

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية
République Algérienne Démocratique et Populaire
وزارة التعليم العالي والبحث العلمي
Ministère de l'enseignement Supérieur et de la Recherche scientifique



Université Mohamed Khider Biskra
Faculté des Sciences et de la Technologie
Département de Génie Electrique

Filière : **Génie Électrique**
Option : **Électromécanique**

Réf:.....

Mémoire de Fin d'Etudes
En vue de l'obtention du diplôme :

Master

Thème

**Diagnostic des défauts de la machine
asynchrone par la méthode des
éléments finis**

Présenté par :
SAOULA Hind

GUIDOUM BOUZIANI Rima

Devant le jury composé de :

Mr.SRAIRI Kamel

Mr.ALLOUI Lotfi

Mr. KHENE Mohamed Lotfi

Professeur

Professeur

MCA

Président

Encadreur

Examineur

Année universitaire : 2019 / 2020

Dédicace

Je dédie ce modeste travail accompagné d'un profond amour :

*À L'homme de ma vie, mon exemple éternel, s'est toujours sacrifié
pour me voir réussir, à toi mon père.*

*À Ma mère, en témoignage de ma profonde et ma grande
reconnaissance pour sa tendresse, sa patience, son sacrifice tout au
long de mes études.*

À Mes sœurs « Ilhem, Manel et Amel »

À Mon frère « Amin »

*Et à toute mes amies « Ikram, Kinza, Hiba et Zahra » pour leur
fidélité*

Hind

Remerciements

Avant tout, nous remercions Allah pour nous avoir donné la force et le courage pour mener à bien ce travail.

Nous tenons à présenter notre grande reconnaissance à notre encadreur Dr. ALLOUI Lotfi de nous avoir accordé sa confiance pour mener à bien ce travail de recherche et de nous avoir guidé à travers ses précieux conseils.

Nous souhaiterons également remercier nos enseignants de génie électrique

Nos remerciements sont destinés aussi à toutes Nos familles, et tous Nos amis pour leur aide et leur soutien

Liste des tableaux

Tableau	Intitulé	Page
Chapitre I		
I.1	Diffèrent défailances des machines asynchrone	8
I.2	Les causes des défauts	9
Chapitre II		
II.1	Notions de diagnostic	21
Chapitre III		
III.1	Caractéristique de la machine asynchrone	34
III.2	Caractéristiques statoriques et rotoriques de la machine asynchrone.	35
III.3	B(H) du matériau magnétique	38

Liste des figures

Figures	Intitulé	Page
Chapitre I		
I.1	Eléments de constitution d'une machine asynchrone à cage d'écurueil	4
I.2	Vue schématique en perspective du stator	5
I.3	Vue schématique en perspective du rotor	6
I.4	Principe de fonctionnement d'un moteur asynchrone triphasé à cage	7
I.5	Répartition des défauts de la machine asynchrone 1988	11
I.6	Répartition des défauts de la machine asynchrone 1995	12
I.7	Répartition des défauts de la machine asynchrone en 2008	12
I.8	Représentation des différents défauts statoriques possible	13
I.9	Cassures de barres et de portions d'anneaux	14
I.10	Zoom sur une cassure de barre d'un moteur asynchrone	15
I.11	Représentation de l'excentricité statique, dynamique et mixte	15
Chapitre II		
II.1	Les paramètres mesurés dans le moteur à induction	23
II.2	Mesure vibratoires de la MAS	24
II.3	Structure générale de réseau de neurones	26
Chapitre III		
III.1	L'enchaînement des programmes de Flux 2D	34
III.2	Régions du domaine de calcul du champ électromagnétique	36
III.3	Répartition du maillage	37
III.4	Le maillage de l'entrefer	37

Liste des figures

III.5	Caractéristiques B(H) du matériau magnétique	39
III.6	Circuit représentant les effets d'extrémités liés à la géométrie	40
III.7	Répartition des lignes de flux	41
III.8	L'induction magnétique	42
III.9	Le courant statorique en fonction du temps	43
III.10	Le courant de barre en fonction du temps	43
III.11	La vitesse en fonction du temps	44
III.12	Le couple en fonction du temps.	44
Chapitre IV		
IV.1	Vue bidimensionnelle de la MASY avec défaut de cassures des barres rotoriques (Bar 9 et Bar 10).	47
IV.2.a	Lignes des flux à l'intérieur de la machine à l'état sain et la machine avec défaut (en pleine charge) à l'instant $t = 0.03s$ représentant ainsi le régime transitoire de la machine	48
IV.3	Courant statorique en fonction du temps	49
IV.4	Comparaison entre courants rotoriques respectivement, une machine défectueuse ayant un défaut rotorique et une autre machine saine ne présentant aucun défaut	50

Liste des figures

IV.5	Comparaison entre l'évolution temporelle des vitesses	52
IV.6	Comparaison entre couples électromagnétiques.	53
IV.7	Spectre de vitesse de rotation pour une machine asynchrone en plein charge	54
IV.8	Spectre du couple électromagnétique pour une machine asynchrone en plein charge	55
IV.9	Spectre du courant statorique pour une machine asynchrone en plein charge	56

Liste des abréviations

Symbole	Dénomination	Unités
Lettre latine		
TFD	Transformation de Fourier discrète	[-]
TFR	Transformée de Fourier rapide	[-]
g	Glissement	[-]
p	Nombre de pair de pole	[-]
Fmm	Force magnétomotrice	[A/m]
B	Induction magnétique	[Tesla]
P	Perméance de l'entrefer	[H/m]
Ws	Pulsation statorique	[rad/s]
\vec{B}	Vecteur induction magnétique	[T]
\vec{H}	Vecteur champ magnétique	[A /m]
\vec{E}	Vecteur champ électrique	[V /m]

Liste des abréviations

\vec{j}	Densité de courant totale	[A/m ²]
Lettre Grec		
Ω_s	Vitesse synchrone	[tr/s]
μ_0	Perméabilité magnétique de l'air	[H/m]
μ	Perméabilité magnétique	[H/m]
Ω	Vitesse de glissement	[tr/s]
Ω_r	Vitesse rotorique	[tr/s]
σ	Conductibilité électrique	[$\Omega^{-1}m^{-1}$]

Résumé

La machine asynchrone à cage d'écureuil est largement utilisée dans la majorité de l'industrie, et pour assurer la continuité de production et la protection entre les arrêts inattendus, la recherche dans le domaine de la maintenance et la détection des défauts devient très importante.

Ce travail de mémoire de fin d'étude est consacré pour la simulation de la présence de défauts de cassure des barres rotorique dans la machine asynchrone triphasés à cage par l'analyse spectrale des courants statoriques en faisant une simulation par la méthode des éléments finis en utilisant le logiciel Flux 2D.

ملخص

إن استخدام الآلة اللامتزامنة ذات القفص السنجاب أخذ نطاقاً واسعاً في معظم الصناعات، ومن أجل استمرار الإنتاج والحماية من التوقعات المفاجئة فإن البحث في مجال الصيانة وتحديد الاعطاب أصبح مهم جداً. إن هذا العمل لمحاكاة في وجود اعطاب والتي تتمثل في انكسار قضبان الجزء الدوار في الآلات اللامتزامنة الطور بطريقة التحليل الطيفي لتيار الجزء الثابت باستعمال طريقة العناصر المنتهية عن طريق Flux 2D. ثلاثية برنامج

Table de matières

Dedicace.....	i
Remerciements	ii
Liste des tableaux	iii
Liste des figures	iv
Liste des abréviations	vii
Résumé	ix
Table de matières	8
Introduction générale.....	1

Chapitre I : Généralités sur les machines asynchrones à cage

I.1. Introduction	4
I.2. Constitution	4
I.2.1. Stator	5
I.2.2. Rotor à cage	5
I.2.3. Les organes mécaniques	6
I.3. Principe de fonctionnement	6
I.4. Application des machines asynchrones	7
I.5. Étude statistique des différents défauts de la machine asynchrone	8
I.5.1. Défaillances d'ordre électrique	13
I.5.1.1. Défauts statoriques	13
I.5.1.2. Défauts rotoriques	13
I.5.1.3. Défaillances d'ordre mécaniques	16
I.5.1.3.1. Défauts de roulement	16
I.5.1.3.2. Défaillances des flasques	16
I.6. Conclusion	16

Chapitre II : Les méthodes de détection et de diagnostic des défauts des moteurs à induction

II.1. Introduction :	21
II.2. Notions reliée au diagnostic	21

II.3. Classification des méthodes de diagnostic	22
II.3.1. Approche signal	22
II.3.1.1. Les grandeurs analysées par les méthodes de diagnostic	23
II.3.1.1.1. Diagnostic par l'analyse des vibrations mécaniques	23
II.3.1.1.2. Diagnostic par l'analyse du flux magnétique axial de fuite	24
II.3.1.1.3. Diagnostic par l'analyse des tensions statoriques induites	25
II.3.1.1.4. Diagnostic par l'analyse du couple électromagnétique	25
II.3.1.1.5. Diagnostic par l'analyse du courant statoriques	25
II.3.1.1.6. Diagnostic par l'analyse des puissances instantanées	25
II.3.2. Approche modèle	25
II.3.2.1. Les réseaux de neurones	26
II.3.2.2. La reconnaissance de formes (RdF)	26
II.4. Les techniques de traitement du signal	27
II.4.1. Transformation de Fourier discrète "TFD"	27
II.4.2. Transformée de Fourier rapide "TFR"	27
II.4.3. Périodogrammes	28
II.5. Conclusion	29

Chapitre III : Simulation de la machine asynchrone à cage à l'état sain

III.1. Introduction	31
III.2. La méthode des éléments finis	31
III.3. Présentation de logiciel Flux 2D	32
III.3.1. Module Construction (Preflux)	33
III.3.2. Module Solving Process	33
III.3.3. Module Analysis	33
III.4.1. Les matériaux conducteurs	38
III.4.2. Les matériaux magnétiques	38
III.4.3. Couplage avec les équations de circuit	39
III.4.3. Résultats de simulation	40
III.4.4. Analyse des caractéristiques de la machine	41
III.5. Les interprétations	44
III.6. Conclusion	45

Chapitre IV : La simulation de la machine asynchrone à cage avec défaut de cassure de barre

IV.1.Introduction.....	47
VI.2.Simulation de défaut de cassure de barre par la méthode des éléments finis	47
IV.3.Détection des signatures de défaut par l'analyse spectrale	53
IV.4.Conclusion	57
Conclusion générale	59
Annexe A	61
Annexe B	62
Références bibliographique	63

Introduction générale

Introduction générale

Aujourd'hui, l'utilisation des machines asynchrone s'augmente d'une façon très rapide à cause de sa robustesse, sa simplicité de fonctionnement, son faible coût d'achat et de maintenance par rapport au machines à courant continu et les machines synchrones et pour cela, on trouve cette machine dans la plupart des domaines notamment dans l'entraînement de l'industrie et aussi dans ; l'aéronautique, le nucléaire, le transport (le tramway, TGV...).

Pour assurer la continuité de fonctionnement, Il est nécessaire d'avoir un système qui protège contre les arrêts inattendus qui sont dues principalement à l'apparition de défauts rotoriques ou statoriques. Il est nécessaire alors de découvrir et développer des systèmes de diagnostic des défauts.

Dans ce contexte, ce travail est dédié à la présentation d'une méthode déjà présentée dans des travaux de recherche réalisés au paravent, où le logiciel Flux 2D est adopté pour modéliser les comportements, électriques, magnétiques et mécaniques d'une machine asynchrone.

La méthode de la transformer de Fourier 'TFF' est adoptée pour faire une analyse spectrale de certaines grandeurs électriques et magnétiques de la machine portant de défauts. Cette analyse est pour but de présenté la différence entre le spectre de certaines grandeurs, magnétiques, électriques et mécaniques où la présence de défaut dans la machine électrique engendre l'apparition d'harmoniques dans le spectre présenté.

Ce mémoire est structuré à partir de quatre chapitres présentés comme suit :

Le premier chapitre présente des généralités sur la machine asynchrone à cage d'écurueil (constitution, principe de fonctionnement ...) ainsi que les différents défauts qui peuvent apparaitre à l'intérieur de la machine et leurs principales causes.

Dans le deuxième chapitre nous présentons les notions et les étapes du diagnostic des machines électriques ainsi que les différentes méthodes de diagnostic et plus

Introduction générale

particulièrement la méthode de traitement de signal. Cette dernière est très exploitée dans le diagnostic des défauts des machines électriques.

Le troisième chapitre expose les résultats obtenus par la simulation de la machine asynchrone à cage dans son état sain. L'ensemble des résultats présentés sont atteints par l'application du logiciel « Flux 2D » qui adopte la méthode des éléments finis comme méthode de résolution des équations différentielles obtenues à partir des équations de Maxwell.

Le dernier chapitre de ce mémoire présentera une étude comparative entre les résultats de la simulation de la même machine mais avec l'apparition d'un défaut rotorique définie par une rupture de deux barres rotoriques.

Ce travail termine par une conclusion générale.

Chapitre I :
Généralités sur les machines
asynchrones à cage

I.1. Introduction

La machine asynchrone est la machine la plus utilisée dans l'industrie à cause de sa robustesse, sa facilité d'intervenir en cas de défaillance (maintenance), son faible coût par rapport aux autres machines en plus cette machine possède une grande gamme de puissance.

Dans ce chapitre on va présenter brièvement la construction de la machine asynchrone et on va voir quelques défauts qui peuvent conduire à l'arrêt de production ou l'endommagement d'équipement.

I.2. Constitution

La machine asynchrone se fonctionne en mode génératrice ou moteur, elle aussi permet de convertir l'énergie électrique en énergie mécanique ou le contraire.

La machine asynchrone, souvent appelée la machine à induction composé d'un stator et un rotor, constitués de tôles d'acier au silicium et comportant des encoches dans lesquelles on place les enroulements. La partie fixe qui s'appelle le stator; on y trouve les enroulements reliés à la source. Le rotor qui est la partie mobile, Ce dernier est monté sur un axe de rotation. On définit deux types de rotor: rotor bobiné ou à cage d'écureuil. Toutefois, on peut dire que électriquement les deux types sont équivalent [1].

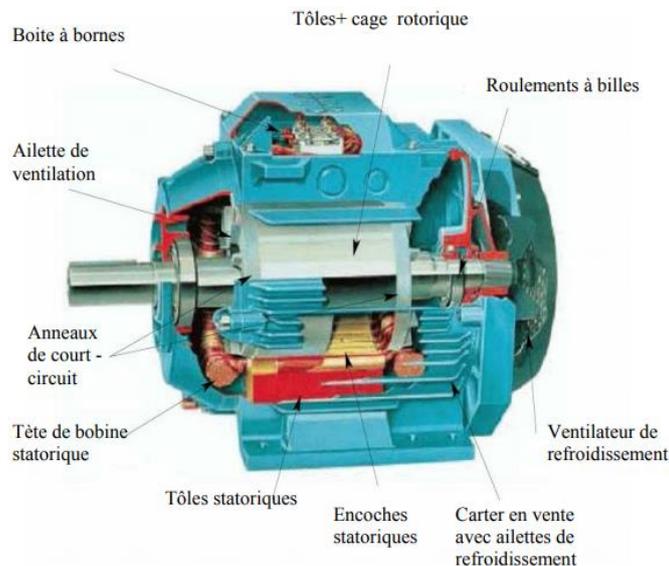


Fig.I.1 : Eléments de constitution d'une machine asynchrone à cage d'écureuil [1].

I.2.1. Stator

Le stator est constitué d'un enroulement bobiné réparti dans les encoches du circuit magnétique, qui est constitué d'un empilage de tôles (figure I.2). Le bobinage statorique est composé de deux parties : la première présente les conducteurs d'encoches qui permettent de créer le champ magnétique dans l'entrefer à l'aide de la conversion électromagnétique. Et la deuxième, Les têtes de bobines permettent, quant à elles, la fermeture des courants en organisant la circulation judicieuse des courants d'un conducteur d'encoche à l'autre. [2].

