il forme avec le repère fixe (α,β) l'angle, dit angle de transformation de PARK.

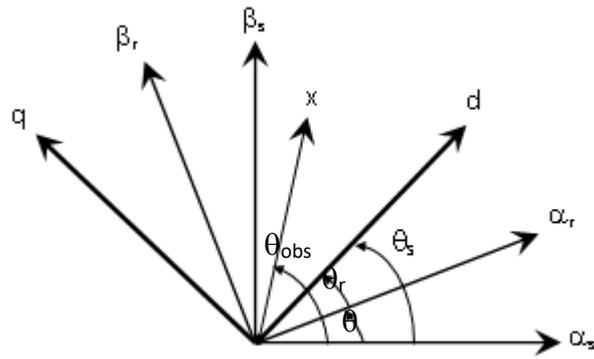


Figure (II.2) : Transformation de PARK

θ : l'angle de rotation du rotor par rapport au stator.

θ_s : angle de rotation de (d,q) par rapport au stator.

θ_r : angle de rotation de (d,q) par rapport au rotor.

Les angles sont liés par la relation : $\theta_s = \theta + \theta_r$

La transformation triphasé-diphasé est donnée par :

$$\begin{bmatrix} X_\alpha \\ X_\beta \end{bmatrix} = C_{32} \begin{bmatrix} X_a \\ X_b \\ X_c \end{bmatrix}, \quad C_{32} = k \begin{bmatrix} 1 & -\frac{1}{2} & -\frac{1}{2} \\ 0 & \frac{\sqrt{3}}{2} & -\frac{\sqrt{3}}{2} \end{bmatrix}$$

$k = \sqrt{\frac{2}{3}}$; utilisé pour les transformations conservant la puissance (Concordia).

$k = \frac{2}{3}$; utilisé pour les transformations conservant l'amplitude (Clark).

Afin de mieux visualiser l'échange d'énergie entre armatures, il est plus commode de ramener leurs équations à un référentiel commun d'observation [13]. D'où l'utilisation de la matrice de rotation $P(\theta_{OBS})$.

$$\begin{bmatrix} X_d \\ X_q \end{bmatrix} = P(\theta_{obs}) \begin{bmatrix} X_\alpha \\ X_\beta \end{bmatrix} ; \text{ avec : } P(\theta_{obs}) = \begin{bmatrix} \cos \theta_{obs} & \sin \theta_{obs} \\ -\sin \theta_{obs} & \cos \theta_{obs} \end{bmatrix} ;$$

Pour le stator : $\theta_{obs} = \theta_s$ et pour le rotor : $\theta_{obs} = \theta_r$.

II.3.2 Choix du référentiel

Le choix du référentiel se fait selon la commodité de l'application, il existe principalement trois cas [8] :

- ❖ référentiel commun lié au stator, $(T_{obs}) \equiv (S)$, $\omega_{obs}=0$, pour étudier les grandeurs du rotor.
- ❖ référentiel commun lié au rotor, $(T_{obs}) \equiv (R)$, $\omega_{obs}=\omega_r=p \cdot \Omega$, pour étudier les grandeurs du stator.
- ❖ référentiel commun lié au synchronisme statorique (champ tournant), $(T_{obs}) \equiv (C)$, $\omega_{obs}=\omega_s$; $\omega=\omega_s-\omega_r$, pour étudier la commande.

II.3.3 Modèle vectoriel de la machine asynchrone

L'interaction des champs magnétiques pulsatoires génèrent un champ magnétique tournant [9].

Tout vecteur peut être représenté par un vecteur tournant de la forme :

$$x = k(x_a + x_b e^{j\frac{2\pi}{3}} + x_c e^{-j\frac{2\pi}{3}}) \quad (II.4)$$

Compte tenu des relations entre différentes grandeurs, il est possible d'étendre la notion de vecteur tournant à tout ensemble de grandeurs triphasés $[I_s]$, $[V_s]$, $[\Phi_s]$, $[\Phi_r]$.

II.4.4 Relation de passage entre référentiels

Le changement de référentiel est une opération courante dans l'étude des machines tournantes. Elle permet de translater le spectre de signaux électriques sans altérer l'information véhiculée par ces derniers. Il est donc intéressant de pouvoir changer de repère selon notre besoin d'utilisation.

Sachant que la norme de \bar{x} définie par x est invariante quelques soient les repères en rotations :

- ❖ Dans le stator (S): $\bar{x}^{-(S)} = x \cdot e^{j\theta_s}$
- ❖ Dans le rotor (R): $\bar{x}^{-(R)} = x \cdot e^{j\theta_r}$

❖ Dans le référentiel tournant (T): $\bar{\mathbf{x}}^{-(T)} = \bar{\mathbf{x}} \cdot e^{j\theta_{\text{obs}}}$

Passage stator –rotor et réciproquement :

$$\bar{\mathbf{x}}^{(S)} = \bar{\mathbf{x}}^{(R)} e^{j\theta} \quad \text{ou} \quad \bar{\mathbf{x}}^{(R)} = \bar{\mathbf{x}}^{(S)} e^{-j\theta}$$

Passage stator – T_{OBS} et réciproquement :

$$\bar{\mathbf{x}}^{(S)} = \bar{\mathbf{x}}^{(T)} e^{j\theta_{\text{obs}}} \quad \text{ou} \quad \bar{\mathbf{x}}^{(T)} = \bar{\mathbf{x}}^{(S)} e^{-j\theta_{\text{obs}}}$$

Passage rotor – T_{OBS} et réciproquement :

$$\bar{\mathbf{x}}^{(R)} = \bar{\mathbf{x}}^{(T)} e^{j(\theta_{\text{obs}} - \theta)} \quad \text{ou} \quad \bar{\mathbf{x}}^{(T)} = \bar{\mathbf{x}}^{(R)} e^{-j(\theta_{\text{obs}} - \theta)}$$

II.4 Model tension et flux

Par application de la notion du vecteur tournant au système d'équation (I.1) et (I.2) on aura le système en terme vectoriel (complexe) comme suit :

$$\begin{cases} \bar{\mathbf{v}}_s^{(S)} = R_s \bar{\mathbf{i}}_s^{(S)} + \frac{d\bar{\Phi}_s^{(S)}}{dt} \\ \bar{\mathbf{v}}_r^{(R)} = R_r \bar{\mathbf{i}}_r^{(R)} + \frac{d\bar{\Phi}_r^{(R)}}{dt} \end{cases} \quad (\text{II.5})$$

$$\begin{cases} \bar{\Phi}_s^{(S)} = L_s \bar{\mathbf{i}}_s^{(S)} + M \bar{\mathbf{i}}_r^{(S)} \\ \bar{\Phi}_r^{(R)} = L_r \bar{\mathbf{i}}_r^{(R)} + M \bar{\mathbf{i}}_r^{(R)} \end{cases} \quad (\text{II.6})$$

L'exposant $^{(S)}$ (resp $^{(R)}$) dans les systèmes d'équation (I.5) et (I.6) signifie que les variables sont prises dans le référentiel stationnaire, tandis que l'indice $_{(s)}$ (resp $_{(r)}$), signifie qu'il s'agit des variables du stator (resp. du rotor). $\bar{\mathbf{V}}, \bar{\mathbf{I}}, \bar{\Phi}$: Sont respectivement les vecteurs de tension, de courant et de flux.

On utilisant les relations de passage, on ramène toutes les grandeurs au référentiel commun (T_{OBS}).

$$\begin{cases} \bar{v}_s^{(T)} e^{j\theta_{obs}} = R_s \bar{i}_s^{(T)} e^{j\theta_{obs}} + \frac{d(\bar{\Phi}_s^{(T)} e^{j\theta_{obs}})}{dt} \\ \bar{v}_r^{(T)} e^{j(\theta_{obs}-\theta)} = R_r \bar{i}_r^{(T)} e^{j(\theta_{obs}-\theta)} + \frac{d(\bar{\Phi}_r^{(T)} e^{j(\theta_{obs}-\theta)})}{dt} \end{cases} \quad (II.7)$$

Après simplification on aura le système d'équation vectorielle de tension qui représente le modèle de la machine dans le référentiel du champ tournant.

$$\begin{cases} \bar{v}_s^{(T)} = R_s \bar{i}_s^{(T)} + \frac{d\bar{\Phi}_s^{(T)}}{dt} + j\omega_{obs} \bar{\Phi}_s^{(T)} \\ \bar{v}_r^{(T)} = R_r \bar{i}_r^{(T)} + \frac{d\bar{\Phi}_r^{(T)}}{dt} + j(\omega_{obs} - \omega_r) \bar{\Phi}_r^{(T)} \end{cases} \quad (II.8)$$

Et également la représentation du modèle flux :

$$\begin{cases} \bar{\Phi}_s^{(T)} = L_s \bar{i}_s^{(T)} + M \bar{i}_r^{(T)} \\ \bar{\Phi}_r^{(T)} = L_r \bar{i}_r^{(T)} + M \bar{i}_s^{(T)} \end{cases} \quad (II.9)$$

Le couple électromagnétique :

$$C_e = p \frac{M}{L_r} (\bar{i}_s \wedge \bar{\Phi}_r) \quad (II.10)$$

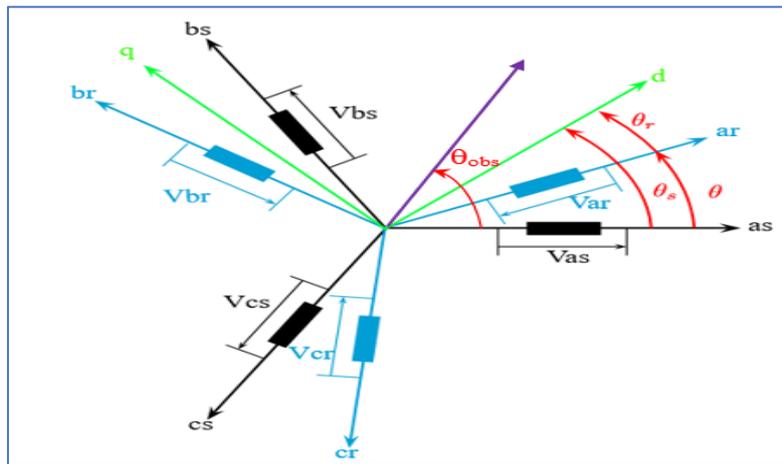


Figure (II.3) : Choix du référentiel dans un système d'axes commun

II.6 Model d'état de la machine asynchrone saine et en défaut

II.6.1 Model d'état de la machine saine

Ainsi, pour le cas du référentiel lié au rotor, nous avons le modèle qui suit, après arrangement des équations, avec $\omega_{obs}=\omega_r=p\Omega$:

Equations de tension :

$$\begin{cases} V_{ds} = R_s I_{ds} + \frac{d\Phi_{ds}}{dt} - \omega_r \Phi_{qs} \\ V_{qs} = R_s I_{qs} + \frac{d\Phi_{qs}}{dt} + \omega_r \Phi_{ds} \\ V_{dr} = R_r I_{dr} + \frac{d\Phi_{dr}}{dt} \\ V_{qr} = R_r I_{qr} + \frac{d\Phi_{qr}}{dt} \end{cases} \quad (II.11)$$

Equations de flux :

$$\begin{cases} \Phi_{ds} = L_s I_{ds} + M I_{dr} \\ \Phi_{qs} = L_s I_{qs} + M I_{qr} \\ \Phi_{dr} = L_r I_{dr} + M I_{ds} \\ \Phi_{qr} = L_r I_{qr} + M I_{qs} \end{cases} \quad (II.12)$$

Le couple électromagnétique peut être dérivé de l'expression de la co-énergie ou obtenu à l'aide d'un bilan de puissance :

$$C_e = \frac{pM}{L_r} (\Phi_{dr} I_{qs} - \Phi_{qr} I_{ds}) \quad (II.13)$$

Le modèle Park de la machine asynchrone saine, dans un référentiel lié au rotor, est décrit par le modèle d'état régissant son comportement sous la forme :

$$\begin{cases} \dot{X} = A(\omega).X + B.U \\ Y = C.X \end{cases}$$

Avec ;

$$X = [i_{ds} \ i_{qs} \ \Phi_{dr} \ \Phi_{qr}]^T : \text{Vecteur d'état.}$$

$$U = [U_{ds} \ U_{qs}]^T : \text{Tension d'entrée.}$$

Le système d'équation différentielle d'ordre 4 décrit d'une manière générale le fonctionnement de la machine.