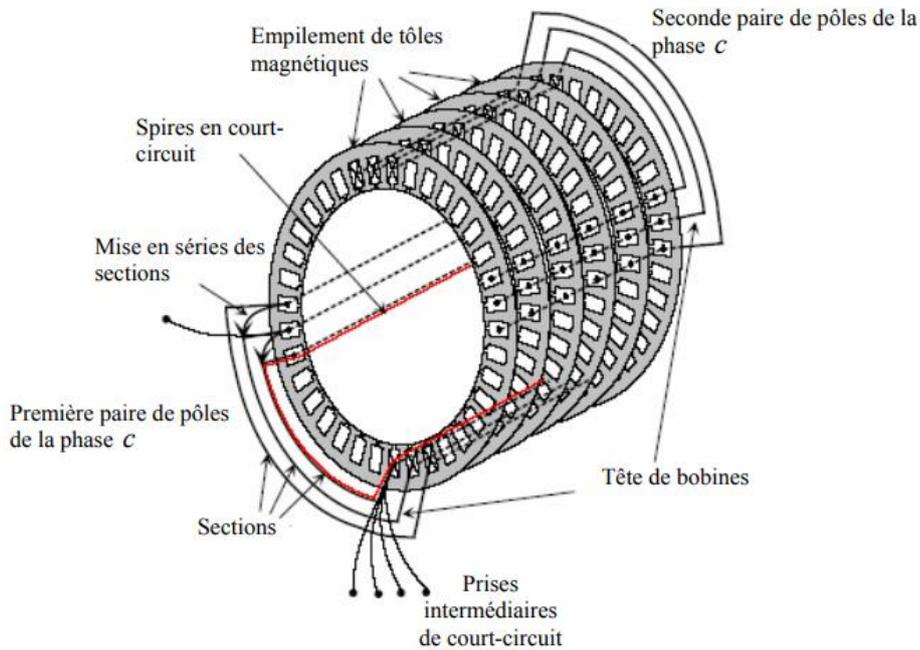


Fig.I.2 : Vue schématique en perspective du stator [2].

I.2.2. Rotor à cage

Dans le rotor à cage d'écureuil, les anneaux de court-circuit est comme un trajectoire, permet la circulation des courants d'une barre rotorique à l'autre. Cette cage est insérée dans le cœur d'un circuit magnétique constitué de disques en tôles sur l'arbre de la machine.

L'avantage de ce type de machine est ; la simplicité de construction, un faible coût par rapport celle à rotor bobiné, parmi les inconvénients de la machine à cage est qu'il a, au démarrage, de mauvaises performances (faible couple et courant élevé) [2].

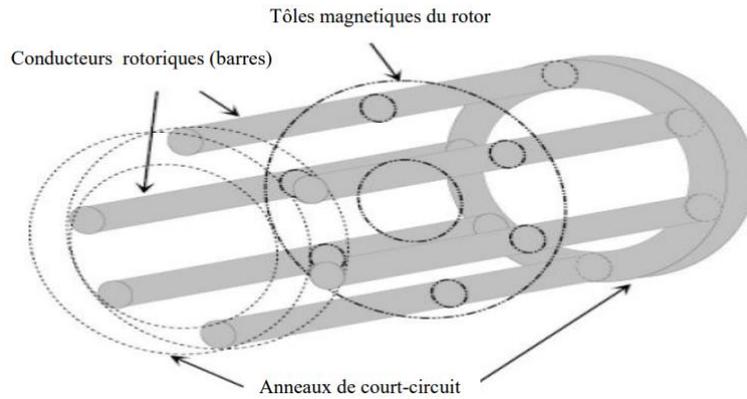


Fig.I.3 : Vue schématique en perspective du rotor [2].

I.2.3. Les organes mécaniques

Parmi les organes mécaniques de la machine asynchrone ; Le carter qui joue le rôle de protecteur de la machine, L'arbre qui est l'organe de transmission. Il comprend une partie centrale qui sert de support au corps du rotor et un bout d'arbre sur lequel est fixé un demi-accouplement. [3].

I.3. Principe de fonctionnement

Le principe de fonctionnement de la machine asynchrone est basé sur les lois d'induction, on peut dire que la machine asynchrone est comme un transformateur ; l'enroulement primaire est le stator avec un champ magnétique tournant et le rotor à l'enroulement secondaire en court-circuit.

Le principe de fonctionnement de la machine asynchrone s'apparait dans l'interaction électromagnétique du champ tournant, crée par le courant donné par un réseau triphasé équilibré aux enroulements statoriques, et des courants produisant dans l'enroulement rotorique lorsque les conducteurs de ce dernier sont coupés par le champ magnétique tournant (loi de LENZ). L'interaction électromagnétique de la machine est possible seulement que lorsque la vitesse du champ tournant diffère de la vitesse de rotation [3].

Dans la MAS, Le champ tournant de la machine tourne avec une vitesse nommée vitesse de synchronisme Ω_s . Elle est donné par :

$$\Omega = \Omega_s - \Omega_r = g \cdot \Omega_s \quad (I.1)$$

$$\Omega_s = \frac{W_s}{p} = \frac{2\pi f}{p} \quad (I.2)$$

$$g = \frac{\Omega_s - \Omega_r}{\Omega_s} \quad (I.3)$$

f : fréquence des tensions triphasées du réseau d'alimentation [HZ].

p : le nombre de paires de pôles.

Un rotor en court-circuit, balayé par ce champ tournant, sera traversé par des courants induits (courant de Foucault), ce qui soumet ce dernier à des forces électromagnétiques de Laplace. L'ensemble de ces forces crée un couple moteur qui mettra le rotor en rotation (voir figure I.4), le rotor tourne dans le même sens que le champ tournant, mais avec des vitesses différentes ($\Omega_r < \Omega_s$) [3].

En effet, Il existe donc toujours une différence de vitesse entre le stator et le rotor. Cette différence s'appelle le glissement (g) qui est une caractéristique particulière de la MAS. Il est défini comme étant l'écart de vitesse entre la vitesse de synchronisme (Ω) et la vitesse de rotation du rotor (Ω). Le glissement (g) est alors donné par :

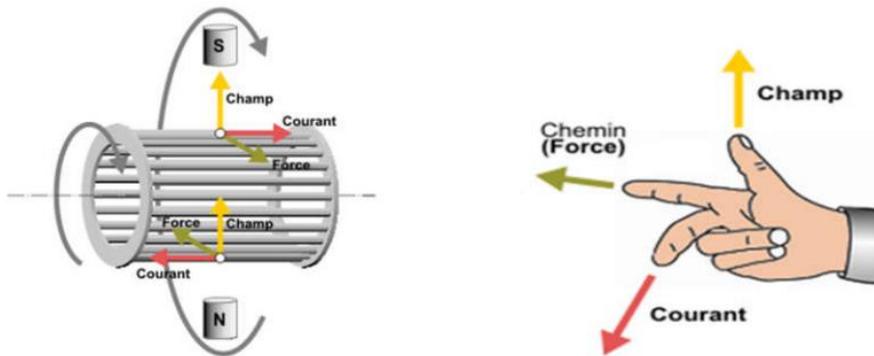


Fig.I.4 : Principe de fonctionnement d'un moteur asynchrone triphasé à cage [3].

I.4 .Application des machines asynchrones

Les moteurs asynchrones sont les plus utilisés parmi les moteurs électriques grâce à :

- Simplicité d'utilisation et d'installation.
- Un faible coût de maintenance par rapport d'autres machines électriques.
- Un moteur peu onéreux.
- Nombreuses utilisations.

Le moteur asynchrone monophasé : le type le plus fréquent dans la vie de tous les jours, 95 % des moteurs vendus généralement de basse puissance. La production du froid (réfrigérateurs, les condenseurs...), l'électroménager (lave-vaisselle, laveuses, les ventilateurs...), les pompes...etc.

En général on trouve le moteur asynchrone triphasé dans les applications qui nécessitant une grande puissance comme : les applications industrielles, l'entraînement de grosses machines...etc.

Le moteur à cage d'écureuil se distingue par : son faible cout d'achat, simplicité dans la construction et une grande robustesse de ce type de moteur. Il constitue la plus grande partie du parc de moteurs asynchrones actuellement en service. Par contre la machine à rotor bobiné type de moteur est utilisé généralement dans des applications difficiles au démarrage [2].

I.5.Étude statistique des différents défauts de la machine asynchrone

Le tableau suivant présente les différents défaut de la machine à induction, citons par les types d'origine (électrique, mécanique ...etc.):

Tab.I.1. Diffèrent défaillances des machines asynchrone [2]

Défaillance des machines électriques	Interne	Mécanique	Contact entre le stator et rotor
			Défaut de roulement
			Excentricité
			Mouvement des enroulements
	Electrique	Défaillance au niveau de l'isolant	
		Rupture de barre	
		Défaillance au niveau du circuit magnétique	
		Mécanique	Charge oscillante
			Surcharge de la machine
			Défaut de montage

	Externe	Environnementale	Humidité
			Température
			Propreté
		Electrique	Fluctuation de la tension
			Réseau bruité
			Source de tension déséquilibrée

Le tableau suivant présente les causes qui produisent les défauts de la machine [4].

Tableau. I.2 : Les causes des défauts [5].

	Défaillance	Les causes possibles	Effet sur la MAS
Stator	Court-circuit entre spires	Défaut d'isolants	<ul style="list-style-type: none"> • Augmentation du courant statorique ou courant rotorique. • variation de l'amplitude sur les autres phases • modification du facteur de puissance.
	Court-circuit entre phases	Décharge partielles	<ul style="list-style-type: none"> • Dépend de frottement de la localisation proche de l'alimentation. • Fusion des conducteurs. • Augmentation de courant dans les barres et les anneaux. • Déséquilibre des courants statoriques
	Court-circuit phase-bâti	Dégradation des isolants	<ul style="list-style-type: none"> • Augmentation de courant de phase.

			<ul style="list-style-type: none"> • implique un défaut d'isolant et d'une température élevée .
Rotor	Rupture de barres	Surcharge	<ul style="list-style-type: none"> • Réduction de la valeur moyenne de couple électromagnétique • Oscillation de la vitesse. Vibration mécanique.
	Rupture d'anneaux	Bulles coulées. Dilatation différentielle. Surcharge du couple. Détérioration des conditions de fonctionnement.	<ul style="list-style-type: none"> • Déséquilibre de la répartition des courants.
	Excentricité	Positionnement incorrecte des paliers lors de l'assemblage. Usure de roulement. Défaut de charge. Défaut de fabrication	<ul style="list-style-type: none"> • Induit oscillations de couple.
Mécanique	Roulement	Usure, Température élevée, Défaut de montage	<ul style="list-style-type: none"> • Oscillation du couple. • Augmentation des pertes • Des vibrations

De multiples études statistiques sur des machines ont été effectuées depuis les années 80 jusqu'à nos jours, concernent les machines asynchrones de moyenne et

grande puissance exploitées dans l'industrie. Les études effectuées sur des machines asynchrones de grande puissance (de 100 kW à 1 MW) dans les années 90, et la majorité des défauts se situent sur les roulements (41 %) et le stator (37 %). Les moins fréquentes sont les pannes au rotor (10 %) et les autres types constituent 12 % [6].

Une étude statistique, effectuée en 1988 par une compagnie d'assurance allemande de systèmes industriels sur les pannes des machines asynchrones de moyenne puissance (de 50 kW à 200kW) a donné les résultats suivants (Figure 1.6) [6].

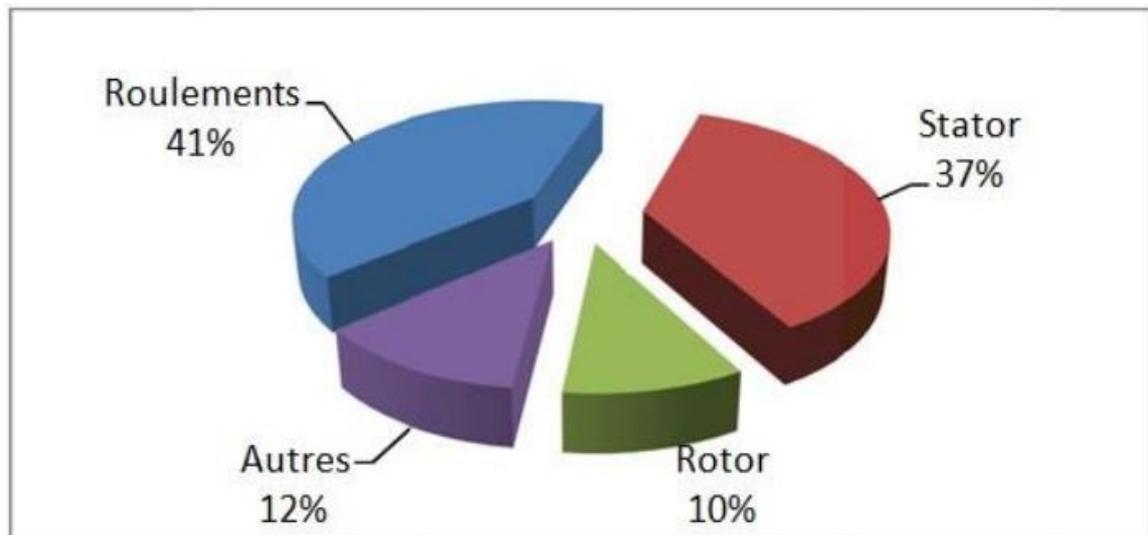


Fig.I.5 : Répartition des défauts de la machine asynchrone 1988 [6].

Dans la figure (I.6) est une étude statique pour des machines de grandes puissance ; 100 kilo watt jusqu'à 1 méga watt.

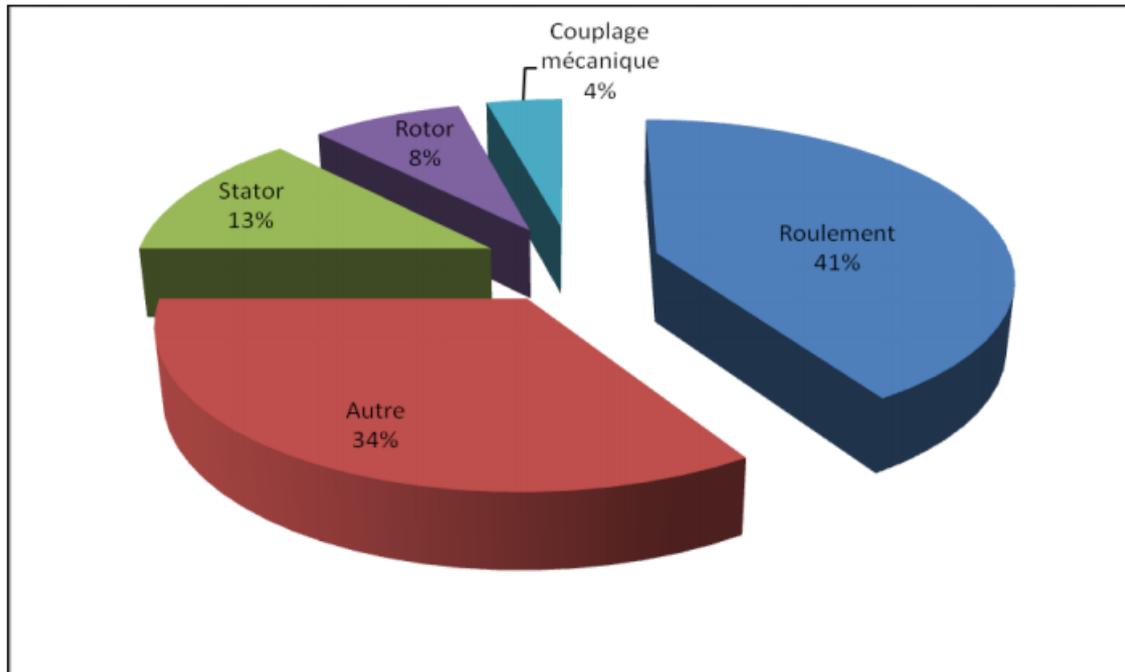


Fig.I.6 : Répartition des défauts de la machine asynchrone 1995 [6].

De même, une étude statistique, effectuée en 2008 par A. H. Bonnett sur les défauts de la machine asynchrone a donné les résultats suivants (Fig. I.7)

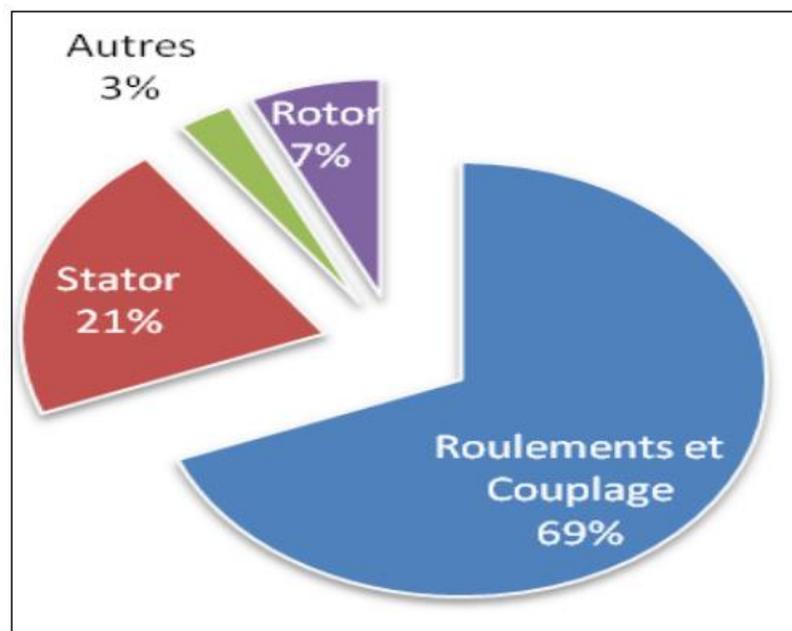


Fig.I.7 : Répartition des défauts de la machine asynchrone en 2008 [6].

I.5.1. Défaillances d'ordre électrique

I.5.1.1. Défauts statoriques

Parmi les défauts qui affecte la machine sont qui les défauts au niveau des circuits statoriques, parmi eux [7] :

- Court circuits entre spires.
- Court-circuit entre phase et neutre
- Court-circuit entre une phase et la carcasse de la machine

Le court-circuit entre spires est le défaut le plus fréquent au niveau du stator

Les différents courts circuits sont représentés dans la figure ci-dessous :

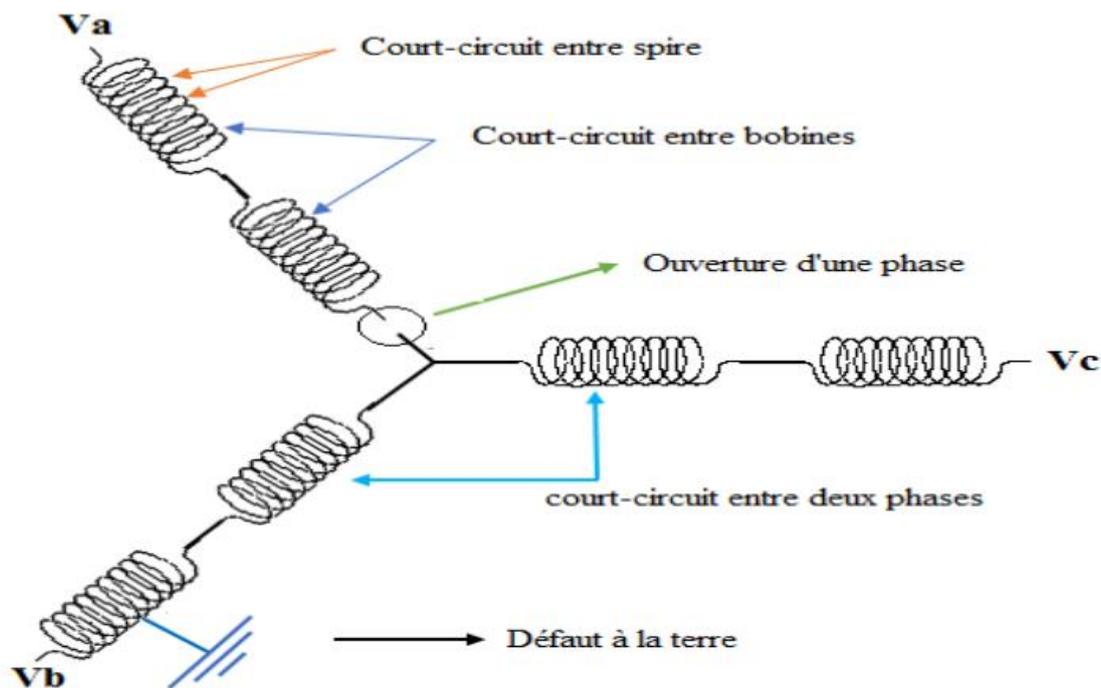


Fig.I.8 : Représentation des différents défauts statoriques possible [7].

I.5.1.2. Défauts rotoriques

Les défauts les plus récurrents qui sont localisés au niveau du rotor peuvent être :

- Cassure de barres
- Rupture d'une portion d'anneau de court-circuit

- Excentricité

a- Rupture de barres

La cassure ou rupture de barre est l'un des défauts les plus fréquents au rotor. Elle peut se situer soit au niveau de son encoche soit à l'extrémité qui la relie à l'anneau rotorique. La rupture de barre affecte les paramètres de la machine comme le couple et la vitesse qui provoque des oscillations dans la machine et en conséquent des vibrations. Ce défaut s'affecte rapidement sur la machine ; plus le nombre de barre cassée plus le couple diminue [7].

b- Rupture d'une portion d'anneau de court-circuit

La détection de ces défaillances est rendue difficile par le fait que lors de leurs apparitions, la machine continue de fonctionner. Ces défauts ont par ailleurs un effet cumulatif. Le courant que conduisait une barre cassée, par exemple, se répartit sur les barres adjacentes. Ces barres sont alors surchargées, ce qui conduit à leurs ruptures, et ainsi de suite jusqu'à la rupture d'un nombre suffisamment important de barres pour provoquer l'arrêt de la machine. Elles provoquent aussi une dissymétrie de répartition de courants au rotor, ceci va générer des vibrations et l'apparition de défauts mécaniques [7].

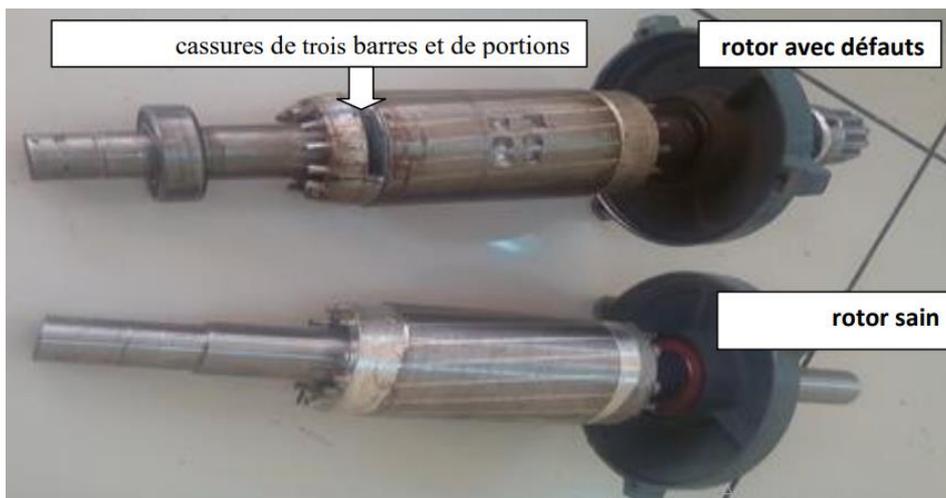


Fig.I.9 : Cassures de barres et de portions d'anneaux [7].

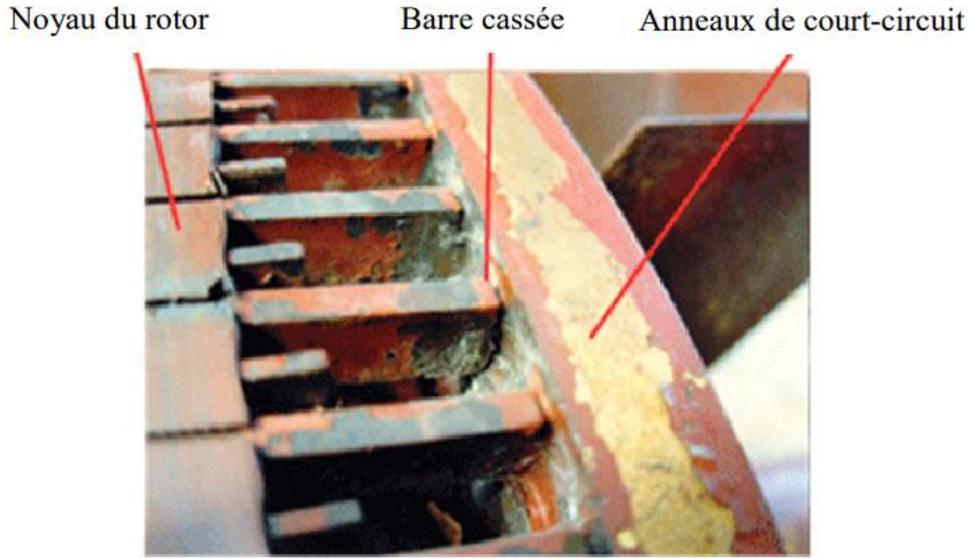


Fig.1.10 : Zoom sur une cassure de barre d'un moteur asynchrone [8].

c- Excentricité

On distingue trois types d'excentricité [7] (Fig1.12) :

- **L'excentricité statique** : correspond au cas où le centre de rotation de l'arbre du rotor n'est pas celui du centre géométrique du stator.
- **L'excentricité dynamique** : correspond, elle, à un centre de rotation du rotor différent du centre géométrique du stator mais, de plus, le centre du rotor tourne autour du centre géométrique de ce stator.
- **L'excentricité mixte** : est la somme des deux cas présentés ci-avant.

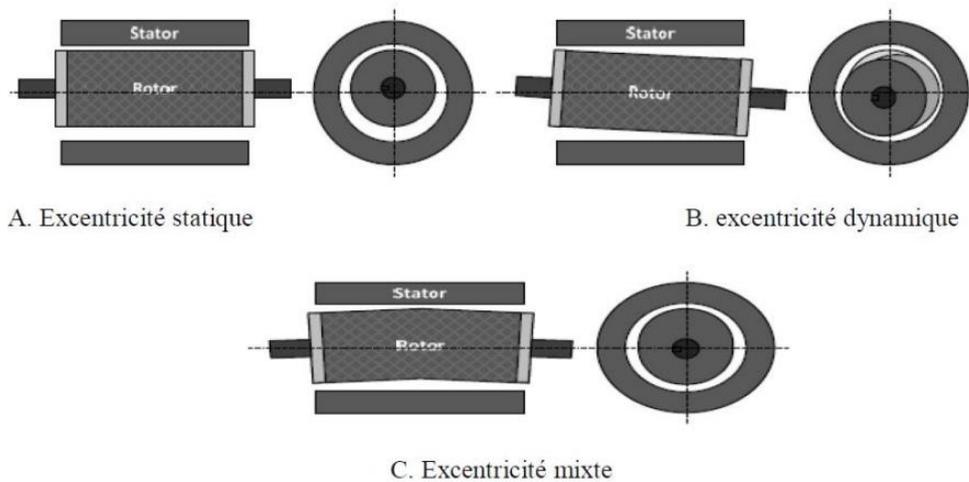


Fig.1.11 : Représentation de l'excentricité statique, dynamique et mixte [7].

I.5.1.3. Défaillances d'ordre mécaniques

Parmi les défaillances mécaniques on rappelle quelque défaut comme suit :

I.5.1.3.1. Défauts de roulement

Comme il est indiqué dans la Figure (I.9) la majorité des défauts dans les machines concernent les défauts de roulement.

Les roulements est très important dans le fonctionnement dans les différents machines électriques. Les défauts de roulements peuvent être causés par le choix de matériau de construction. Les problèmes de rotation au sein de la culasse du roulement, causés par un roulement défaillant, qui peuvent créer des perturbations dans machine [6].

I.5.1.3.2. Défaillances des flasques

Ce type de défaillance est généralement causé par l'étape de fabrication. En effet, la mauvaise position du flasque 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 on peut utiliser l'analyse vibratoire ou une analyse harmonique des courants absorbés par la machine [6].

I.6. Conclusion

Les différents défauts montrés dans ce chapitre et ses causes possibles peuvent minimiser la production et donc une bonne détectassions et localisation des défauts est nécessaire afin de trouver des solutions pour les pannes tout ça peut être effectuée grâce à le diagnostic.

Chapitre II :

Les méthodes de détection et de diagnostic des défauts des moteurs à induction

II.1. Introduction :

La surveillance devient une partie importante dans l'industrie. Le bon fonctionnement de la machine électrique dépend de la détection et l'analyse des défauts. L'objectif de diagnostic représente dans la sûreté de fonctionnement et la continuité de service des entraînements électriques, aussi pour éviter les pannes et minimiser le temps d'arrêt et le temps de la maintenance.

Dans ce chapitre on présente les différentes méthodes de diagnostic les plus utilisées cette dernière décennies, et donne une idée générale des différentes approches utilisées pour le diagnostic des anomalies dans les machines électriques. Il existe deux approches ; l'approche signal et l'approche modèle. Dans notre chapitre on a basé sur l'approche signal, donc il est important d'étudier le diagnostic par les méthodes de traitement de signal.

II.2. Notions reliée au diagnostic

Tab.II.1. Notions de diagnostic [11].

Notions	Définitions
Défaut	Déviations non permises d'au moins d'une propriété ou d'un paramètre caractéristique du système par rapport aux conditions normales de fonctionnement.
Panne	Interruption permanente de la capacité du système à remplir une fonction requise dans des conditions d'opérations spécifiées.
Diagnostic	Détermination du type, de la taille, de la localisation et de l'instant d'occurrence d'un défaut. C'est une fonction qui suit la détection et inclut les fonctions de localisation et d'identification.
Surveillance	Ensemble de fonctions s'exécutant en temps réel ayant pour but de reconstituer l'état réel du procédé au sein des modèles utilisés par le système de conduite du procédé. Elle consiste à l'enregistrement de l'information ainsi qu'à la reconnaissance et l'indication des comportements anormaux.

Détection de défauts	Détermination de la présence de défauts et de l'instant d'occurrence de ces défauts.
Localisation de défauts	Détermination du type, de la localisation et de la date d'un défaut détecté. Elle consiste à remonter d'un ensemble de symptômes à un ensemble de composants défectueux.
Identification de défauts	Détermination de la taille et du comportement temporel d'un défaut. C'est une fonction qui suit la localisation.

Un bon diagnostic permet de réduire les dégradations du système surveillé et limiter le temps d'arrêt de la machine.

Le diagnostic d'un système se réalise à partir de trois étapes principales :

- La détection de défauts
- La localisation de défauts
- L'identification de défauts

II.3. Classification des méthodes de diagnostic

II.3.1. Approche signal

L'approche signal dépend du traitement et l'analyse des signaux qui sont obtenus par les capteurs pour acquérir les informations les plus utiles dans le diagnostic. La mesure d'un signal indique des oscillations qui peuvent être : harmoniques, de nature stochastique ou les deux ensembles, cette variation peut être indiquée la présence d'un défaut.

Ces signaux obtenus peuvent être dépendants ou indépendants du temps, aussi monodimensionnels ou bidimensionnels.

Le diagnostic d'une défaillance par l'approche signal s'effectue en deux étapes [10] :

La première étape est de détecter le défaut pendant le fonctionnement de la machine, ensuite identifier l'origine de ce défaut par un raisonnement logique qui est basé sur un écart

par comparaison entre les signaux observés dans les domaines temporels, fréquentiels ou statistiques.

L'avantage du traitement de signal est de permettre de caractériser les différents modes de fonctionnement de la machine à partir des signaux.