Donc, le modèle de la machine dans le repère (d,q) lié au rotor est décrit par la représentation linéaire classique dépendant des paramètres $[R_s, L_s, T_r, \sigma]$ et du rapport $\left(\frac{M}{L_r}\right)$ comme suit :

$$\begin{cases} \frac{dI_{ds}}{dt} = -\left(\frac{R_s}{\sigma L_s} + \frac{1-\sigma}{\sigma T_r}\right)I_{ds} + \omega_r I_{qs} + \left(\frac{M}{L_r}\right)\frac{1}{\sigma L_s T_r}\Phi_{dr} + \left(\frac{M}{L_r}\right)\frac{1}{\sigma L_s}\omega_r \Phi_{qr} + \frac{1}{\sigma L_s}V_{ds} \\ \frac{dI_{qs}}{dt} = -\omega_r I_{ds} - \left(\frac{R_s}{\sigma L_s} + \frac{1-\sigma}{\sigma T_r}\right)I_{qs} - \left(\frac{M}{L_r}\right)\frac{1}{\sigma L_s}\omega_r \Phi_{dr} + \left(\frac{M}{L_r}\right)\frac{1}{\sigma L_s T_r}\Phi_{qr} + \frac{1}{\sigma L_s}V_{qs} \\ \frac{d\Phi_{dr}}{dt} = \left(\frac{L_r}{M}\right)\frac{L_s(1-\sigma)}{T_r}I_{ds} - \frac{1}{T_r}\Phi_{dr} \\ \frac{d\Phi_{qr}}{dt} = \left(\frac{L_r}{M}\right)\frac{L_s(1-\sigma)}{T_r}I_{qs} - \frac{1}{T_r}\Phi_{qr} \end{cases} \quad (II.14)$$

Avec; ω_r : pulsation rotorique. $\sigma = 1 - \frac{M^2}{L_r L_s}$: Coefficient de dispersion de Blondel.

$T_r = \frac{L_r}{R_r}$: Constante de temps des courants rotoriques.

L'équation mécanique :

$$\frac{d\Omega}{dt} = \frac{1}{J}(C_e - f_v \Omega - C_r) \quad (II.15)$$

Cette modélisation permet de réduire le nombre de paramètres et qui sera exploitable lors l'introduction des défauts. En effet, seules les valeurs instantanées des tensions statoriques et du couple résistant doivent être déterminées pour les imposer à la machine.

$$A = \begin{bmatrix} -\left(\frac{R_s}{\sigma L_s} + \frac{1-\sigma}{\sigma T_r}\right) & \omega_r & \left(\frac{M}{L_r}\right) \frac{1}{\sigma L_s T_r} & \left(\frac{M}{L_r}\right) \frac{1}{\sigma L_s} \omega_r \\ -\omega_r & -\left(\frac{R_s}{\sigma L_s} + \frac{1-\sigma}{\sigma T_r}\right) & -\left(\frac{M}{L_r}\right) \frac{1}{\sigma L_s} \omega_r & \left(\frac{M}{L_r}\right) \frac{1}{\sigma L_s T_r} \\ \left(\frac{L_r}{M}\right) \frac{L_s(1-\sigma)}{T_r} & 0 & -\frac{1}{T_r} & 0 \\ 0 & \left(\frac{L_r}{M}\right) \frac{L_s(1-\sigma)}{T_r} & 0 & -\frac{1}{T_r} \end{bmatrix}; B = \begin{bmatrix} \frac{1}{\sigma L_s} & 0 \\ 0 & \frac{1}{\sigma L_s} \\ 0 & 0 \\ 0 & 0 \end{bmatrix}$$

$$[U] = [V_{ds} \quad V_{qs}], C = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \end{bmatrix}^T$$

II.6.2 Model d'état de la machine avec défauts :

Plusieurs recherches ont été réalisées pour élaborer la modélisation et la simulation des machines asynchrones en cas de défaillances [14]. Bien évident, ces modèles sont de telle sorte plus proche du comportement réel de la machine en cas de défauts.

Parmi les modèles utilisés on peut citer le modèle X-CHANG [12] et le modèle de Schaeffer [16] et après Smail Bachir [17]. Ces deux derniers, dans leur étude ont élaboré un modèle permettant de traduire le mode sain et défectueux de la machine asynchrone. Deux défauts sont représentés, des défauts de type court-circuit des spires du stator et un autre la rupture des barres rotoriques, où les paramètres de ce mode doivent permettre la détection et la localisation du défaut.

II.6.3 Défaut statoriques de type court-circuit

Il s'agit de modéliser une machine fictive équivalente dont le stator et le rotor sont toujours constitués de trois phases identiques parcourues par des courants triphasés. Pour prendre en compte l'existence de spires en court-circuit au stator de la machine asynchrone, une bobine supplémentaire court-circuitée est introduite dont le nombre de spires n_{cc} est égal au nombre de spires en défaut dans la machine [16]. Ainsi, en présence d'un déséquilibre statorique, la machine comporte, en plus des bobinages triphasés statoriques d'axes (a_s b_s c_s) et rotoriques d'axes (a_r b_r c_r), un bobinage court-circuité traduit le défaut.

Les approximations ci-après sont considérées :

$\frac{M}{L_r} = 1$ et $L_f = \sigma.L_s = L_s - M$: inductance de fuite ramenée au stator et le repère est pris sur

le rotor, pour arriver au modèle :

$$\left\{ \begin{array}{l} \frac{dI_{ds}}{dt} = -\left(\frac{R_s + R_r}{L_f}\right)I_{ds} + \omega_r I_{qs} + \frac{1}{L_f \cdot T_r} \Phi_{dr} + \frac{1}{L_f} \omega_r \Phi_{qr} + \frac{1}{L_f} V_{ds} \\ \frac{dI_{qs}}{dt} = -\omega_r I_{ds} - \left(\frac{R_s + R_r}{L_f}\right)I_{qs} - \frac{1}{L_f} \omega_r \Phi_{dr} + \frac{1}{L_f \cdot T_r} \Phi_{qr} + \frac{1}{L_f} V_{qs} \\ \frac{d\Phi_{dr}}{dt} = R_r I_{ds} - \frac{1}{T_r} \Phi_{dr} \\ \frac{d\Phi_{qr}}{dt} = R_r I_{qs} - \frac{1}{T_r} \Phi_{qr} \end{array} \right. \quad (II.16)$$

Où :

$$A = \begin{bmatrix} -\frac{R_s + R_r}{L_f} & \omega_r & \frac{1}{L_f \cdot T_r} & \frac{1}{L_f} \omega_r \\ -\omega_r & -\frac{R_s + R_r}{L_f} & -\frac{1}{L_f} \omega_r & \frac{1}{L_f \cdot T_r} \\ R_r & 0 & -\frac{1}{T_r} & 0 \\ 0 & R_r & 0 & -\frac{1}{T_r} \end{bmatrix}$$

$$B = \begin{bmatrix} 1/L_f & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1/L_f & 0 & 0 \end{bmatrix}^T, \quad C = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \end{bmatrix}^T \quad \text{et } [U] = [V_{ds} \quad V_{qs}] \quad (II.17)$$

Lorsqu'un court-circuit de spires apparaît, l'application du théorème d'Ampère montre qu'il se crée en plus du champ tournant, une excitation magnétique stationnaire due au nouveau bobinage court-circuité B_{cc} parcouru par un courant de court-circuit i_{cc} [16]. Donc à la bobine B_{cc} s'associent les grandeurs vectorielles (courant et flux) i_{cc} et φ_{cc} . L'angle θ_{cc} est l'angle entre l'axe de B_{cc} et l'axe de référence du bobinage statorique.

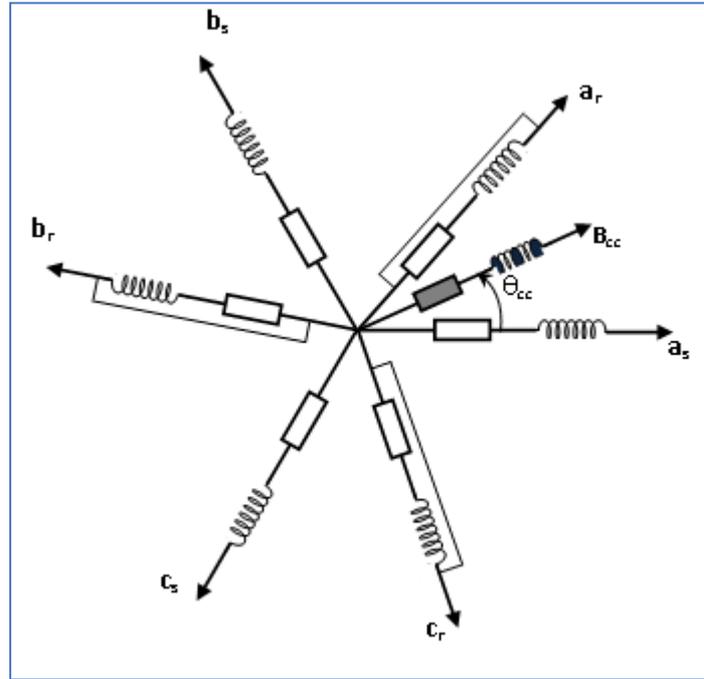


Figure (II.4) : Enroulements triphasés avec court-circuit

Donc, en plus des équations du système (1.1) on a l'équation de la bobine B_{cc} court circuitée :

$$0 = R_{cc} i_{cc} + \frac{d\Phi_{cc}}{dt}$$

Et le système flux devient :

$$\begin{cases} [\Phi_s] = [L_s][I_s] + [M_{sr}][I_r] + [M_{scc}][I_{cc}] \\ [\Phi_r] = [M_{rs}][I_s] + [L_r][I_r] + [M_{rcc}][I_{cc}] \\ [\Phi_{cc}] = [M_{ccs}][I_s] + [M_{ccr}][I_r] + [L_{cc}][I_{cc}] \end{cases} \quad (II.18)$$

Des nouveaux paramètres de la bobine fictive additionnelles sont intégrés, la résistance étant directement proportionnelle au nombre de spires, la résistance R_{cc} de la bobine B_{cc} s'écrit en fonction de la résistance R_s de la phase statorique sans défaut :

$$R_{cc} = \eta_{cc} R_s$$

Avec :

$$\eta_{cc} = \frac{n_{cc}}{n_s} = \frac{\text{Nombre de spires en court - circuit}}{\text{Nombre de spires sur une phase saine}} \quad (II.19)$$

Pour l'inductance la relation est déduite à partir des reluctances où :

$$L_{cc} = \eta_{cc}^2 (M_0 + L_f) \quad (\text{II.20})$$

$$M_0 = \frac{2}{3} M = \frac{2}{3} L_m$$

Schaeffer dans [16] a introduit le rapport (η_{cc}) et l'angle de court-circuit (θ_{cc}), pour définir le modèle de défaut de la machine asynchrone dans le repère de Park, lié au rotor, avec fuite totalisées au stator qui est représenté par le quadripôle de la figure (II.5). Le défaut de court-circuit est défini sur une ou plusieurs phases par introduction du flux magnétisant et le flux de fuite.