II.3.1.1. Les grandeurs analysées par les méthodes de diagnostic

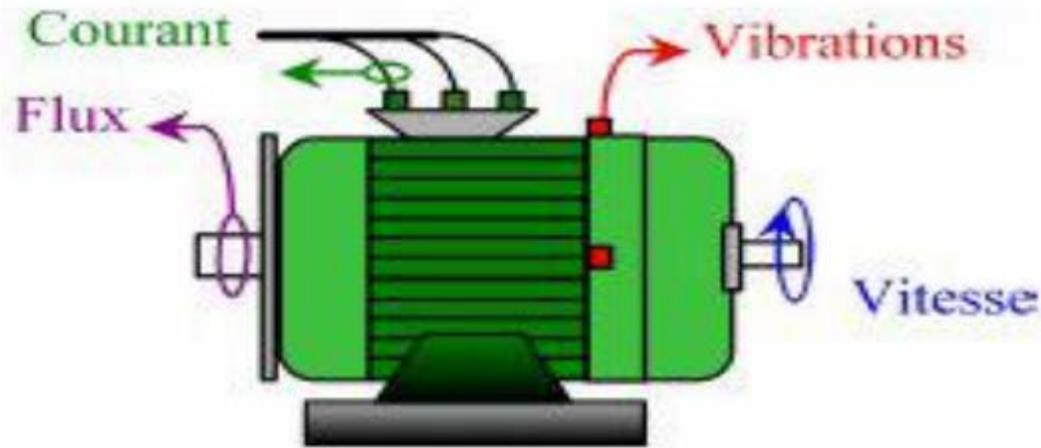


Fig.II.1 : Les paramètres mesurés dans le moteur à induction [10].

Les principales techniques de diagnostic sont les suivantes :

II.3.1.1.1. Diagnostic par l'analyse des vibrations mécaniques

C'est la méthode la plus utilisée dans la pratique. Les forces radiales (Equ. II.1) créées par le champ d'entrefer, ces forces provoquent des vibrations dans la machine [9].

$$\sigma(\theta, t) = \frac{Bs^2(\theta, t)}{2\mu_0} \quad (\text{II.1})$$

La distribution de l'induction magnétique est définie par le produit entre la force magnétomotrice (Fmm) et la perméance (P).

$$Bs = Fmm \cdot P \quad (\text{II.2})$$

Parmi les méthodes de mesurer les vibrations de la machine asynchrone est par placer des accéléromètres aux paliers dans ces directions : axiale, radiale et verticale. La détection des défauts ce fait par la comparaison entre les spectres des signaux de vibrations de la machine avec défaut et ceux qui ont enregistrées de la machine à l'état sain. Cependant, cette méthode représente des inconvénients tels que ; le problème dans la connexion de ces capteurs aussi le coût des capteurs de vibration est très élevé [10].

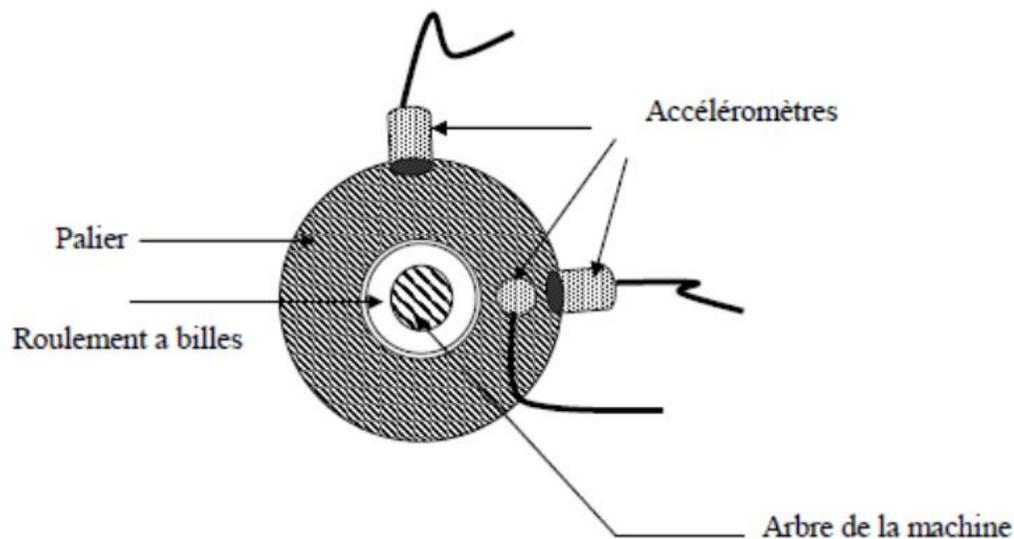


Fig.II.2 : Mesure vibratoires de la MAS [15].

II.3.1.1.2. Diagnostic par l'analyse du flux magnétique axial de fuite

Dans une machine saine, le flux de fuite axial est annulé à cause des courants et tensions statoriques qui sont équilibrés. L'existence d'un défaut provoque un déséquilibre magnétique et électrique dans le stator ce qui permet de créer des flux de fuite axial. On applique cette méthode par placer une bobine autour de l'arbre de la machine, ensuite on fait une analyse spectrale de la tension induite dans la bobine afin de détecter les défauts [15].

II.3.1.1.3. Diagnostic par l'analyse des tensions statoriques induites

Dans cette méthode on utilise le contenu fréquentiel de la tension produite par le flux rotorique dans les enroulements statoriques, parmi les défaillances affectent la tension des enroulements statoriques le défaut de rupture de barre rotorique. Avec cela, il est impossible d'appliquer cette technique lorsque la machine appartenant dans une chaîne de production [10].

II.3.1.1.4. Diagnostic par l'analyse du couple électromagnétique

Cette technique est très importante car, tous les défauts de la machine quel que soit statoriques ou rotoriques, affectent directement le couple électromagnétique. Alors la détection des défauts nécessite une analyse de spectre du signal du couple pour déterminer l'état de santé de la machine. Mais pour obtenir cette grandeur, il est nécessaire d'équipements coûteux [13].

II.3.1.1.5. Diagnostic par l'analyse du courant statorique

Dans le diagnostic de la machine asynchrone à cage, on peut prendre l'analyse des signaux du courant statorique par la transformée de Fourier rapide (TFR) comme référence. Le courant statorique est une grandeur très importante, à cause de sa facilité de mesure. Cette méthode permet de détecter les défauts électriques plus que les autres défauts [12].

II.3.1.1.6. Diagnostic par l'analyse des puissances instantanées

La puissance instantanée active P et réactive Q , utilisée dans la détection des défauts dans la machine asynchrone à induction, ce grandeur permet de donner un niveau d'information par le signal de puissance est plus grand que le signal du courant, car la puissance est un produit entre la tension d'alimentation et le courant. Cette méthode est utilisée notamment pour détecter des défauts mécaniques [14].

II.3.2. Approche modèle

L'approche modèle basée sur la connaissance du comportement du système à l'état sain et défaillant, et l'effet des défauts sur les variables mesurées. Cette méthode nécessite une base d'apprentissage intégrant des signaux dans les différents modes de fonctionnement de la machine. L'avantage de ces méthodes, ce qui ne nécessitent pas de connaissance du

modèle mathématique, mais elles ont besoin de grande quantité de données historiques processus étant disponibles [11].

Parmi les méthodes d'approche modèle :

II.3.2.1. Les réseaux de neurones

Les réseaux de neurones est une méthode de détection de défaut à partir de l'analyse spectrale des vibrations, elles a besoin de former une base d'apprentissage [9].

Un réseau de neurones contient un nombre de couches de neurones interconnectés (Fig.II.3) : Couches d'entrées, couches cachées et couches de sortie [11].

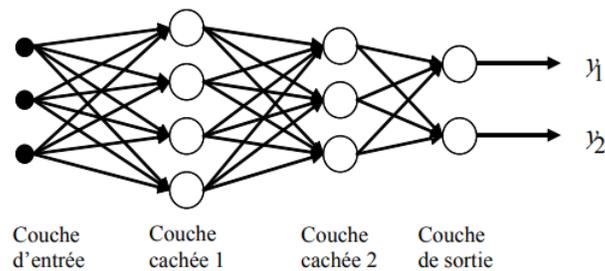


Fig.II.3 : Structure générale de réseau de neurones [11].

Toutefois, un réseau de neurone présente des inconvénients tels que [11] :

- L'apprentissage peut être long et difficile.
- L'apprentissage doit être réalisé toutes les données à la fois, avec une possibilité que le réseau oublie les résultats précédents.
- Le réseau de neurones n'est pas flexible, car si de nouvelles données interviennent, il faut faire un nouvel apprentissage.
- Le réseau de neurones ne fonctionnera pas, correctement hors de sa plage d'apprentissage.

II.3.2.2. La reconnaissance de formes (RdF)

Dans cette méthode, il existe deux types de reconnaissance des formes ; le premier utilisées formes y sont essentiellement caractérisées par des propriétés grammaticales on

l'appelle reconnaissance des formes structurelle, et la deuxième de reconnaissance des formes statistiques qui utilise des propriétés numériques des forme étudiées. Dans le diagnostic cette approche est rarement utilisée [9].

II.4. Les techniques de traitement du signal

Dans ce chapitre nous allons baser sur l'approche signale que les autres approches, alors il est très important de prendre une idée générale sur les méthodes utilisées pour le traitement de signal.

Traitement du signal

Les signaux qui fournissent par les capteurs sont les données disponibles contenant les informations pertinentes pour le diagnostic. Les méthodes de diagnostic par le traitement de signal associent, suite à l'analyse des signaux, des signatures propres au fonctionnement sain ou défaillant du système.

Pour extraire le signal relatif à un défaut, en général, on extraire l'amplitude ou les densités d'amplitude. Cependant il existe d'autres possibilités qui consistent à déterminer les transformées de Fourier [11] :

II.4.1. Transformation de Fourier discrète "TFD"

La TFD est donnée par la relation suivante :

$$F(k) = \frac{1}{N} \sum_{n=0}^{N-1} P_S(n) e^{-j \frac{2\pi nk}{N}} \quad (\text{II.3})$$

Pour $k = 0, \dots (N - 1)$

Pour une suite finie de P échantillons $\{p(0), p(1), \dots, p(P - 1)\}$

N : le nombre de points de calcul de la transformation de fourier discrète.

II.4.2. Transformée de Fourier rapide "TFR"

La TFR est basée sur un algorithme de calcul rapide de la TFD. L'algorithme de base de cette transformée de fourier nécessite un nombre de points N. La TFR donnée par :

$$\text{Gain} = \frac{N}{\log_2(N)} \quad (\text{II.4})$$

II.4.3. Périodogrammes

a. Périodogrammes simples

La densité spectrale de puissance $\hat{P}_{ps}(f)$, repose sur l'équation suivante [11]:

$$\hat{P}_{ps}(f) = \lim_{N \rightarrow \infty} E \left[\frac{1}{(2N+1)} \left| \sum_{n=-N}^N P_{S(n)} e^{-j2\pi f n} \right|^2 \right] \quad (\text{II.5})$$

Avec $-\frac{1}{2T} \leq f \leq \frac{1}{2T}$

T : la période d'échantillonnage.

de $n = 0$ à $N - 1$, le calcul de la densité spectrale de puissance s'effectue avec la relation [10] :

$$\hat{P}_{ps}(f) = \frac{1}{N} \left[\left| \sum_{n=0}^{N-1} P_{S(n)} e^{-j2\pi f n} \right|^2 \right] \quad (\text{II.6})$$

L'estimation de la densité spectrale de puissance peut être considérée comme filtrage de signal d'entrée par un banc de filtres, chaque filtre élémentaire prend une réponse fréquentielle $H(f)$:

$$H(f) = \frac{\sin(N\pi(f-f_0))}{N \sin(\pi(f-f_0))} e^{j(N-1)\pi(f-f_0)} \quad (\text{II.7})$$

b. Périodogrammes modifiés

On utilise ce type de Périodogrammes lorsque le nombre d'échantillons N est limité. Il peut être considéré comme la multiplication terme à terme de la totalité du signal par la suite $\omega(n) = \Pi \{0, \dots, N-1\}(n)$. La densité spectrale de puissance est donnée par [11] :

$$\hat{P} ps(f) = \frac{1}{N} \left| \sum_{n=0}^{N-1} \omega(n) P_{S(n)} e^{-j2\pi f n} \right|^2 \quad (\text{II.8})$$

Le terme $\omega(n)$ représente l'expression mathématique de la fenêtre de pondération choisie. Les fenêtres de pondération les plus connues tels que : Hamming, Hanning, et Blackmann. [11].

II.5. Conclusion

Dans ce chapitre nous avons concentré sur l'importance de diagnostic des défauts des machines électriques dans l'industrie. Et nous avons vu les différentes méthodes à appliquer. Nous les avons classés en deux approches ; une approche dite "signal" basée sur le traitement du signal à partir des grandeurs mesurées, et "l'approche système".

Chapitre III :
Simulation de la machine
asynchrone à cage à l'état sain

III.1.Introduction

Dans ce chapitre nous présenterons la simulation de la machine asynchrone saine par la méthode des éléments finis sous le logiciel Flux 2D.

Parmi les méthodes utilisées pour le diagnostic des défauts est la méthode des éléments fins (FEM). Celle –ci est basée sur la résolution numérique des équations de Maxwell.

III.2.La méthode des éléments finis

Cette méthode est basée sur la résolution numérique des équations de Maxwell. Les informations fournies par ce type de simulation sont d'une grande précision et elles nous apportent la prise en compte de la géométrie de la machine, la saturation des matériaux magnétiques, ainsi que l'effet de peau dans les barres rotoriques, lorsque le problème est correctement posé (géométrie, physique, lien avec les équations de circuit...) et que l'on utilise le mode de résolution adéquate (magnétostatique, magnétodynamique, magnétique évolutif). D'autre part, d'un point de vue pratique, il est très facile de faire varier les conditions de fonctionnement de la machine (fréquence et flux magnétisant), en modifiant, directement, les paramètres dans le programme du calcul (Logiciel) d'où une grande souplesse d'utilisation. Dans les machines électriques les équations qui régissent le champ électromagnétique sont les équations de Maxwell associées aux relations constitutives du milieu considéré. On les définit comme suit [20] :

•Les relations de couplage électromagnétique

$$\overrightarrow{rot}\vec{H} = \vec{j} + \frac{\partial \vec{D}}{\partial t} \quad (\text{III.1})$$

Et par l'équation de Maxwell-Faraday Un champ électrique peut induire un champ magnétique. Ce champ induit est utilisé dans de nombreux générateurs électriques. Un aimant permanent en rotation qui crée un champ magnétique en mouvement, génère un champ électrique dans un fil à proximité.

$$\overrightarrow{rot}\vec{E} = \frac{-\partial \vec{B}}{\partial t} \quad (\text{III.2})$$

• **Les relations de conservation des flux**

Selon l'équation de Maxwell-Gauss Un champ électrique est généré par des charges électriques. Le champ électrique est orienté à partir des charges positives vers les charges négatives. Plus précisément, cette loi relie le flux électrique à travers n'importe quelle surface de Gauss fermée.

$$\operatorname{div} \vec{D} = \rho \quad (\text{III.3})$$

$$\operatorname{div} \vec{B} = 0 \quad (\text{III.4})$$

• **La relation régissant les propriétés des matériaux magnétiques**

$$\vec{D} = \varepsilon \vec{E} \quad (\text{III.5})$$

$$\vec{B} = \mu \vec{H} \quad (\text{III.6})$$

• **La relation de la loi d'ohm**

$$\vec{J} = \sigma \vec{E} \quad (\text{III.7})$$

III.3. Présentation de logiciel Flux 2D

Pour connaître les différents états des dispositifs de la machine quelle que soit ; électrique, magnétique ou thermique on utilise la méthode des éléments finis en régime permanents transitoires ou harmoniques. Flux 2D est un logiciel qui fait la simulation par la méthode des éléments finis, ce logiciel permet l'utilisateur ou l'ingénieur de calculer et visualiser les grandeurs les plus utiles, pour les dispositifs bidimensionnels ou symétrie de révolution comportant des matériaux à caractéristiques linéaire ou non [17].

Flux 2D a l'avantage du couplage avec les équations des circuits aussi d'ajouter une région surfacique particulière appelée 'bande de roulement' afin d'étudier les machines électriques tournantes avec les différentes positions du rotor, sans modifier la géométrie

et le maillage. Pour résoudre un problème il faut utiliser des modules spécialisés [18] [19] :

III.3.1.Module Construction (Preflux)

- **(Geometry & physics)**

Permet de définir la géométrie et le maillage du dispositif à étudier, de déterminer le type du problème (magnétostatique, magnétodynamique ou transitoire) et associer des matériaux et des propriétés (magnétiques et électriques) à chaque élément de la géométrie et sa décomposition en éléments finis.

- **(Circuit)**

Définit le schéma et les données du circuit électrique.

- **(Materials database)**

Permet de choisir et de construire une banque de matériaux. Ce module assure aussi le couplage entre le circuit magnétique et le circuit électrique d'alimentation.