L'ensemble des équations électriques de la machine asynchrone en défaut de court-circuit statorique s'écrit [16] :

Equations aux tensions :

$$\bar{v}_s = R_s \bar{i}_s' + \frac{d\bar{\Phi}_s}{dt} + j\omega_r \bar{\Phi}_s \quad (\text{II.21})$$

$$\bar{v}_r = R_r \bar{i}_r + \frac{d\bar{\Phi}}{dt} \quad (\text{II.22})$$

$$\bar{0} = R_{cc} \bar{i}_{cc} + \frac{d\bar{\Phi}}{dt} = \eta_{cc} R_s \tilde{I}_{cc} + \frac{d\bar{\Phi}_{cc}}{dt} \quad (\text{II.23})$$

Equations aux flux :

$$\bar{\Phi}_s = L_s \bar{i}_s + M \bar{i}_r + M_{scc} \bar{i}_{cc} \quad (\text{II.24})$$

$$\bar{\Phi}_r = M \bar{i}_s + L_r \bar{i}_r + M_{rcc} \bar{i}_{cc} \quad (\text{II.25})$$

$$\bar{\Phi}_{cc} = M_{ccs} \bar{i}'_s + M_{ccr} \bar{i}'_r + L_{cc} \bar{i}'_{cc} \quad (\text{II.26})$$

Avec :

$$\bar{\Phi}_s = \bar{\Phi}_f + \bar{\Phi}_m = L_f \bar{i}'_s + (L_m + L_f) \bar{i}'_r \quad (\text{II.27})$$

$$\bar{\Phi}_r = \bar{\Phi}_m = L_m (\bar{i}'_s + \bar{i}'_r) \quad (\text{II.28})$$

$$\bar{i}'_s = \bar{i}'_s + \tilde{i}'_{cc} \quad (\text{II.29})$$

$$\tilde{i}'_{cc} = \frac{2}{3} \frac{\eta_{cc}}{R_s} P(\theta_{obs}) Q(\theta_{cck}) P(-\theta_{obs}) \bar{U}_s \quad (\text{II.30})$$

$\bar{\Phi}_f, \bar{\Phi}_m$: flux de fuite et flux magnétisant.

$\bar{i}'_s, \tilde{i}'_{cc}$: courant avant défaut et courant de défaut.

Comme il est signalé ci-dessus :

$$\begin{cases} \dot{X} = A(\omega).X + B.U \\ Y = C.X + D(\eta_{cck}, \theta_{cck}).U \end{cases} \quad (\text{II.31})$$

La matrice A, B, et C sont identiques aux équations suscitées en (II.17), et :

$$D(\eta_{cck}, \theta_{cck}) = \frac{2}{3.R_s} \sum_{k=1}^3 \eta_{cck} P(\theta) Q(\theta_{cck}) P(-\theta) \quad (\text{II.32})$$

Avec :

$X = [I'_{ds} \ I'_{qs} \ \Phi_{dr} \ \Phi_{qr}]$: Vecteur d'état, $U = [V_{ds} \ V_{qs}]$ Tension d'entrée.

$Y = [I_{ds} \ I_{qs} \ \Phi_{dr} \ \Phi_{qr}]$: vecteur de sortie.

$$\tilde{I}'_{dq_{cck}} = \frac{2}{3} \frac{\eta_{cck}}{R_s} P(\theta) Q(\theta_{cck}) P(-\theta) \bar{U}_{dq_s} \quad (\text{II.33})$$

$$Q(\theta_{cc}) = \begin{bmatrix} \cos(\theta_{cc})^2 & \cos(\theta_{cc}).\sin(\theta_{cc}) \\ \cos(\theta_{cc}).\sin(\theta_{cc}) & \sin(\theta_{cc})^2 \end{bmatrix} \quad (\text{II.34})$$

$Q(\theta_{cck})$: est la matrice situant l'angle du bobinage en court-circuit (si le court-circuit se produit sur la phase a (resp b et c) l'angle (θ_{cck}) est égal à 0 rad (resp $2\pi/3$ et $4\pi/3$).

Ce modèle permet la détection et la quantification de spires en court-circuit par le paramètre (η_{cck}) et la localisation du défaut par le paramètre (θ_{cck}) . La figure (II.5) donne le modèle avec défaut.

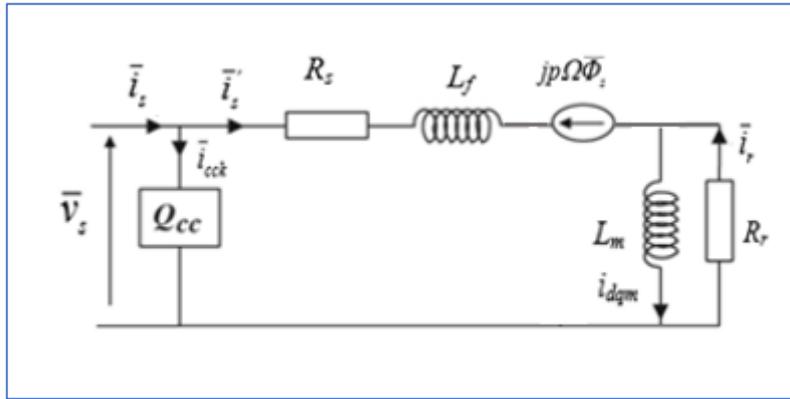


Figure (II.5) : Modèle général de court-circuit dans le repère de Park

II.6.4 Défaut rotoriques de type rupture de barres

Comme dans le cas du court-circuit des spires d'une phase du stator, les deux paramètres repérant le défaut sont (θ_0, η_0) .

θ_0 : angle électrique repérant le bobinage en défaut plus exactement la barre en défaut.

η_0 : le rapport de défaut, permet de quantifier le déséquilibre et d'obtenir le nombre de barres cassées n_{bc} .

$$\eta_0 = \frac{3n_{bc}}{n_b} \tag{II.35}$$

Dans la reference [16], la resistance du défaut équivalente est donnée par:

$$R_{eq} = R_r + R_{défaut} = R_r - \frac{\alpha}{1 + \alpha} Q(\theta_0) R_r \tag{II.36}$$

Avec : $\alpha = \frac{2}{3} \eta_0$

$$R_{défaut} = -\frac{\alpha}{1 + \alpha} R_r \begin{bmatrix} \cos(\theta_0)^2 & \cos(\theta_0) \cdot \sin(\theta_0) \\ \cos(\theta_0) \cdot \sin(\theta_0) & \sin(\theta_0)^2 \end{bmatrix} \tag{II.37}$$

Pour $\alpha = 0$, la machine est saine et $R_{défaut} = 0$.

Alors, le modèle machine asynchrone avec rupture de barre est donné par le système d'équation différentiel :

$$\begin{cases} \dot{X} = A(\omega).X + B.U \\ Y = C.X \end{cases} \quad (II.38)$$

Avec ;

$X = [i_{ds} \ i_{qs} \ \Phi_{dr} \ \Phi_{qr}]^T$: Vecteur d'état. $[U] = [V_{ds} \ V_{qs}]^T$: Tension d'entrée.

$$A(\omega) = \begin{bmatrix} A_{11} & A_{12} \\ A_{21} & A_{22} \end{bmatrix} \quad (II.39)$$

$$\text{Où } \begin{cases} A_{11} = (R_s + R_{eq})L_f^{-1} - \omega P(\frac{\pi}{2}) \\ A_{12} = (R_{eq}L_m^{-1} - \omega P(\frac{\pi}{2}))L_f^{-1} \\ A_{22} = -R_{eq}L_m^{-1} \\ A_{21} = R_{eq} \end{cases} \quad (II.40)$$

$$B = \begin{bmatrix} 1/L_f & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1/L_f & 0 & 0 \end{bmatrix}^T, \quad C = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \end{bmatrix}^T \quad \text{et } [U] = [V_{ds} \ V_{qs}]^T$$

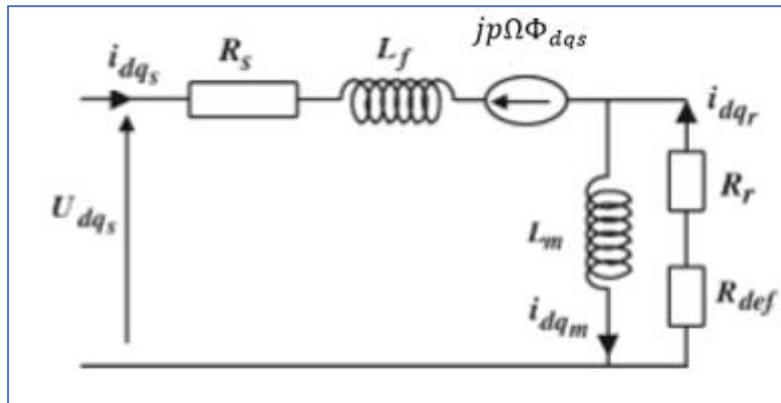


Figure (II.6) : Modèle général de rupture de barre dans le repère de Park

II.6.5 Modèle de défauts mixte stator et rotor

Avec les deux défauts stator et rotor le modèle s'écrit :

$$\begin{cases} \dot{X} = A(\omega).X + B.U \\ Y = C.X + D.U \end{cases} \quad (II.41)$$

Avec ;

$X = [i'_{ds} \ i'_{qs} \ \Phi_{dr} \ \Phi_{qr}]$: Vecteur d'état. $[U] = [V_{ds} \ V_{qs}]$: Tension d'entrée. $Y = [i_{ds} \ i_{qs}]$: Sortie

$$A(\omega) = \begin{bmatrix} A_{11} & A_{12} \\ A_{21} & A_{22} \end{bmatrix} \quad (II.42)$$

$$\text{Où } \begin{cases} A_{11} = (R_s + R_{eq})L_f^{-1} - \omega P(\frac{\pi}{2}) \\ A_{12} = (R_{eq}L_m^{-1} - \omega P(\frac{\pi}{2}))L_f^{-1} \\ A_{22} = -R_{eq}L_m^{-1} \\ A_{21} = R_{eq} \end{cases} \quad (II.43)$$

$$B = \begin{bmatrix} 1/L_f & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1/L_f & 0 & 0 \end{bmatrix}^T, \quad C = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \end{bmatrix}^T \quad \text{et } [U] = [V_{ds} \ V_{qs}] ,$$

$$D(\eta_{cck}, \theta_{cck}) = \begin{bmatrix} \frac{2}{3.R_s} \sum_{k=1}^3 \eta_{cck} P(\theta) Q(\theta_{cck}) P(-\theta) & 0 \\ 0 & 0 \end{bmatrix}$$

$$R_{eq} = R_r + R_{defaut} = R_r - \frac{\alpha}{1+\alpha} Q(\theta_0) R_r \quad (II.44)$$