III.3.2.Module Solving Process

Constitué principalement d'un module de résolution 2D (Direct) des différents modèles usuels de l'électromagnétisme et des problèmes thermiques.

III.3.3.Module Analysis

Permet, entre autres, de tracer les équipotentielles ou les lignes de flux, le maillage, la géométrie et les courbes 2D ou 1D selon un chemin prédéfini. Il permet aussi de récupérer les valeurs des grandeurs désirées (les flux d'encoches, les valeurs de l'énergie, couples) sous forme de fichiers numériques [19] [20].

Généralement la démarche de ces modules de Flux 2D est détaillée dans figure (III.1).

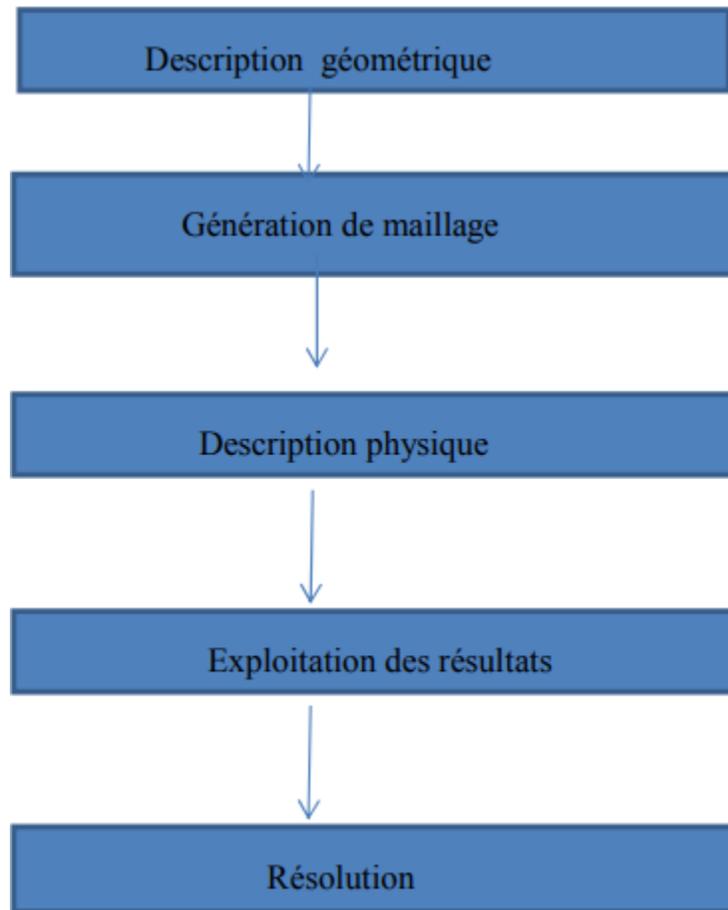


Fig.III.1. L'enchaînement des programmes de Flux 2D [3].

III.4.Application à la simulation de la machine asynchrone

Tableau.III.1. Caractéristique de la machine asynchrone.

Partie	Paramètre	Valeur	Unité
Machine	Puissance nominale	7.5	KW
	Tension nominale	380	V
	Vitesse nominale	2898	tr/min
	Nombre de pôles	2	[-]

	Fréquence	50	Hz
	Longueur active	125	mm

Tableau.III.2. Caractéristiques statoriques et rotoriques de la machine asynchrone.

Partie	Paramètre	Valeur	Unité
Stator	Nombre de phases	3	[-]
	Type de connexion	Y	[-]
	Nombre d'encoches	24	[-]
	Diamètre interne	120	mm
	Diamètre externe	212	mm
Rotor	Diamètre externe	119	mm
	Diamètre interne	40	mm
	L'épaisseur de l'entrefer	0.5	mm
	Nombre de barres	20	mm

La figure III.2 présente le circuit magnétique de la machine asynchrone

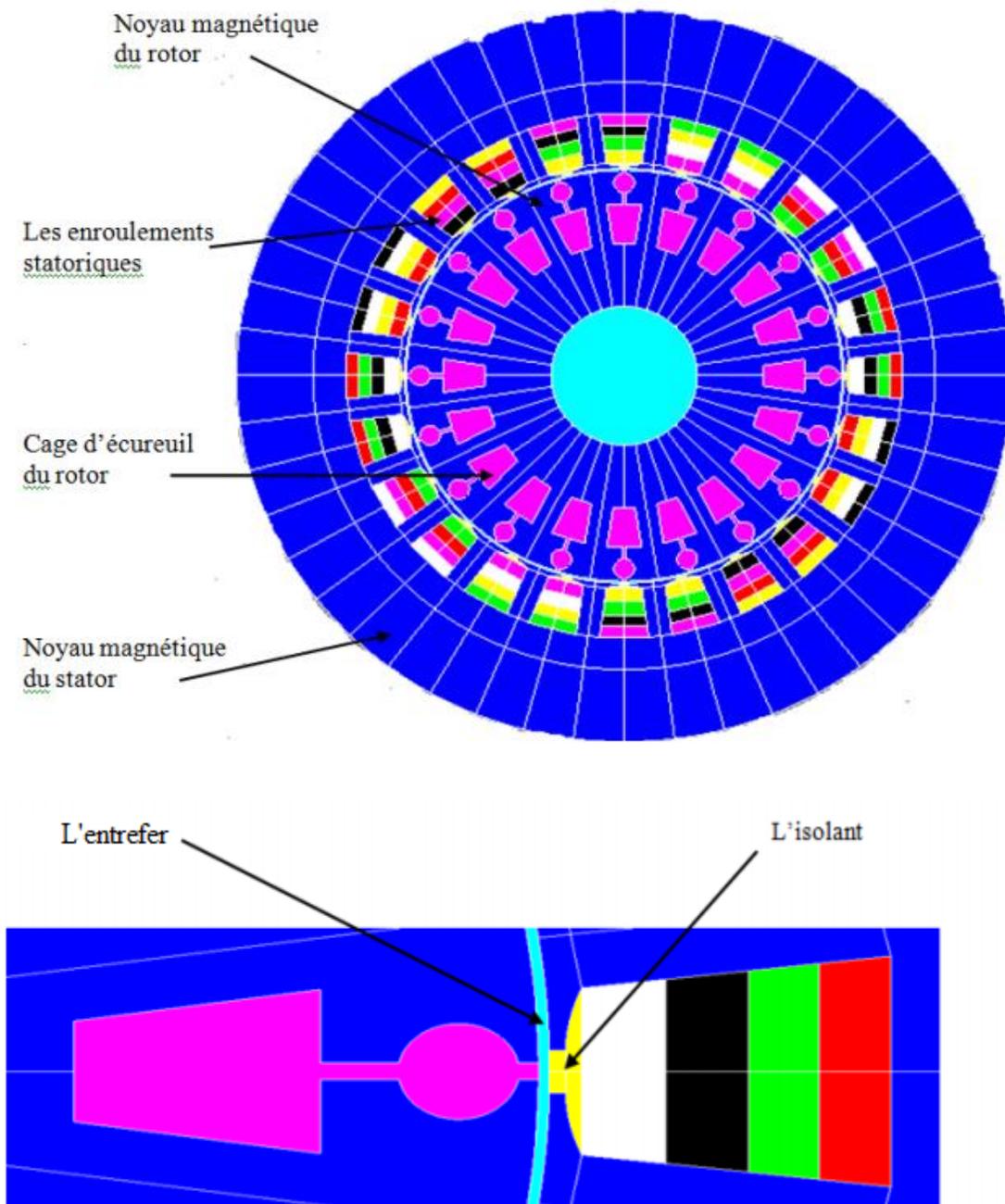


Fig.III.2.Régions du domaine de calcul du champ électromagnétique [16]

La figure II.7 représente le maillage effectué sur le circuit magnétique de la machine.

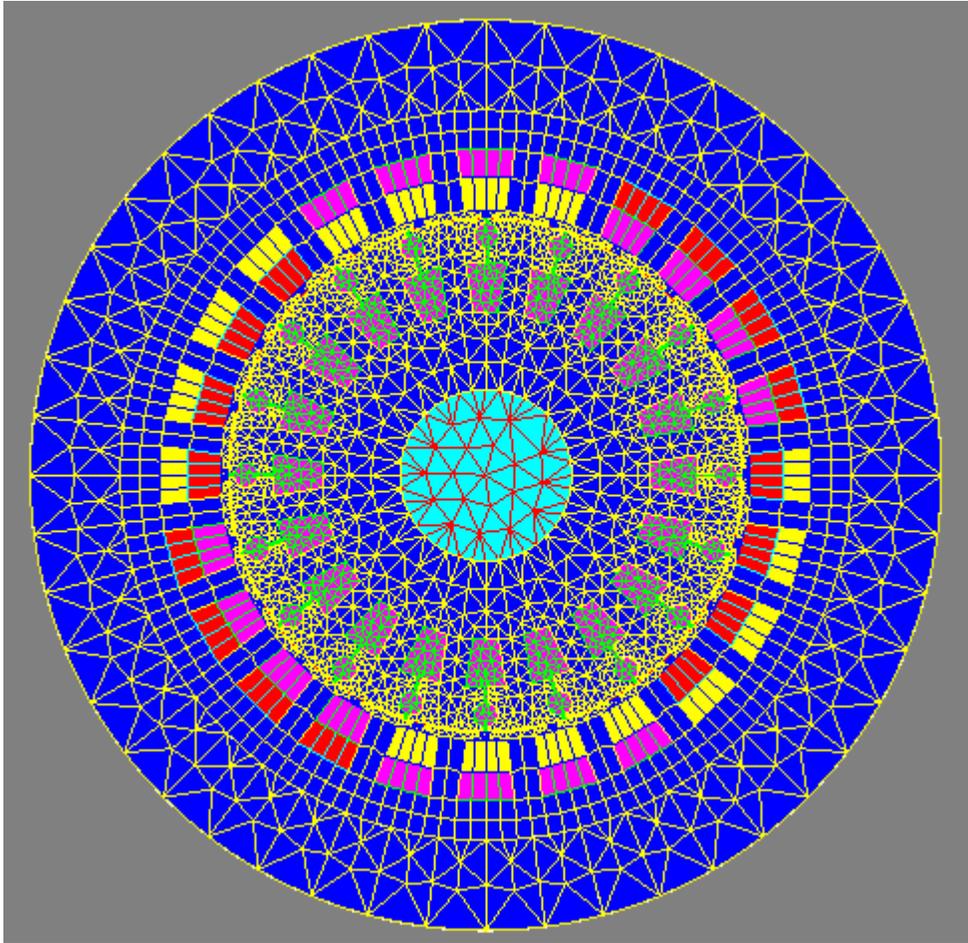


Fig.III.3. : La répartition du maillage

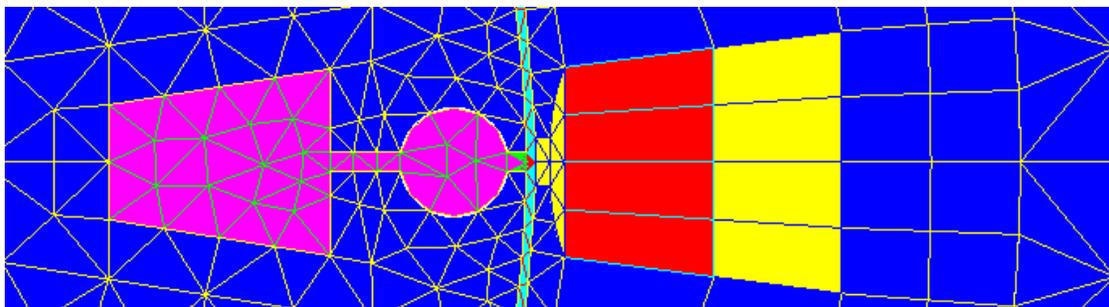


Fig.III.4. Le maillage de l'entrefer

Le maillage de la machine est plus dense au voisinage de l'entrefer à cause de l'évolution de l'énergie électromagnétique dans cette région. D'autre part le maillage se grossier vers l'arbre et vers l'extérieur de la culasse pour économiser le temps de calcul sans perte d'information.

III.4.1. Les matériaux conducteurs

Pour les conducteurs statoriques, on supposera qu'ils se répartissent de façon uniforme dans les encoches, on affectera à cette région la résistivité du cuivre pour une température donnée des enroulements, le foisonnement et le nombre de spires par encoche. Au niveau de rotor, nous utiliserons la résistivité de l'aluminium à température fixe [16].

III.4.2. Les matériaux magnétiques

Pour ce qui est des propriétés magnétiques des matériaux ferreux, on prendra en compte la non-linéarité des caractéristiques B(H) (Tableau III.3)

Tableau.III.3. B(H) du matériau magnétique

H [A/m]	B [T]						
0	0	2000	1.61	7000	1.83	40000	2.14
300	0.66	3000	1.69	8000	1.85	50000	2.16
500	1.09	4000	1.73	10000	1.89	60000	2.18
1000	1.45	5000	1.76	20000	2.04	70000	2.1925
1500	1.56	6000	1.79	30000	2.11		

La courbe B(H) du circuit magnétique est représentée ci-dessous.

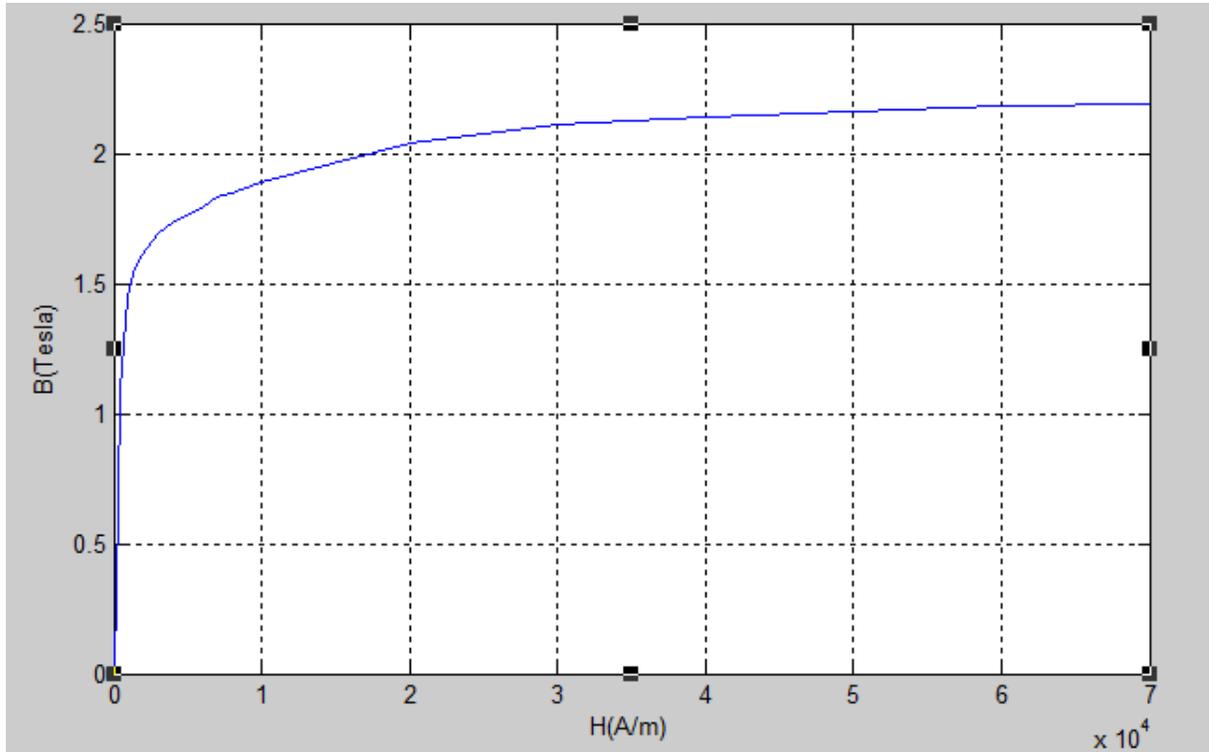


Fig.III.5.Caractéristiques $B(H)$ du matériau magnétique

III.4.3. Couplage avec les équations de circuit

Pour représenter fidèlement le moteur, il faut tenir compte des effets d'extrémités (inductance, résistance de tête de bobine et d'anneau de court-circuit). Le circuit électrique figure (III.6) représentant : les sources de tension d'alimentation ($V_U, V_V, V_W, V_{U1}, V_{V1}, V_{W1}$), les résistances de chute de tension dans le réseau ($R_U, R_V, R_W, R_{U1}, R_{V1}, R_{W1}$), les bobinages statoriques ($B_U, B_V, B_W, B_{U1}, B_{V1}, B_{W1}$), les Inductances de fuite, ($L_U, L_V, L_W, L_{U1}, L_{V1}, L_{W1}$), les résistances des voltmètres pour mesurer les tensions statoriques ($R1, R2, R3, R4, R5, R6$).