Avec : $\alpha = \frac{2}{3} \eta_0$

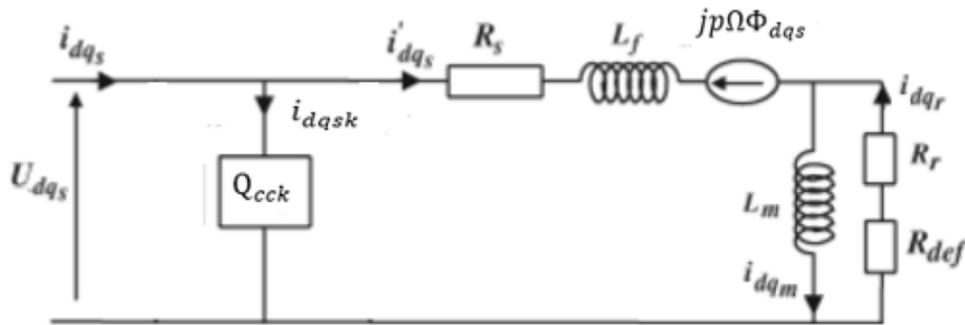


Figure (II.7) : Modèle mixte de court-circuit et rupture de barre dans le repère de Park

II.6.6 Défaut d'alimentation déséquilibre des phases

Le moteur asynchrone est alimenté directement à partir du réseaux d'alimentation triphasé non équilibré de fréquence $f_s=50\text{Hz}$, et tensions simples V_a, V_b, V_c où la perturbation est introduite dans une phase :

$$\begin{aligned} V_a &= (V_{max} - 50) \cdot \sin(\omega_s t) \\ V_b &= V_{max} \cdot \sin(\omega_s t - \frac{2\pi}{3}) \\ V_c &= V_{max} \cdot \sin(\omega_s t - \frac{4\pi}{3}) \end{aligned}$$

(II.45)

II.7 Résultat et discussion de la simulation des modèles présentés

Pour la résolution du système des équations différentielles des modèles su-présentées, on a utilisé la méthode de Runge Kutta

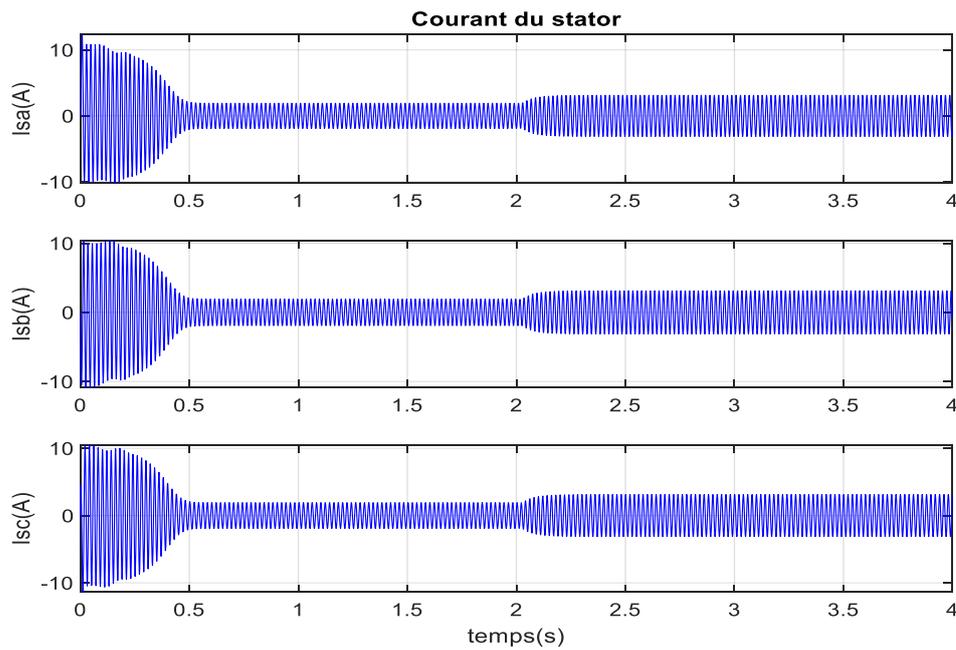
Un programme sous le logiciel MATLAB (m.file) a été développé, avec une période d'échantillonnage de 0.1ms.

Le moteur asynchrone est alimenté directement à partir du réseaux d'alimentation triphasé équilibré de fréquence $f_s=50\text{Hz}$, et tensions simples V_a, V_b, V_c où :

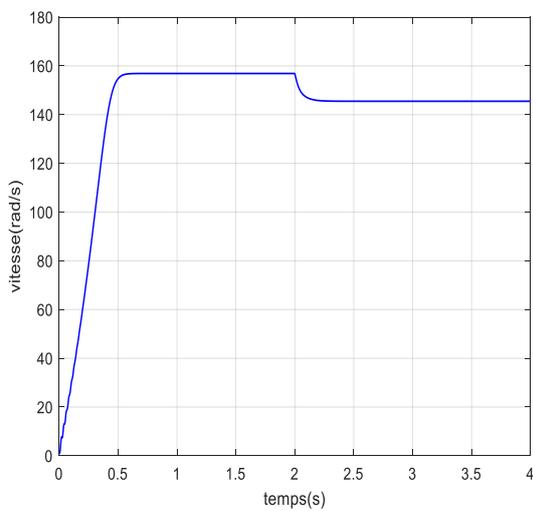
$$\begin{aligned} V_a &= V_{max} \sin(\omega_s t) \\ V_b &= V_{max} \sin(\omega_s t - \frac{2\pi}{3}) \\ V_c &= V_{max} \sin(\omega_s t - \frac{4\pi}{3}) \end{aligned}$$

Avec : $\omega_s = 2\pi f_s = 50\text{Hz}$; $V_{max} = 220\sqrt{2}$ volts.

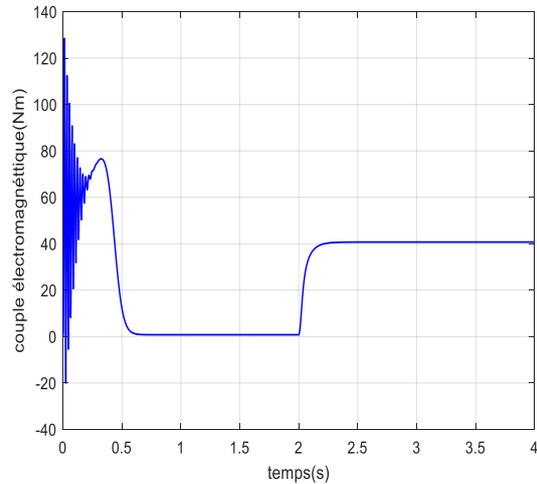
Les courbes de la figure (II.6) présentent les résultats de simulation du démarrage à vide de la MAS suivi de l'introduction, à $t= 2\text{s}$, d'une charge $C_r=40\text{Nm}$. La stabilité de la machine est bien remarquée sur les allures des courants, la vitesse et le couple électromagnétique, ce qui justifie bien la validation programme développé.



(a)



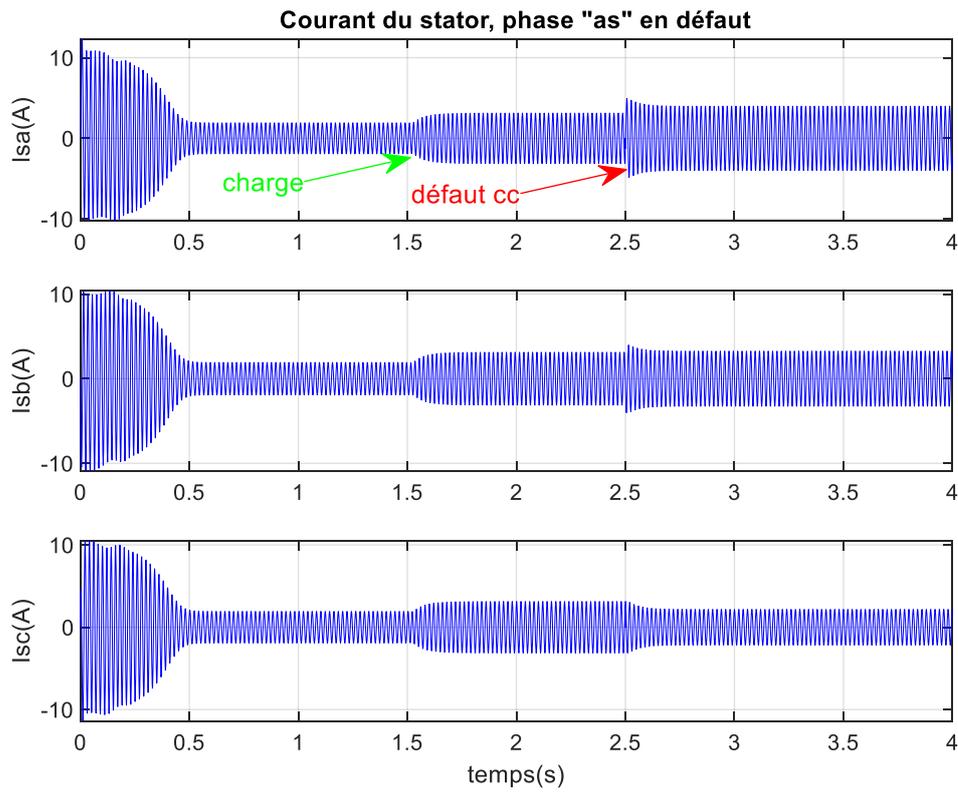
(b)



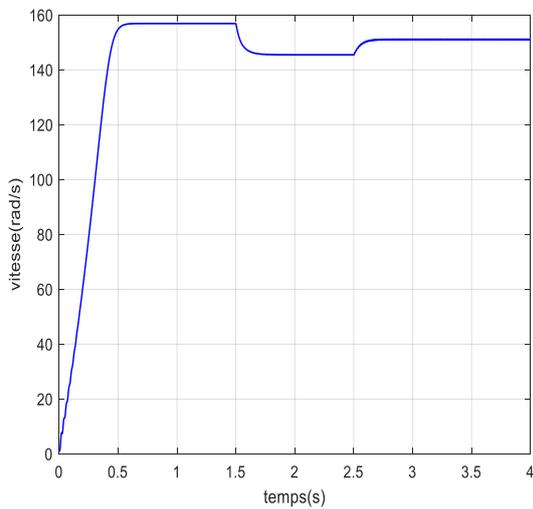
(c)

Figure (II.8) : Paramètres, de la MAS saine, simulés : (a) courant des trois phases. (b) vitesse. (c) couple électromagnétique.

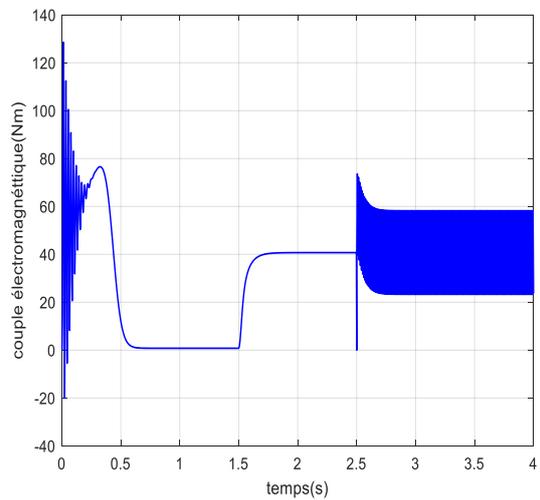
Les courbes de la figure (II.7) donnent les résultats de simulation de la MAS lors l'introduction à $t= 1.5s$ d'une charge de $Cr=40Nm$, puis l'insertion d'un défaut type court-circuit de $(\eta_{cc1}=10\% , \eta_{cc2}=0 , \eta_{cc3}=0)$, à $t=2s$. On observe que l'introduction du défaut sur une phase, il y a une augmentation dans son amplitude et les autres phases sont influées, aussi, par ce défaut.