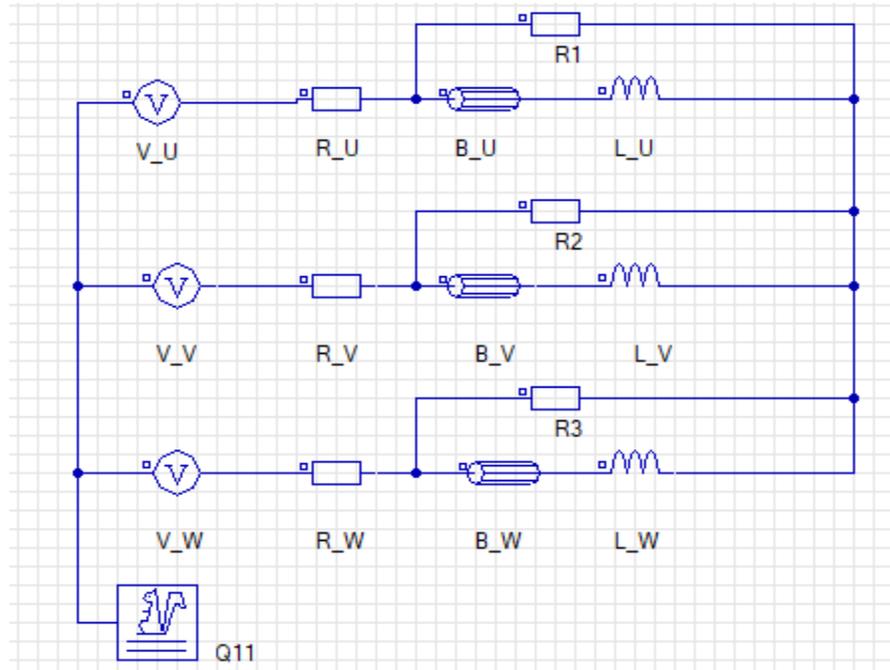


Fig.III.6. Circuit représentant les effets d'extrémités liés à la géométrie

III.4.3. Résultats de simulation

Dans ce mode de fonctionnement, il faut déterminer les valeurs de la fréquence d'alimentation et du glissement. On utilisera le couplage avec les équations de circuit qui permettent de simuler les courts circuits de la cage. On rappelle les avantages et les inconvénients de la magnétodynamique [17] :

➤ Avantages

- Simplicité de mise en œuvre.
- Gain de temps et d'espace mémoire par rapport à la résolution évolutive
- La prise en compte des courants induits.

➤ Inconvénients

- Utilisation possible uniquement pour le régime permanent.
- Toutes les grandeurs sont supposées sinusoïdales dans le temps et à même fréquence
- Le mouvement du rotor n'est pas «physiquement» prise en compte. Cela aboutit à des courants statoriques parfois déséquilibrés car les harmoniques des espaces ne sont pas prises en compte.

Les simulations magnéto-harmonique de Flux2D de la machine asynchrone sont effectuées pour des valeurs constantes de glissement (valeurs constantes de vitesse rotoriques), Les résultats des simulations magnétodynamiques dépendent de la position relative de rotor-stator, prise en compte par la simulation, « la position initiale du rotor ». Ainsi nous avons déterminé la position relative de rotor-stator pour laquelle le couple électromagnétique est égal à la valeur moyenne. "La position initiale" du rotor représente des données d'entrée pour le processeur de SOLVER_2D de Flux2D [17].

III.4.4. Analyse des caractéristiques de la machine

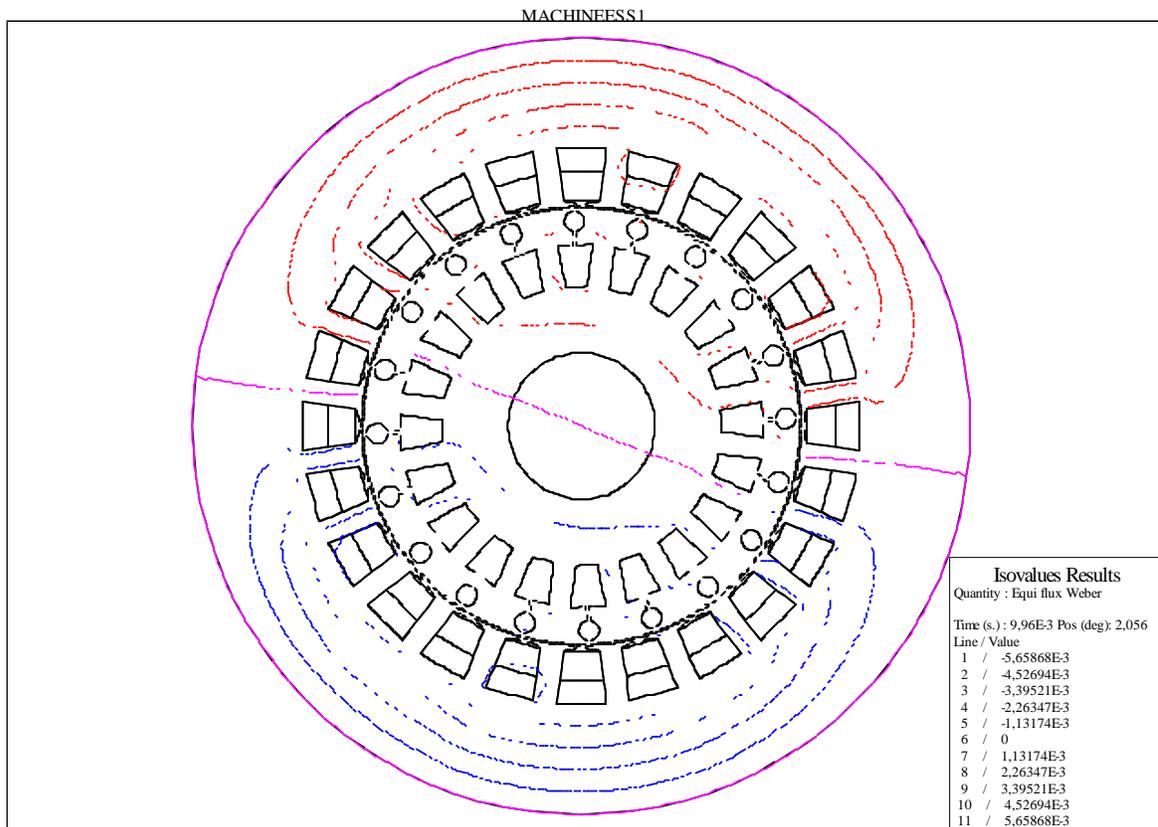


Fig.III.7.Répartition des lignes de flux.

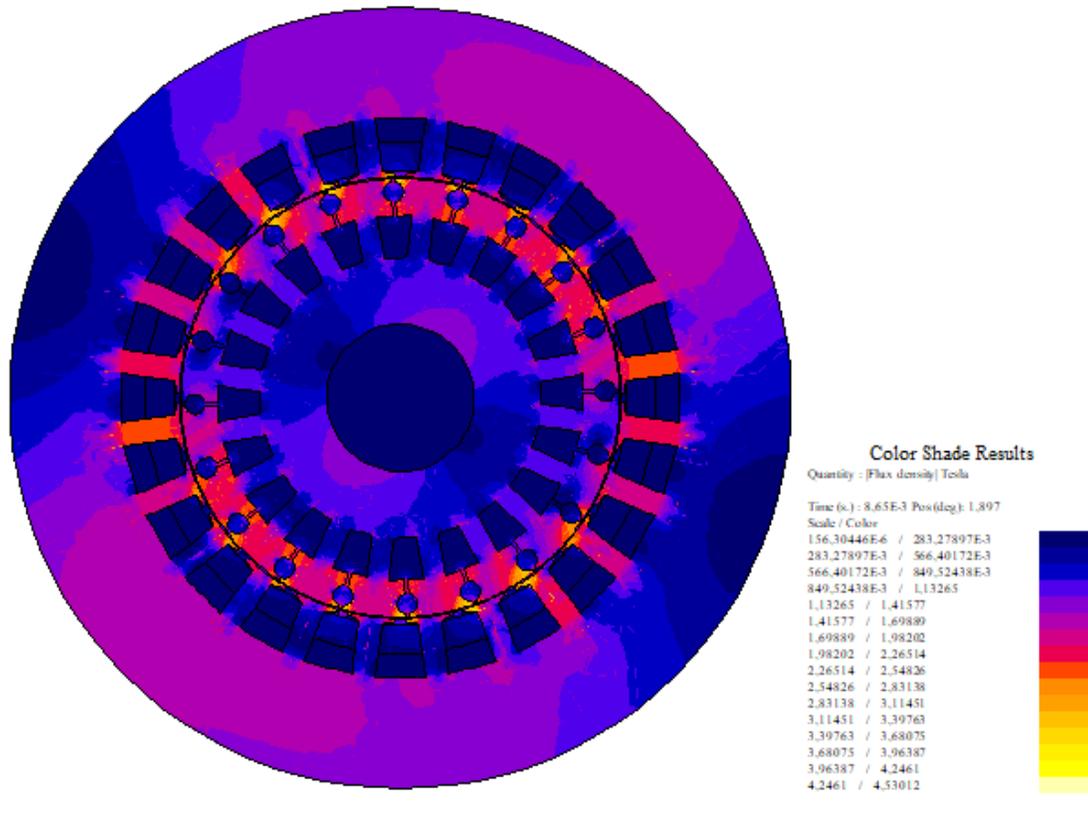


Fig.III.8.L'induction magnétique.

D'après la simulation on remarque la distribution des lignes est quasi symétrique par rapport aux axes des pôles, on note aussi que la déviation des lignes de flux entre le stator et le rotor dans le sens de rotation.

Le but de cette partie est de voir le comportement de la machine à l'état sain avec une charge $C_r = 18 \text{ N.m}$.

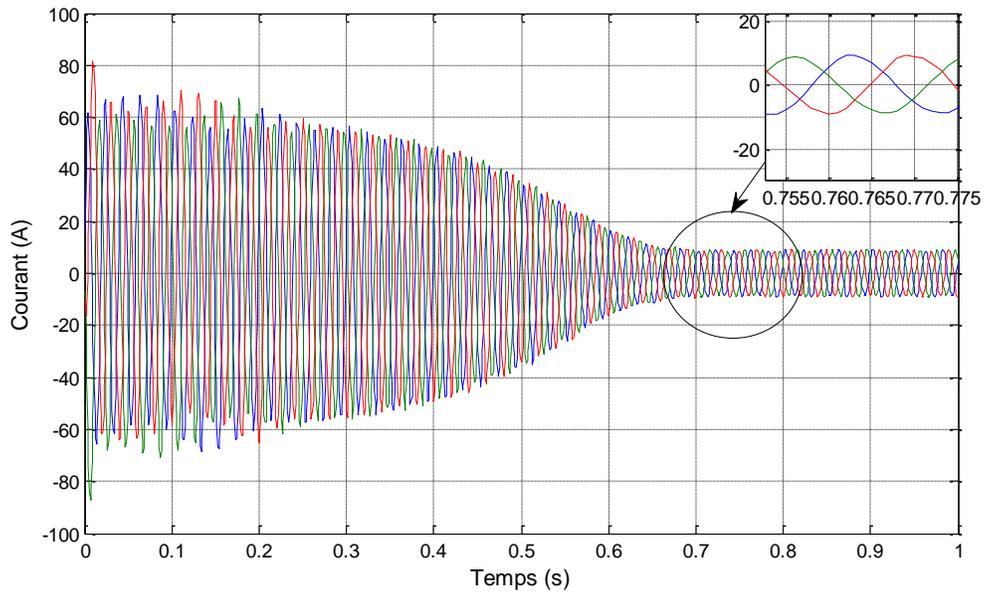


Fig.III.9.Le courant statorique en fonction du temps.

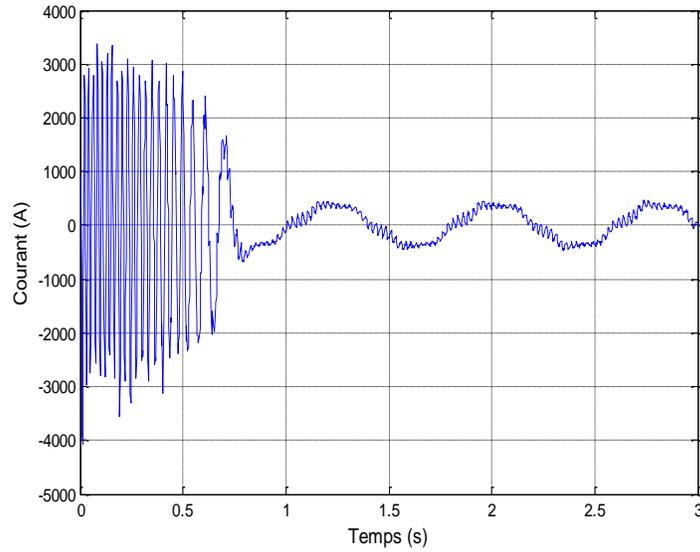


Fig.III.10.Le courant de barre en fonction du temps.

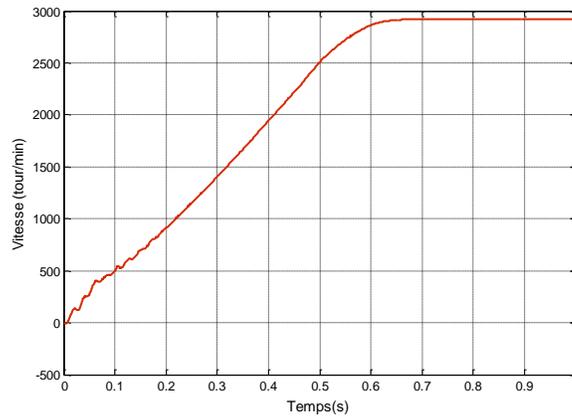


Fig.III.11.La vitesse en fonction du temps.

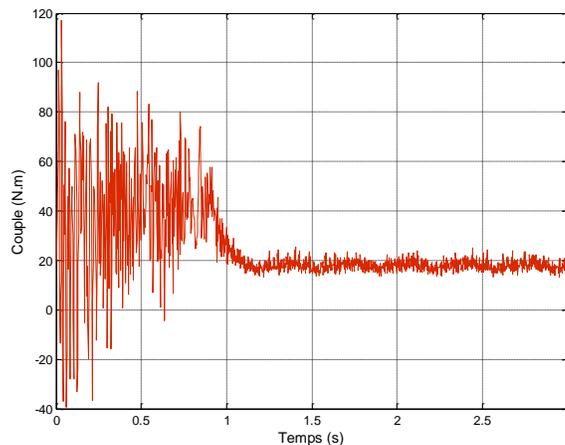


Fig.III.12.Le couple en fonction du temps.

III.5. Les interprétations

On remarque dans la figure (III.12) de couple électromagnétique qui prend des grandes valeurs dans le régime transitoire, après se stabilise au régime permanent ($t=0.64s$), le couple vient de d'équilibrer avec la valeur du couple résistant.

Dans la figure (III.11) on voie que la vitesse attient le régime permanent avec sa valeur nominale **2918 tr/min**

La figure (III.10) qui présente le courant rotorique qui prend des grandes valeurs en démarrage.

III.6. Conclusion

Dans ce chapitre nous avons présenté les résultats de simulation de la machine asynchrone à cage, en utilisant le logiciel Flux 2D d'une machine sain.

Le logiciel Flux 2D nous permettons de visualiser la distribution des lignes de champ et l'induction magnétique dans la machine. La plus grande partie de ce chapitre été consacré à l'analyse des caractéristiques de la machine tels que ; la variation du courant dans les barres rotoriques, la densité de flux et aussi la caractéristique du couple.

Chapitre IV :

**La simulation de la machine asynchrone
à cage avec défaut de cassure de barre**

IV.1.Introduction

Dans ce chapitre nous présentons les résultats des simulations du comportement de la MASY, ces résultats sont obtenus à partir de la simulation du comportement électromagnétique et mécanique de la MASY. La modélisation est obtenue à partir du logiciel FLUX-2D où nous adoptons une simulation bidimensionnel de la MASY. Dans les résultats présentés, nous présentons le comportement de la MASY saine et les résultats de la MASY ayant un défaut biens précis dans le but de voir l'influence du défaut sur le comportement de la MASY, ainsi que sur le spectre de certains grandeurs, électrique, magnétique voir mécanique. L'application de la méthode de la transformer de Fourier (TFF) permettra d'analyser le spectre des différents grandeurs obtenus à partir des simulations réalisés sur les machines étudiés. Cette analyse permettra de prévoir correctement le type de défaut à l'intérieur de la machine étudié.

VI.2.Simulation de défaut de cassure de barre par la méthode des éléments finis

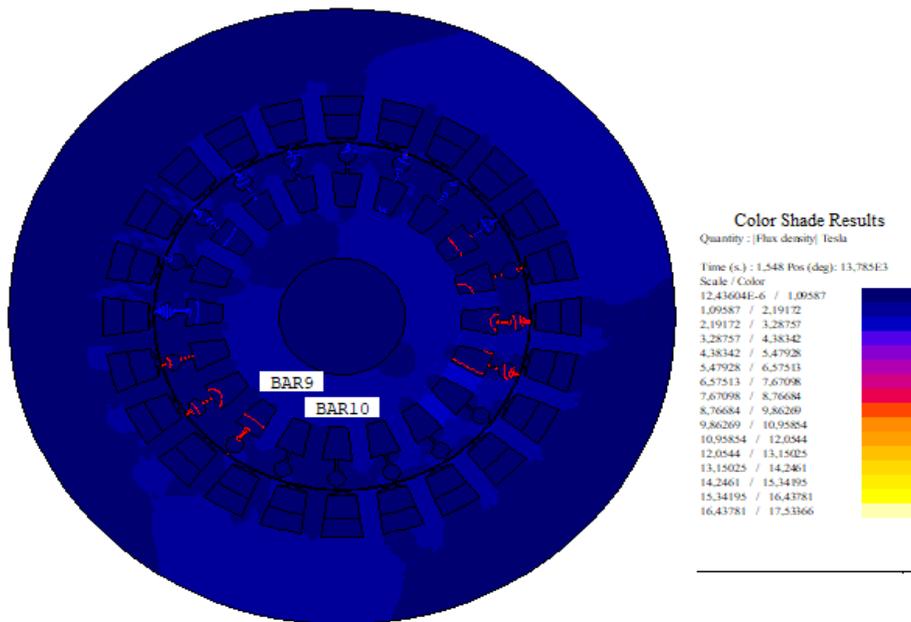


Figure.IV.1. Vue bidimensionnelle de la MASY avec défaut de cassures des barres rotoriques (Bar 9 et Bar 10).

La figure (IV.1) représente une coupe bidimensionnelle de la MASY ainsi que les barres rotoriques ayant des défauts de cassures (le défaut est représenté par la barre 9 et la barre 10). Dans notre simulation et dans le but de représenter le défaut de cassure de barre, nous avons supprimé le conducteur associé à la barre dans le circuit électrique. La surface représentant la barre cassée est remplacé par une barre ayant les propriétés d'un matériau conducteur à une faible conductivité comparé à celle d'un conducteur sain ayant une conductivité équivalente à celle du cuivre ou d'aluminium. Par ce remplacement, la barre cassée ne véhicule pas correctement le courant rotorique

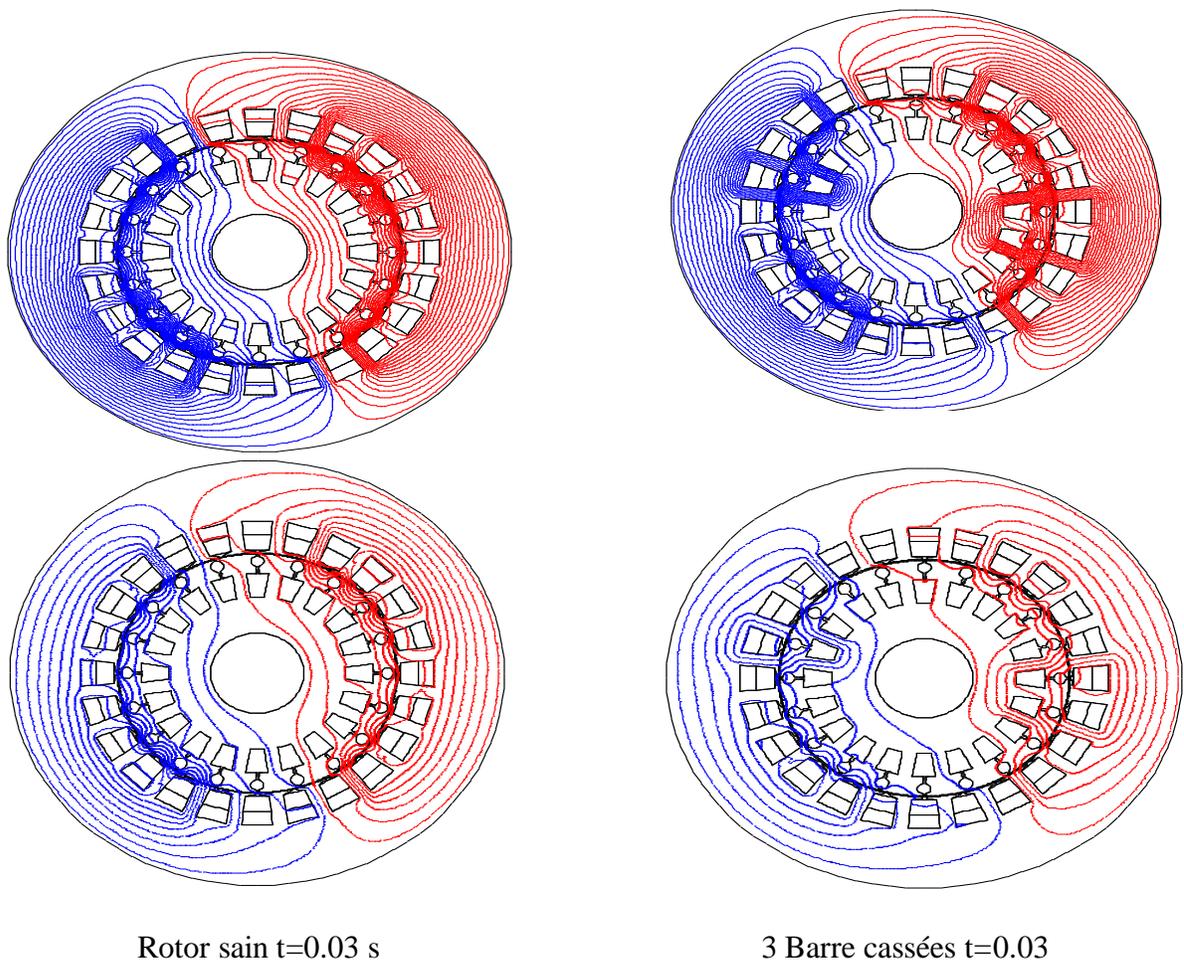


Figure IV.2.a. Lignes des flux à l'intérieur de la machine à l'état sain et la machine avec défaut (en pleine charge) à l'instant $t = 0.03$ s représentant ainsi le régime transitoire de la machine.

Chapitre IV : La simulation de la machine asynchrone à cage avec défaut de cassure de barre

Selon les résultats présentés, on peut dire que les lignes de champ magnétique sont parfaitement symétriques. Cette symétrie n'est pas présente dans le cas de machine ayant un défaut rotorique. Ceci est due principalement au défaut causé par la rupture des barres rotoriques influant principalement sur les courants des barres rotoriques et qui causera l'annulation des lignes de champ magnétiques dans les régions voisines des barres rotoriques défectueuses.

Afin d'inspecter l'influence de la rupture des barres rotoriques sur les courants statoriques et rotoriques, nous avons tracé sur les figures, Figure.IV.3 et Figure.IV.4 leurs variations temporelles.

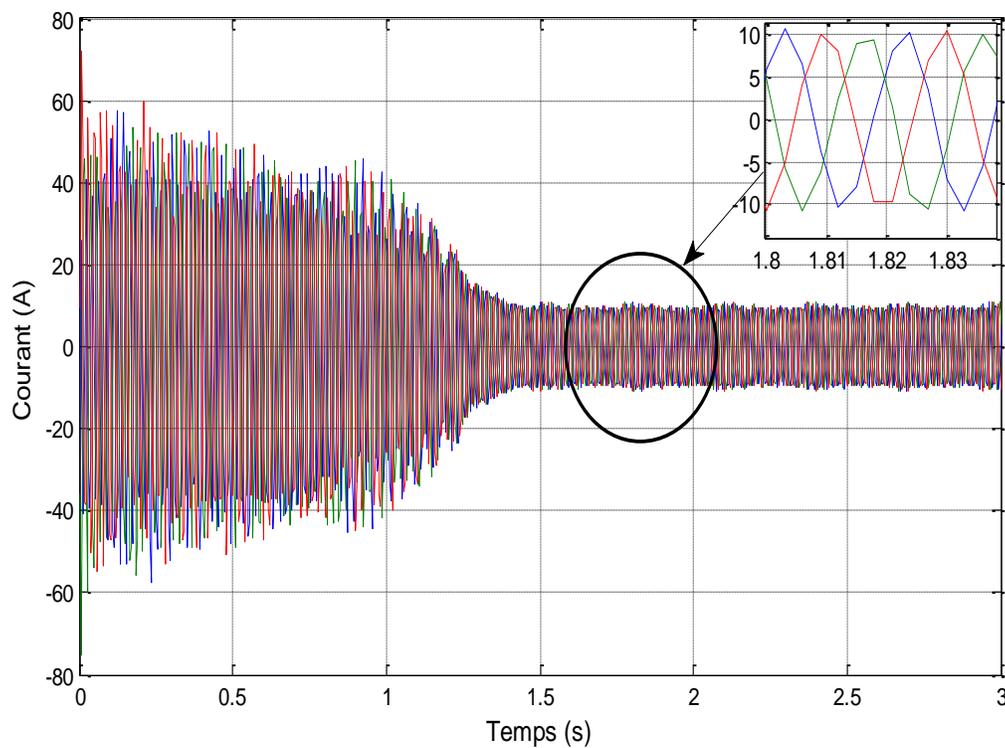


Figure.IV.3 : Courant statorique en fonction du temps.

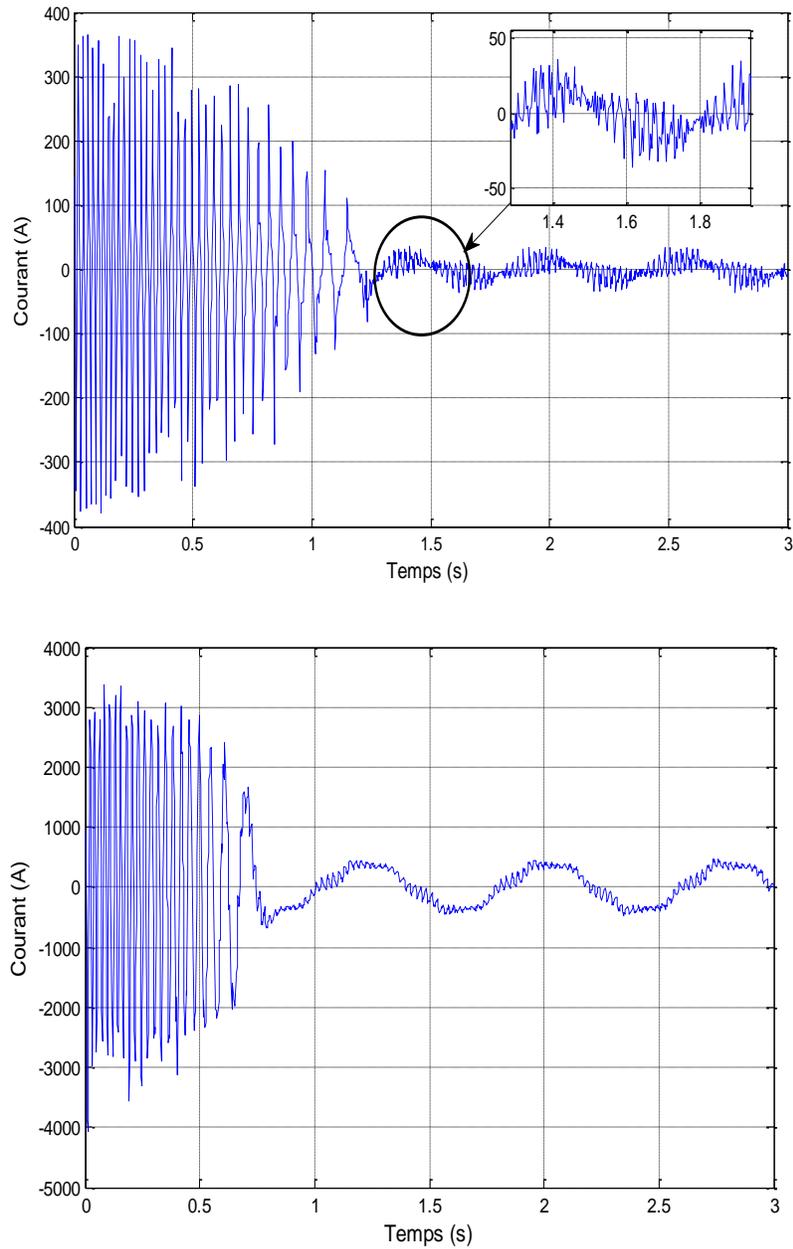


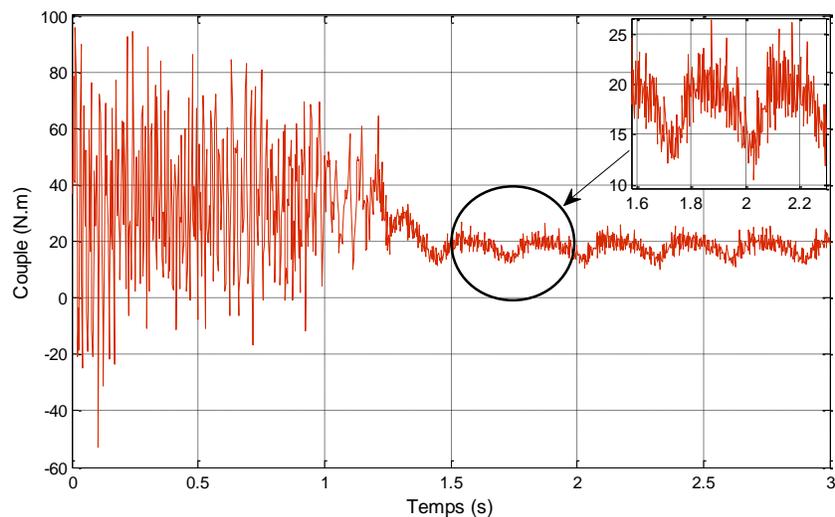
Figure.IV.4. Comparaison entre courants rotoriques respectivement, une machine défectueuse ayant un défaut rotorique et une autre machine saine ne présentant aucun défaut.

➤ **Interprétations des résultats**

Chapitre IV : La simulation de la machine asynchrone à cage avec défaut de cassure de barre

Nous avons aussi exploité le poste préprocesseur du flux-2D pour tracer certains gradueurs mécaniques, principalement le couple et la vitesse de la machine électrique où nous avons présenté leurs évolutions temporelles entre 0s et 3s. Dans cette présentation, nous avons présenté une comparaison entre le comportement de la machine électrique portant défaut rotorique et une autre machine saine.

Selon les résultats présentés on peut dire que la présence du défaut rotorique influe sur le comportement mécanique de la machine électrique avec l'apparition des fluctuations dans l'allure de la vitesse et du couple de la machine. Ceci peut être considéré comme défectueux où il peut provoquer des nuisances mécaniques par l'apparition des vibrations importantes durant le fonctionnement de la machine.