(a)



(b)

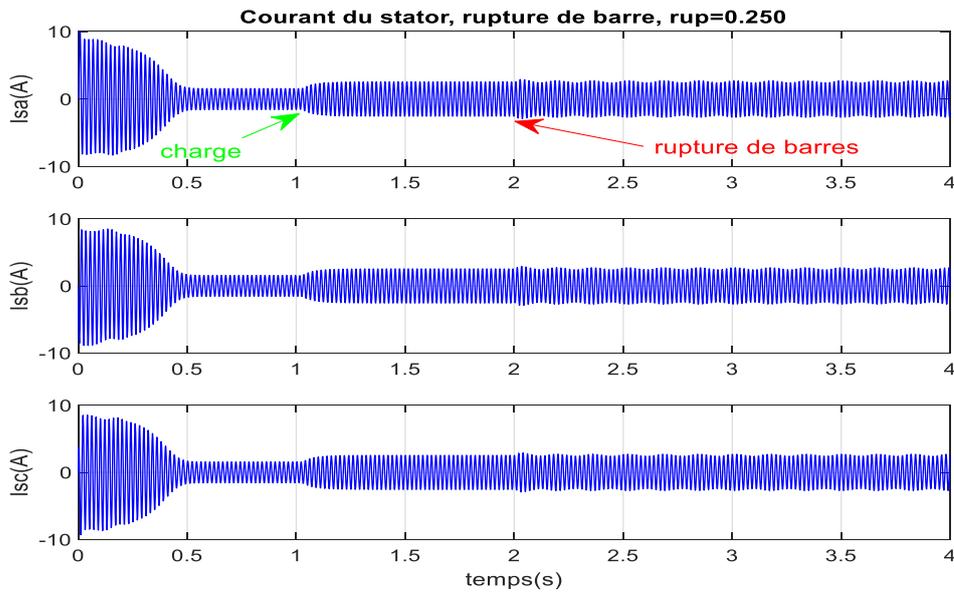


(c)

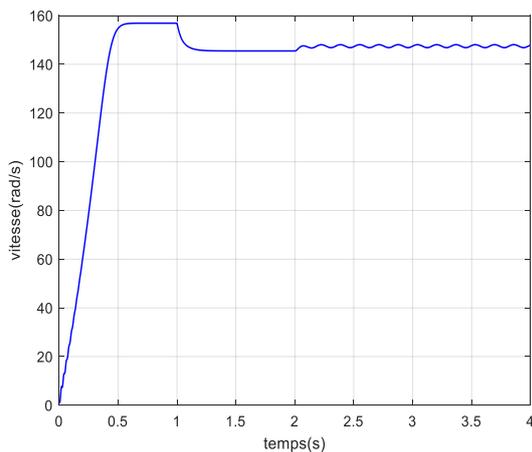
Figure (II.9) : Paramètres, de la MAS avec défaut de court-circuit, simulés : (a) courant des trois phases. (b) vitesse. (c) couple électromagnétique.

Le rapport de court-circuit ($\eta_{cc1}=15\%$, $\eta_{cc2}=0$, $\eta_{cc3}=0$)

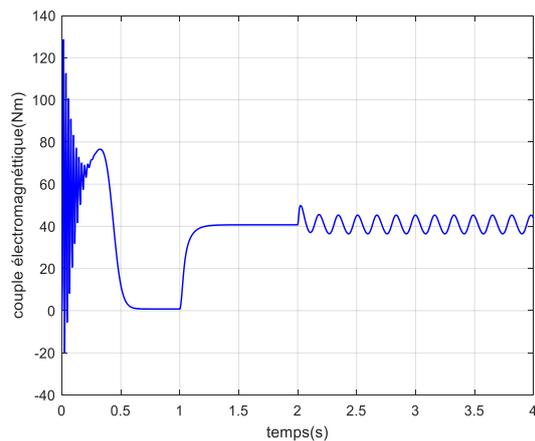
Les courbes de la figure (II.8) illustrent les résultats de simulation du démarrage à vide de la MAS suivi de l'introduction à $t=2s$ d'un défaut type rupture de barre de ($\eta_0=0.25\%$) représente quatre barres sur 16 barres, le nombre total des nombres de barres du rotor. On remarque bien que lors de l'introduction du défaut prédit, il y a une apparition des oscillations dans l'amplitude des courants des phases statoriques.



(a)



(b)



(c)

Figure (II.10) : Paramètres, de la MAS avec défaut de court-circuit, simulés : (a) courant des trois phases. (b) vitesse. (c) couple électromagnétique.

Le rapport de rupture de barre, $\eta_0=0.2500$

Les paramètres de la machine utilisée sont :

$R_s=9.81\Omega$; $R_r=6.83\Omega$; $L_f=0.0762H$; $L_r=0.4366H$; $L_s=0.4366H$

$L_m=0.2262H$; $J=0.018755$; $f_v=0.005SI$

$k_r=20.5$ $p=2$

II.8 Conclusion :

Dans ce chapitre, on a présenté la machine asynchrone, sa description, sa modélisation en vue du diagnostic avec le régime sain et défectueux. Deux modèles sont présentés avec leurs simulations et interprétations des résultats.

- 1) un court-circuit au niveau des bobines d'une ou plusieurs phases du stator.
- 2) rupture de barre rotorique basant sur le déséquilibre de la matrice des résistances rotoriques.

Les résultats obtenus seront exploités dans le chapitre suivant qui sera consacré à l'analyse des signaux par la transformée de Fourier rapide (FFT).

Chapitre 03
Diagnostic des défauts
de la machine
asynchrone par
analyse spectrale

III.1 Introduction

L'analyse spectrale, par la transformée de Fourier rapide (TFR) soit en anglais Fast Fourier Transform (FFT), est utilisée pour la détection des composantes spectrales du courant statorique dans les trois cas : sain, cassure de barres et le court-circuit. La FFT est largement utilisée pour l'analyse fréquentielle des signaux surtout stationnaire. Dans ce Chapitre, deux défauts de la machine à induction sont traités et analysés par la FFT. Avec différents cas sont étudiés selon la charge.

III.2 La Transformée de Fourier Rapide

L'analyse des signaux par la transformée de Fourier est primordiale dans le traitement des signaux. Elle consiste à décomposer un signal périodique quelconque en une somme de signaux sinusoïdaux de différentes amplitudes et déphasages, son équation est :

$$X(f) = \int_{-\infty}^{+\infty} x(t) e^{-j2\pi ft} dt \quad (\text{III.1})$$

La transformée de Fourier rapide, est une technique mathématique de calcul rapide élaborée en 1965 par J. W. Cooley et J. W. Tuckey. La FFT permet de ramener le calcul de la transformée de Fourier discrète de N^2 à $N \cdot \log(N)$ opérations. Cette réduction de la complexité de calcul a suffi à faire passer facilement résolubles de nombreux problèmes liés à l'analyse spectrale. Pour une meilleure visualisation d'une analyse fréquentielle. Malgré sa célébrité et son succès, la FFT reste inadaptable pour les signaux non stationnaires et elle montre assez vite ses limitations, perte de localisation temporelle, [18].

III.3 Défaut de barres rotoriques :

Les études ont montrés qu'en présence d'une barre rompue dans la cage rotorique, un courant de fréquence $(1-2g)f_s$ sera induit dans les circuits statoriques, accompagné par une composante oscillatoire de fréquence dans le couple électromagnétique et la vitesse de rotation ce qui donne naissance à des nouvelles composantes de courant aux fréquences $2gf_s$ circulant dans les enroulements statoriques. Et par un processus identique, on obtient une série d'harmoniques de fréquences données par : $(1 \pm 2kg)f_s$ avec $k = 1, 2, 3, \dots, k$, [19].

La figure (III.1) donne l'allure du courant du stator de la phase (as), la machine est chargée à $t=0.8$ ms et le défaut de cassure de barre est introduit à $t=1$ ms.

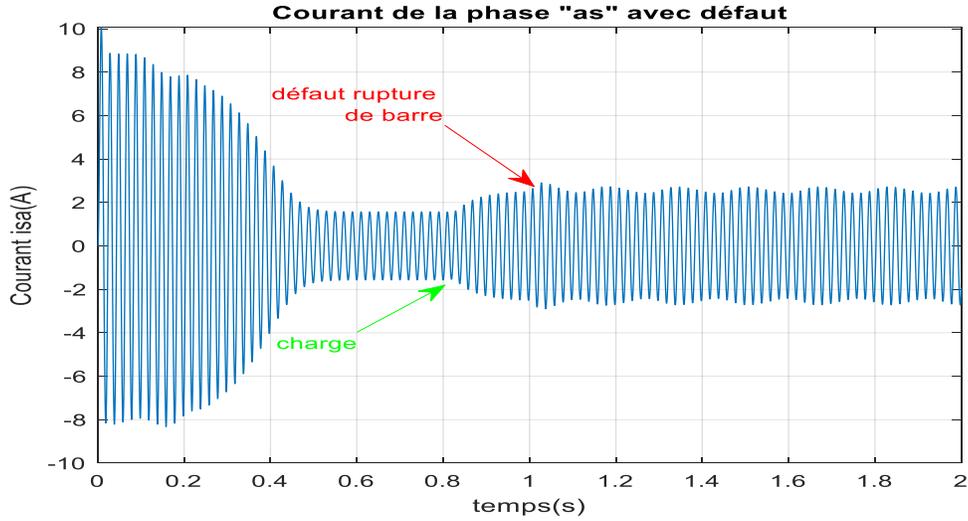


Figure (III.1) : courant de la phase (as) du stator avec introduction de $C_r=40Nm$ et le défaut de rupture de barre avec un rapport de $\eta_0=0.250$

La figure (III.2) montre une portion de signal sain, à vide, avec son spectre de fréquence qui est bien celle du fondamental $f_s=50Hz$.

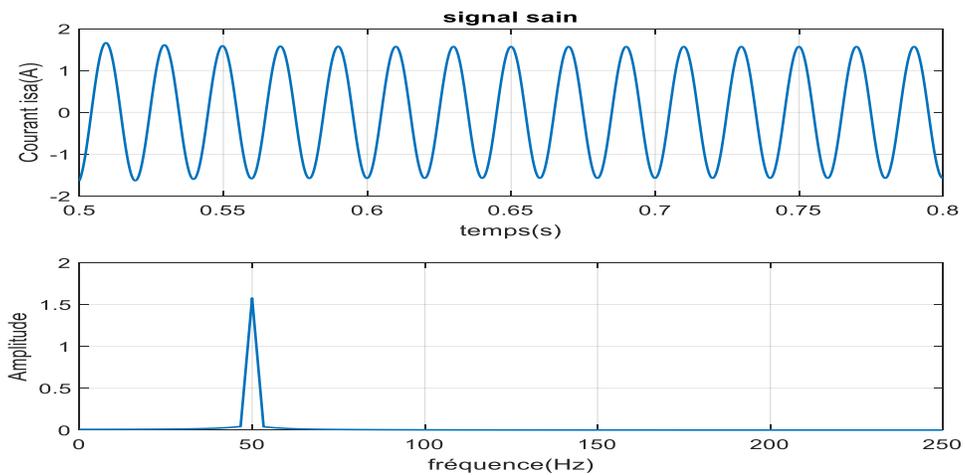


Figure (III.2) : fréquence de la portion saine du courant du stator de la phase (as)

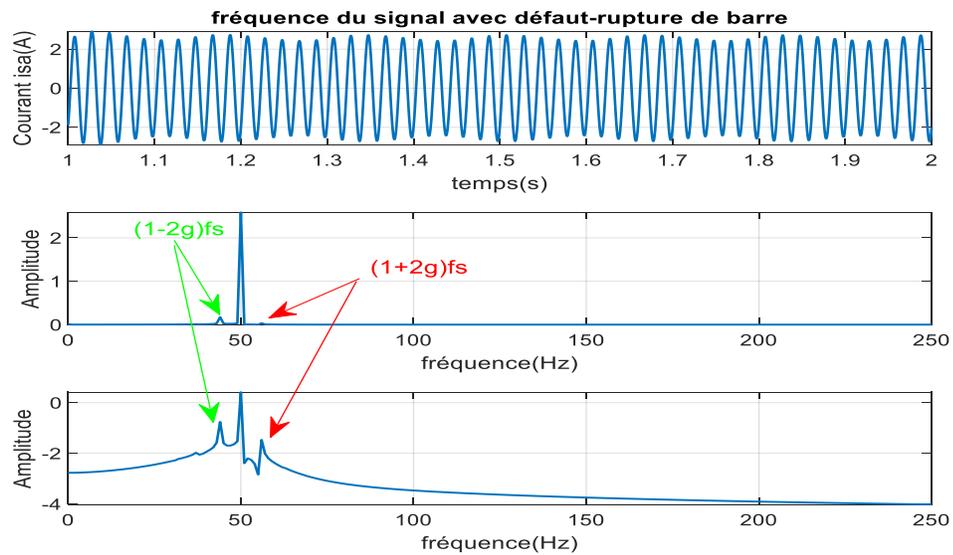


Figure (III.3) : Les composantes, autour du fondamental, caractérisant le défaut de barres pour un glissement de $g=0.06$ et une charge de $C_r=40$ Nm.

Les figures de (III.4) à (III.10) montrent que la charge du moteur influe beaucoup sur les raies $(1\pm 2kg)_s$. En effet, pour des valeurs faibles de glissement, les amplitudes de ces raies diminuent fortement et leurs fréquences deviennent très proches du fondamental ce qui rend la détection de défaut très difficile est parfois impossible dans le cas du fonctionnement à vide. Et pour les fortes valeurs de glissement les raies s'éloignent du fondamental et ils sont très visuels. Les essais sont pris pour un rapport de $\eta_0=0.250$

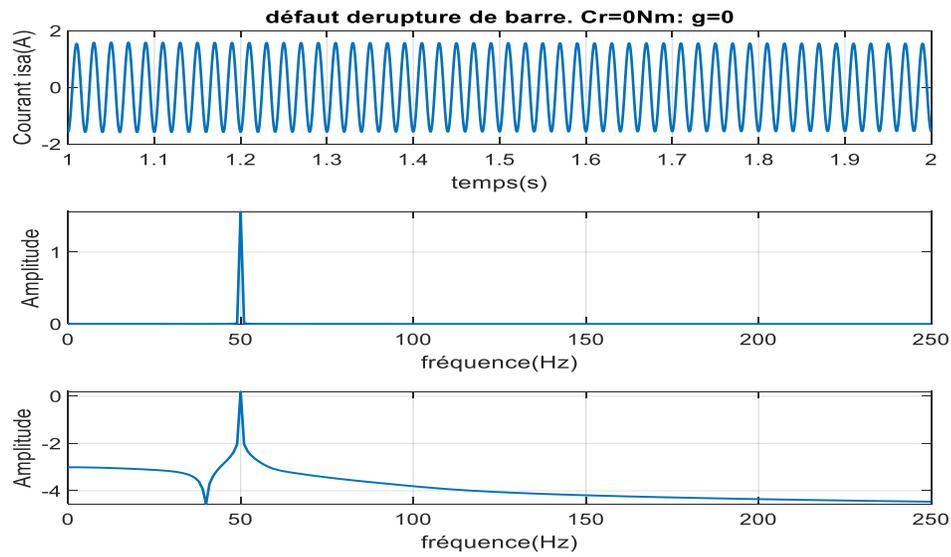


Figure (III.4) : Le spectre de raie pour une charge nulle.

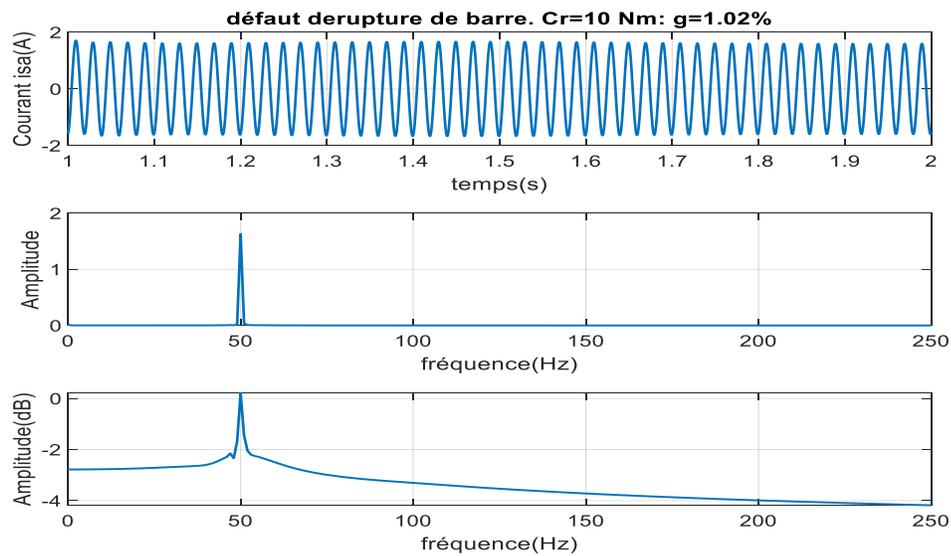


Figure (III.5) : Le spectre de raie pour une charge $C_r=10 \text{ Nm}$ et $g=1.02\%$

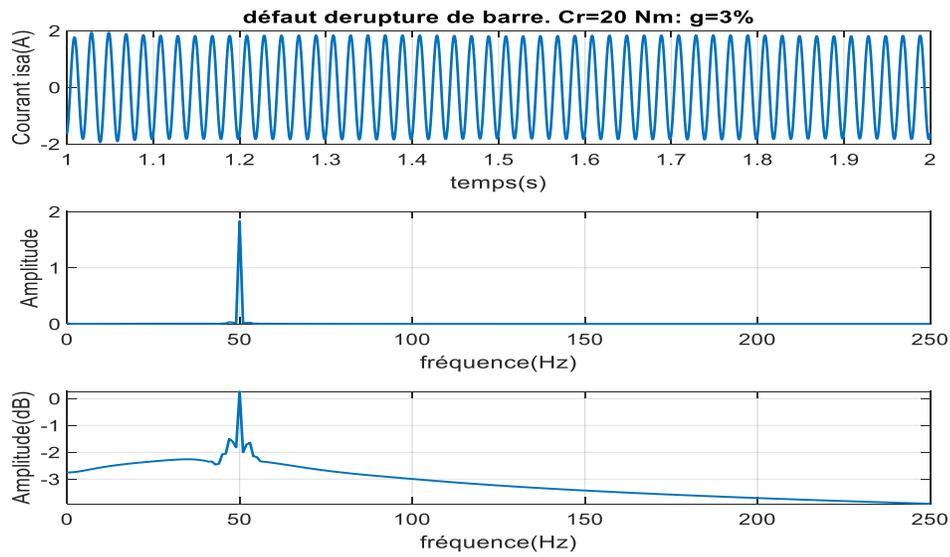


Figure (III.6) : Le spectre de raie pour une charge $Cr=20$ Nm et $g=3\%$

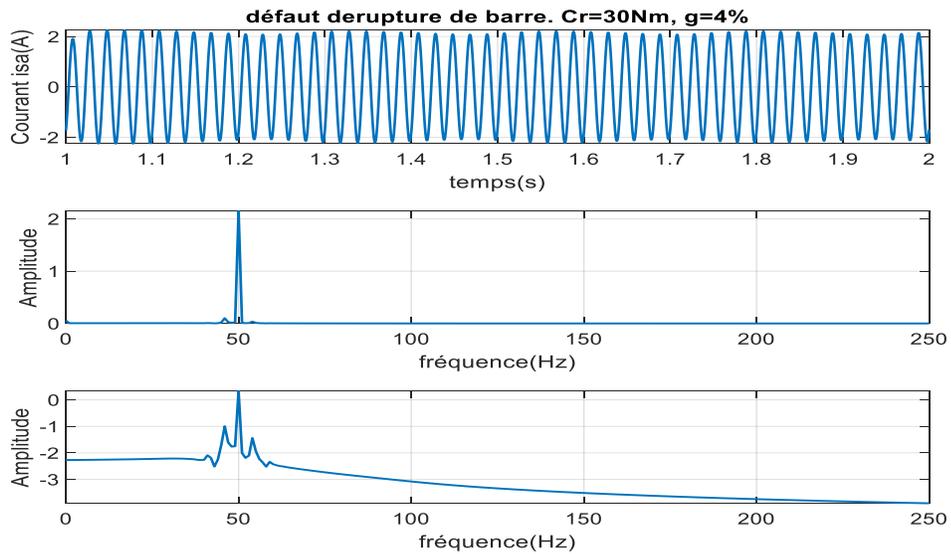


Figure (III.7) : Le spectre de raie pour une charge $Cr=30$ Nm et $g=4\%$

2

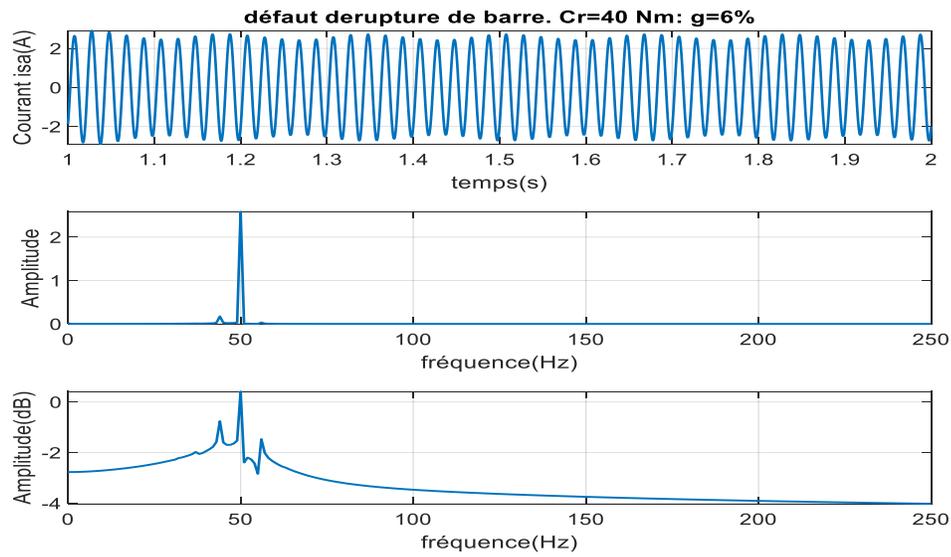


Figure (III.8) : Le spectre de raie pour une charge Cr=40 Nm et g=6%

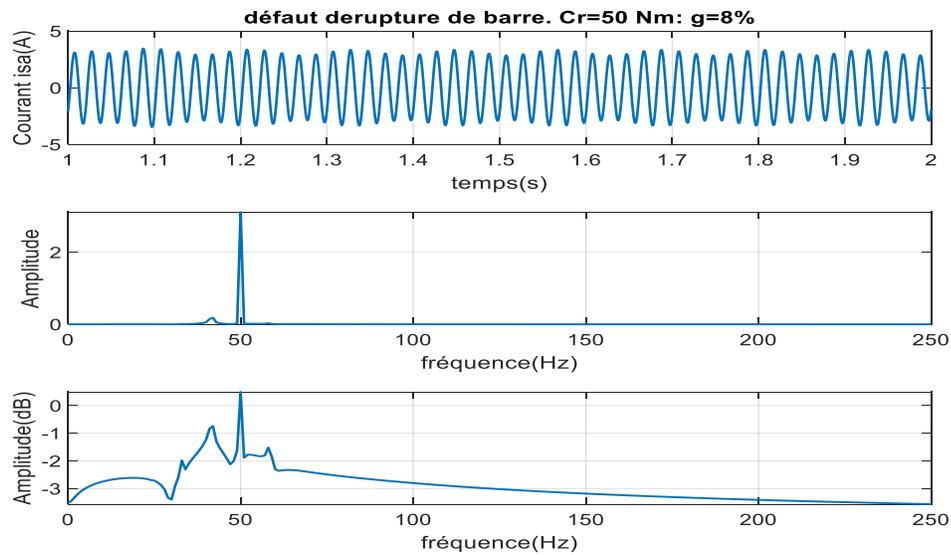


Figure (III.9) : Le spectre de raie pour une charge Cr=50 Nm et g=8%

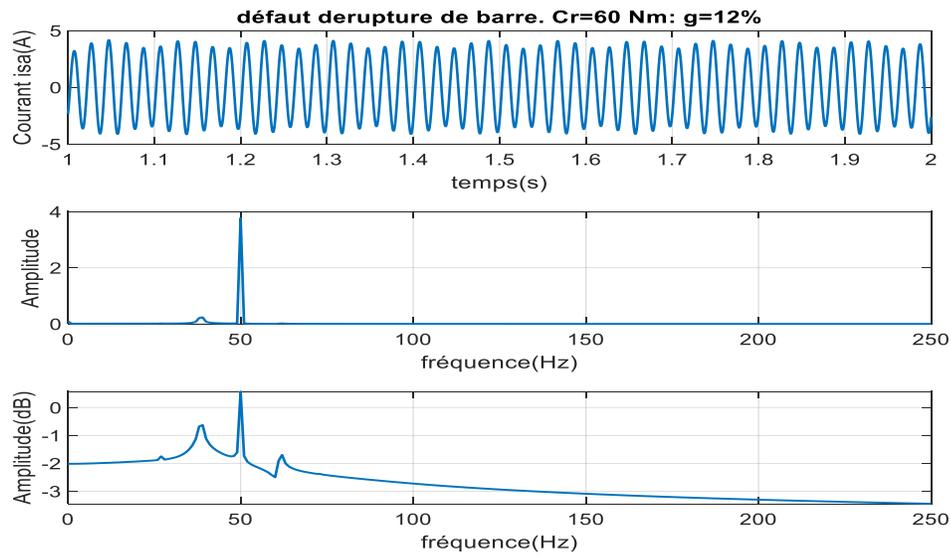


Figure (III.10) : Le spectre de raie pour une charge $Cr=60$ Nm et $g=12\%$

Ci-dessous un tableau (III.1) où on a prélevé différentes valeurs de la fréquence des cassures de barres et la vitesse de rotation de l'arbre en fonction de la charge insérée. On voit clairement l'éloignement de la fréquence des harmoniques de la fréquence du fondamental d'une manière descendante à gauche et ascendante à droite et ceci en fonction de l'augmentation de la charge.

Cr (Nm)	ω_r (rd/s)	$(1-2g) f_s$	$(1+2g) f_s$	g %
0	157	50	50	0
10	155,40	49	51	1,02%
20	152,29	47	53	3%
30	150,72	46	54	4%
40	147,58	44	56	6%
50	144,44	42	58	8%
60	138.16	38	62	12%

III.4 Défaut de de court-circuit :

Les fréquences de court-circuit entre les spires des enroulements statoriques sont détectées par la relation $k.f_s$ avec $k=1,3,5\dots$, [18].

Le court-circuit apparait entre spires d'une phase du moteur asynchrone. Les fréquences de court-circuit du courant d'une phase du stator sont détectées par la relation $k.f_s$ avec $k=1,3,5\dots$, [1]. Où f_s est la fréquence du fondamental $f_s=50\text{Hz}$.

Différents essais sont pris pour différentes charges. Le rapport de court-circuit pour la phase (as) est $\eta_{cc1}=10\%$, et pour les autres phases (bs) et (cs) les rapports sont nuls, $\eta_{cc2}=0$ et $\eta_{cc3}=0$. Pour l'échelle normale de la FFT, pour toutes les figures, il n'y apparait que le fondamental. Mais après l'introduction de l'échelle logarithmique on voit clairement l'apparition de la fréquence de l'harmonique à 150hz.

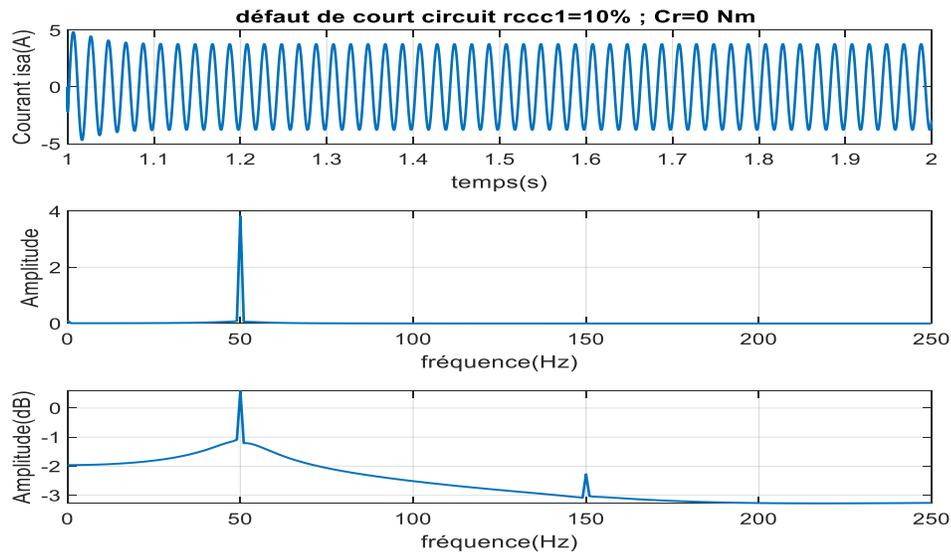


Figure (III.11) : Le spectre de raie pour un essai à vide et $rcc1=10\%$.

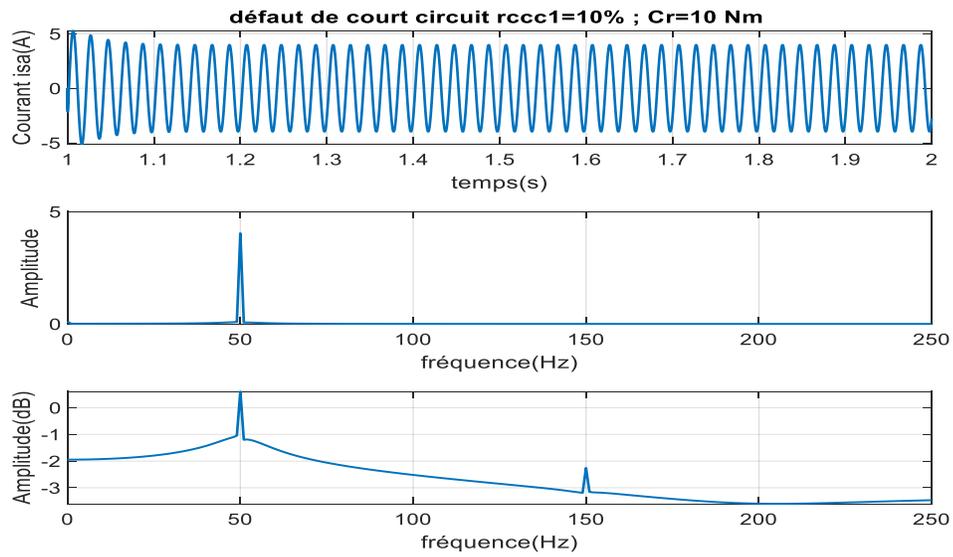


Figure (III.12) : Le spectre de raie pour un essai en charge, $Cr=10$ Nm, et $rcc1=10\%$.

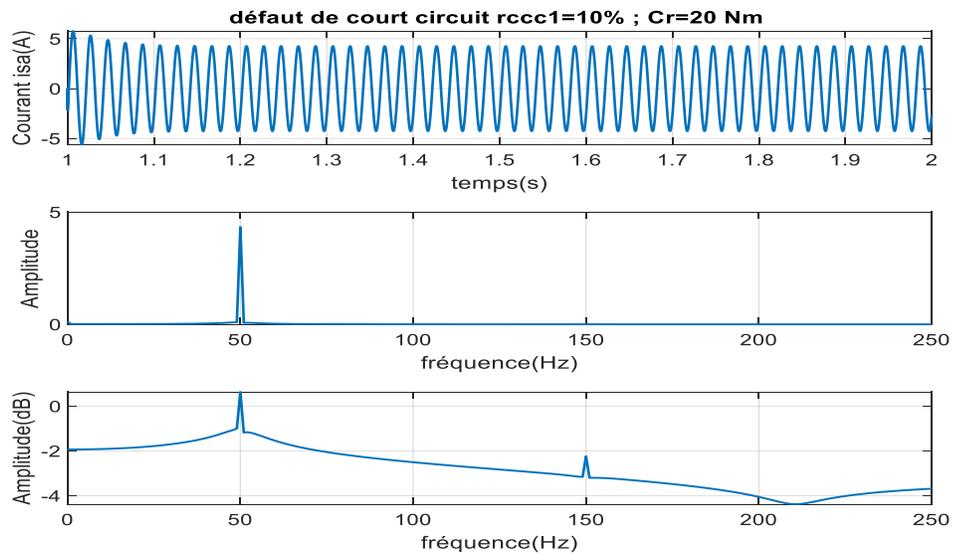


Figure (III.13) : Le spectre de raie pour un essai en charge, $Cr=20$ Nm, et $rcc1=10\%$.

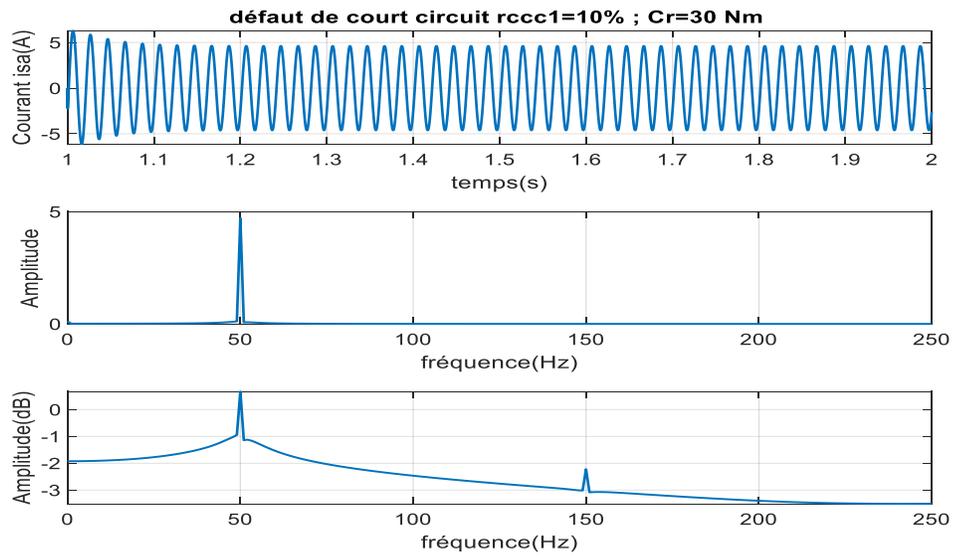


Figure (III.14) : Le spectre de raie pour un essai en charge, Cr=30 Nm, et rccc1=10%.

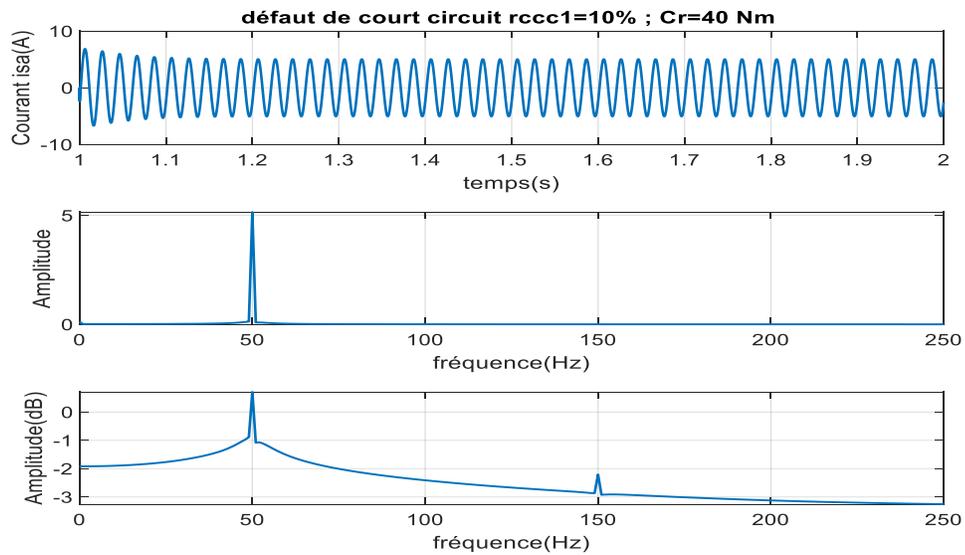


Figure (III.15) : Le spectre de raie pour un essai en charge, Cr=40 Nm, et rccc1=10%.

III.5 Conclusion

Ce chapitre a abordé la description de la FFT et sa vaste utilisation dans le domaine de traitement du signal surtout stationnaire. L'analyse fréquentielle de deux défauts de la machine asynchrone sont présentés. On a remarqué que pour le défaut de rupture de barres les fréquences ne sont visuelles que si la charge est à son maximum, par contre les fréquences dans le défaut de court-circuit sont visuelles quelque soit la nature de la charge.

Conclusion générale

Conclusion générale :

Le travail présenté dans ce mémoire s'inscrit dans le cadre du diagnostic des défauts des moteurs asynchrones à cage. Or, un défaut inattendu peut causer un arrêt brusque du moteur et ainsi un arrêt partiel au total de la chaîne de production ce qui cause des pertes économiques considérables. Alors, pour éviter toutes défaillances techniques et économiques, il est nécessaire aux firmes de mettre en œuvre des systèmes s'imposant à ces problèmes. Différentes techniques sont utilisées pour la surveillance et le diagnostic de tels défauts. Parmi ces défauts, le court-circuit entre spire d'une phase du stator, le court-circuit entre phase, les cassures de barres du rotor à cage d'écureuil ou d'anneau, défaut d'excentricité et les défauts de roulements...etc.

L'étude, dans ce mémoire, c'est articulée autour de deux objectifs principaux, le premier est la modélisation et la simulation de défauts (courts-circuits et ruptures de barres), le second est le diagnostic par la méthode d'analyse du signal du courant du stator, basée sur la Transformée de Fourier Rapide (FFT).

Dans notre étude, les défauts sont diagnostiqués par analyse spectrale du courant statorique en régime permanent. Cette approche reste largement utilisée pour certaines raisons, notamment parce que les courants statoriques sont accessibles de l'extérieur et peuvent être facilement prélevés.

Malgré le grand succès de cette technique, elle présente un inconvénient qui est la perte temporelle. En fait, elle permet uniquement de connaître les différentes fréquences existées dans le signal, c'est-à-dire son spectre, mais on ne sait pas à quel moment ces fréquences sont transmises. Cette technique fournit des informations globales plutôt que des informations locales et a un problème lors l'étude des signaux non stationnaire, [8]. Ce qui a poussé les chercheurs à donner d'autres solutions telles que l'utilisation des ondelettes continues ou discrètes avec une bonne résolution temporelle et une bonne résolution fréquentielle.

En perspective, nous proposons d'introduire les techniques d'intelligence artificielle pour identifier la nature des défauts prélevés d'un banc expérimental au niveau du laboratoire.

Références bibliographiques :

[1] BELHAMDI Saad «Diagnostic Des Défauts de la machine Asynchrone Contrôlée par différentes technique de commande», Thèse de doctorat, en Science En Electrotechnique Université Mohamed Khider – Biskra soutenu en Mai 2017.

[2] Gaëtan DIDIER « Modélisation et diagnostic de la machine asynchrone en présence de défaillances » Thèse de doctorat, Université de Batna , Soutenu 2005.

[3] KHATIR ABDEL FATAH «Etude comparative des modèles des machines asynchrones utilisés en diagnostic des défauts» Thèse de Magister , Université ferhat abbas –setif UFAS(Algérie) , Soutenu 11 / 04 / 2009.

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

[5]. TABOU Asmane, OUGHACHA Menad " évaluation des pertes fer dans une machine asynchrone à cage " mémoire de fin d'étude en master. UMMTO. Année 2016.

[6]. GUETTAB Abdelkader " Effet de l'alimentation sur la détection des défauts dans une machine asynchrone à cage basée sur l'analyse de signal du courant" Magister (école doctorale génie électrique), Université Hassiba Ben bouali de Chlef. Année 2016.

[7] :Bouzida ahcene.Diagnostic de défauts de la machine asynchrone a cage par la technique des ondelettes,these de magister de génie électrique,l'ecole nationale polytechnique d'alger,janvier 2008.

[8] :kerfali samir.<<contribution à la surveillance et au diagnostic des défauts de la machine asynchrone>>,thèse de Doctorat d électromécanique universitaire Badji Mokhtar Annaba,2016.

[9] :Ayman hussain.<<contribution a la commande adaptative robuste par mode glissants>>.thèse Doctorat,université de Reims champagne Ardeme,2009.

[10] :L.Derradj,et T.Mabrek.<<Détection des défauts rotoriques dans la MAS a cage par la technique des ondellettes>>,thèse d,ingénieur de électrotechnique,2009.

[11] :A.Mesbahi,M Zellouma et MA News.<<technique avancée pour le diagnostic des machine électrique défauts rotoriques>>,thèse de Master academique de Electromecanique université Echahid Hamma Lakhdar d'el_oued,juin 2022.

[12] Caron J. P., Hautier J.P., Modélisation et commande de la machine asynchrone, Edition Technicpub- 1995.

[13] Chatelain Jean, "Traité d'électricité, " Tome 1, Presse polytechniques Romandes -1983

[14] Saadi Sakhara, « Diagnostic des défauts d'un entraînement électrique par la technique ondelette » thèse de doctorat, Université Badji Mokhtar- Annaba, 2017.

[15] Xianrong Chang, Vincent Cocquempot, and Cyrille Christophe «A Model of synchronous Machines for Stator Fault Detection and Isolation» IEEE transactions on industrial electronics, vol.50N°3, June 2003.

[16] E. Schaeffer, "Diagnostic des machines asynchrones : modèles et outils paramétriques dédiés à la simulation et à la détection de défauts," Thèse de doctorat, Institut de Recherche en Cybernétique de Nantes, École Centrale de Nantes, Nantes, France, 1999.

[17] S. Bachir, "Contribution au diagnostic de la machine asynchrone par estimation paramétrique," Thèse de doctorat, Laboratoire d'Automatique et d'Informatique Industrielle de Poitiers, Université de Poitiers, Poitiers, France, 2002.

[18] M. SAHRAOUI, « Etude Comparative des Méthodes de Diagnostic des Machines Asynchrones », Thèse de doctorat, université de Biskra, 2010.

[19] S. Bazi, « Contribution à la Détection et au Diagnostic des Défauts dans un Système Machine à Induction-Convertisseur », Thèse de doctorat, université de Batna 2, 2016.

Résumé :

Ce travail s'inscrit dans le thème Diagnostic des défauts des moteurs asynchrones en présence de défauts de type :

- * Court-circuit entre spires.
- * Rupture de barres rotoriques.

Le thème du diagnostic de défaut est basé sur la technologie de traitement du signal, qui est une solution efficace au problème du diagnostic de défaut basé sur l'analyse du spectre de courant du stator (FFT).

Mots clés : moteurs asynchrones, défauts rotoriques, rupture de barre, court-circuit entre spires, défauts mixtes, diagnostic, FFT.

Abstract:

This work is part of the theme Diagnosis of defects of asynchronous motors in the presence of type defects:

- * Inter turn short circuit.
- * Broken rotor bar.

The topic of fault diagnosis is based on signal processing technology, which is an effective solution to the problem of fault diagnosis based on stator current spectrum analysis (FFT).

Keywords: asynchronous motors, rotor defects, broken rotor bar rupture, Inter turn Short circuit , mixed faults, diagnostics, FFT.

ملخص:

هذا العمل هو جزء من موضوع تشخيص عيوب المحركات غير المتزامنة في وجود عيوب من نوع:

* دارة قصيرة بين الحلقات في الجزء الثابت.

* انكسار قضيب من العمود الدوار.

يعتمد موضوع تشخيص الأعطال على تقنية معالجة الإشارات ، وهو حل فعال لمشكلة تشخيص الأعطال بناء

على تحليل طيف تيار الجزء الثابت (FFT)

الكلمات الدالة: المحركات غير المتزامنة ، عيوب الدوار ، كسر الشريط ، دارة قصيرة بين الحلقات في الجزء

الثابت، الأعطال المختلطة ، التشخيص , FFT.