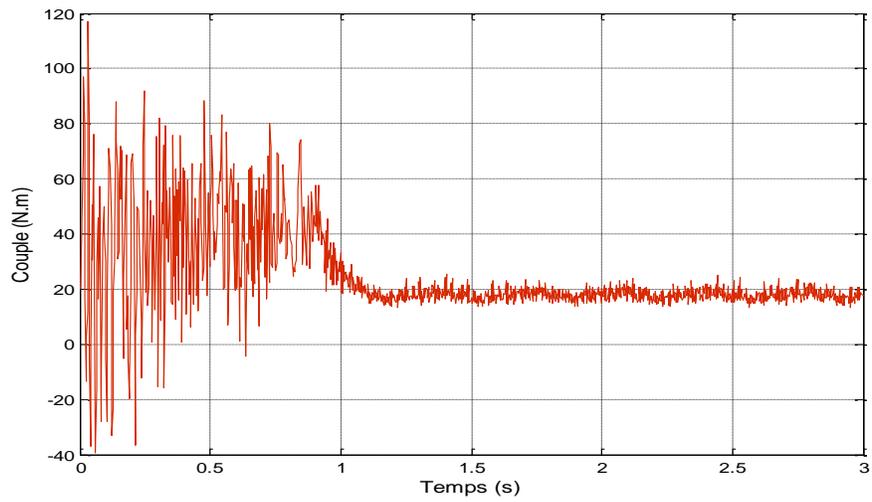
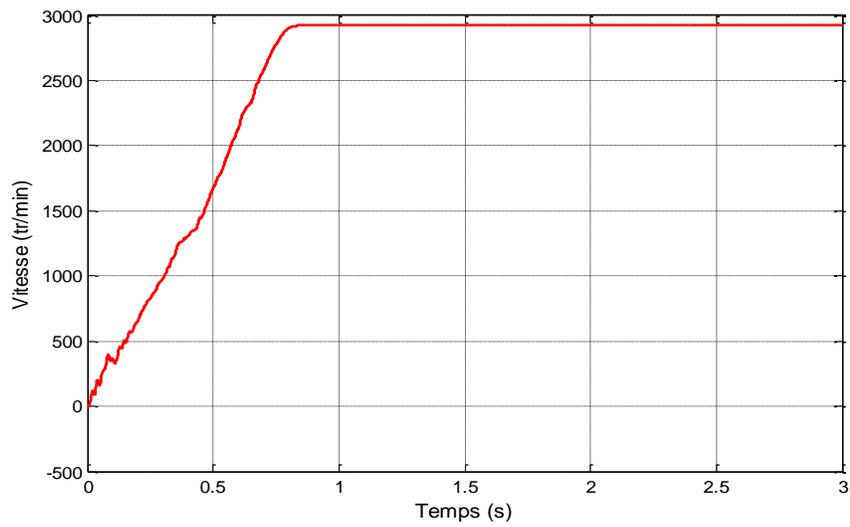
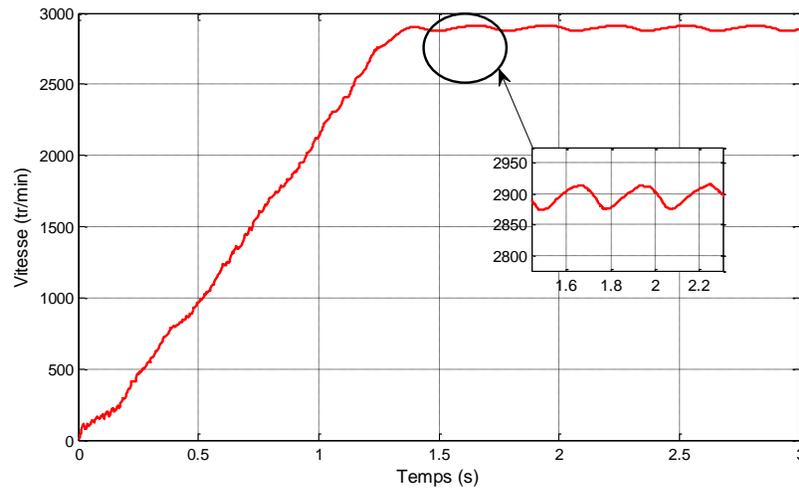


Figure.IV.5: Comparaison entre l'évolution temporelle des vitesses



(a)



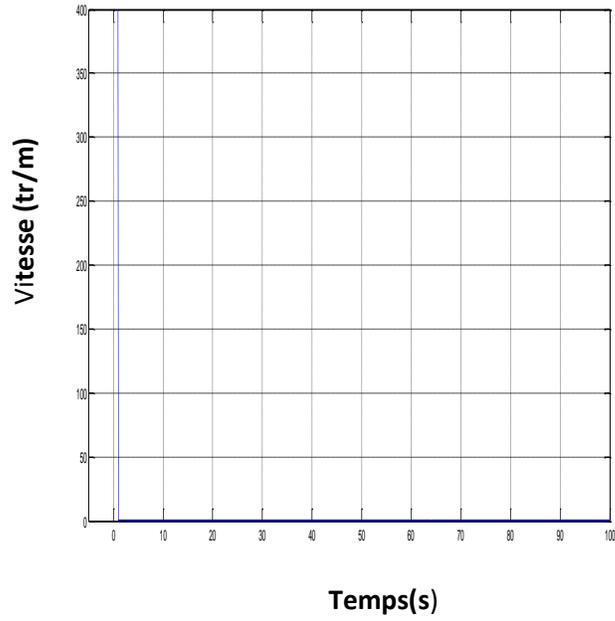
(b)

Figure.IV.6. Comparaison entre couples électromagnétiques. Fig. a Machine saine (a), Fig.b Machine asynchrone ayant un défaut rotorique avec la rupture de deux barres.

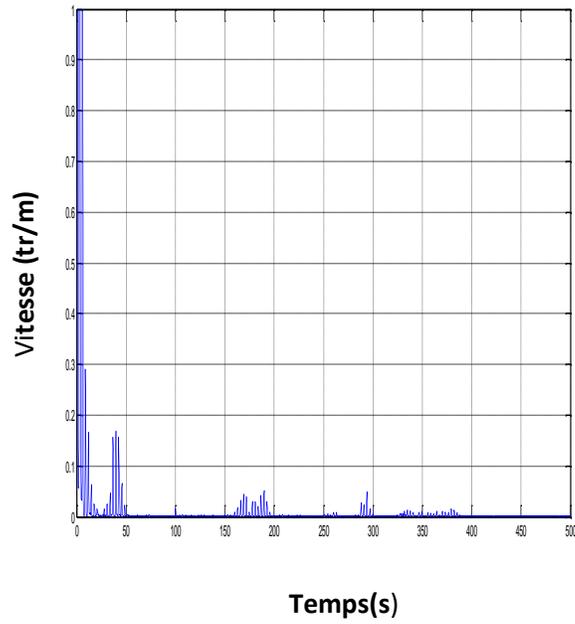
IV.3.Détection des signatures de défaut par l'analyse spectrale

Dans le but d'inspecter l'influence de l'apparition d'un défaut au sein d'une machine électrique sur son spectre, où nous avons adopté la méthode de la transformée de fourrier 'TFF', nous avons présenté dans la partie ci-dessous, le spectre de certaines grandeurs électriques et mécaniques. Selon les résultats présentés, on peut dire que la présence d'un défaut influe sur le bon fonctionnement de la machine où celui-ci laisse des signatures très apparentes dans le spectre de certaines grandeurs électriques.

Chapitre IV : La simulation de la machine asynchrone à cage avec défaut de cassure de barre

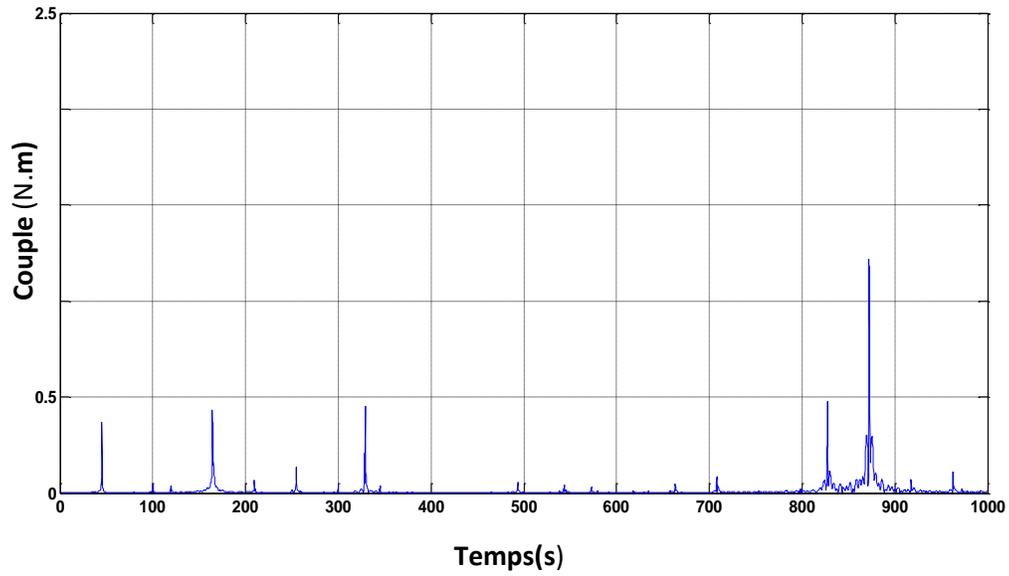


(a)

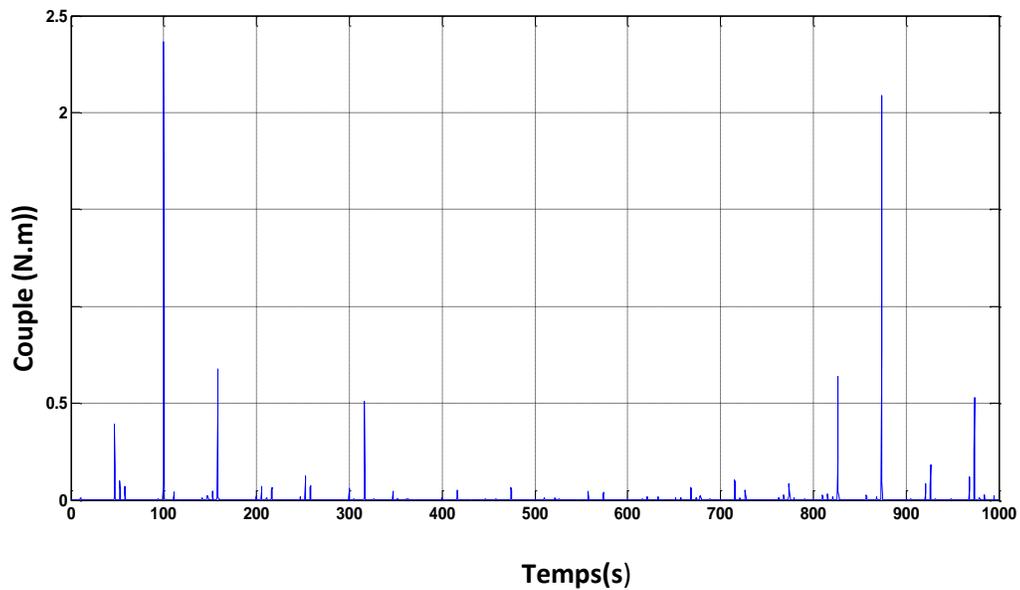


(b)

Figure. IV.7. Spectre de vitesse de rotation pour une machine asynchrone en plein charge. Fig.a Machine saine (a), Fig.b. Machine asynchrone ayant un défaut rotorique avec la rupture de deux barres.

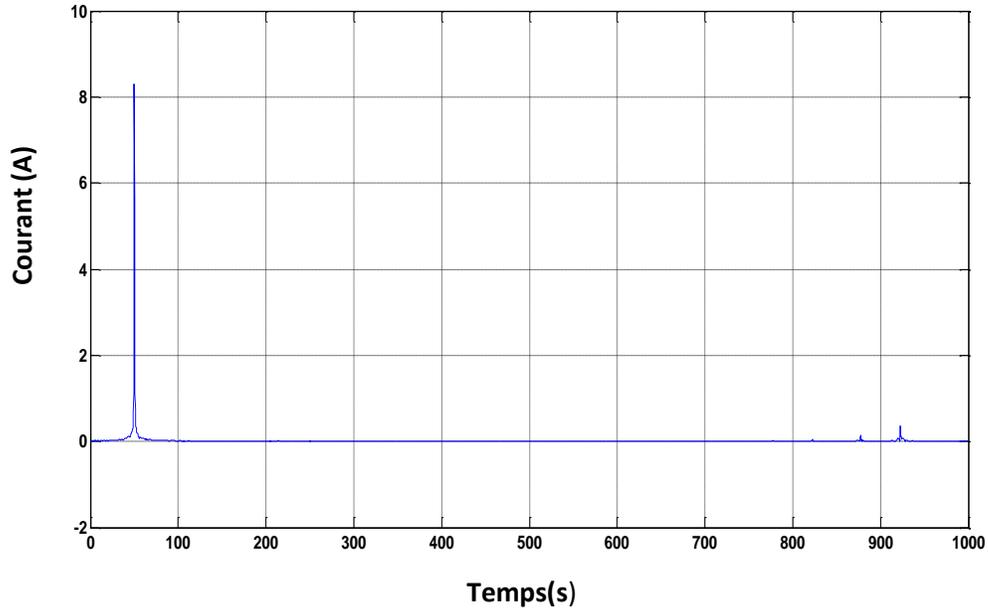


(a)

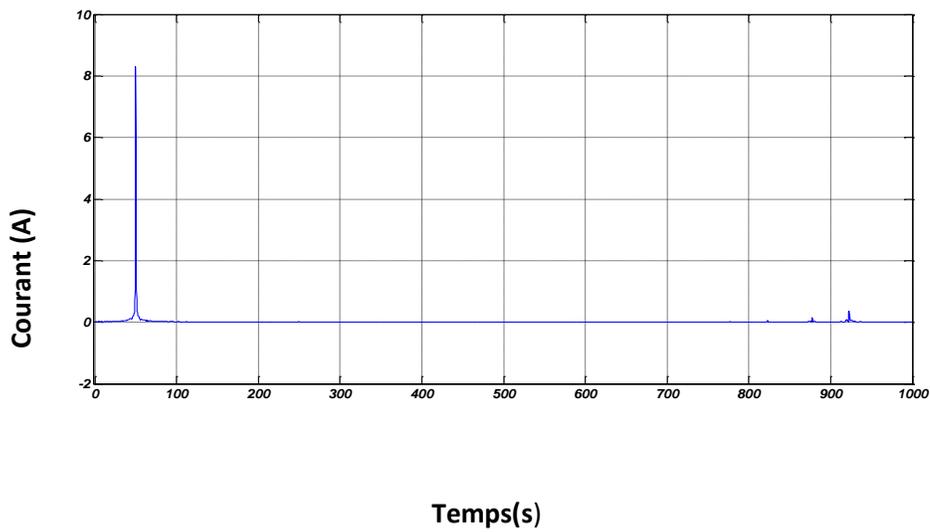


(b)

Figure. IV.8. Spectre du couple électromagnétique pour une machine asynchrone en plein charge. Fig.a Machine saine (a), Fig.b. Machine asynchrone ayant un défaut rotorique avec la rupture de deux barres.



(a)



(b)

Figure. IV.9. Spectre du courant statorique pour une machine asynchrone en plein charge. Fig.a Machine saine (a), Fig.b. Machine asynchrone ayant un défaut rotorique avec la rupture de deux barres.

IV.4.Conclusion

Dans ce chapitre nous avons fait une simulation du moteur asynchrone à cage en cas de défaut de cassure de barres rotoriques. Une comparaison entre le comportement de la machine saine et une autre défectueuse à montrer l'existence de différence en termes de grandeurs magnétiques, électriques et mécaniques.

L'utilisation de l'analyse spectrale des signaux électriques et mécaniques de la machine permet de prédire correctement l'apparition d'un défaut rotoriques. Ceci par avec l'apparition d'harmoniques autour de la fondamentale.

Conclusion générale

Conclusion générale

Notre travail est basé sur la détection des défauts qui affecte le bon fonctionnement de la machine asynchrone à cage quel que soit le type de défaut, particulièrement le défaut rotorique.

L'apparition de défaut dans la machine électrique engendre des fluctuations qui peuvent apparaître sur l'ensemble des grandeurs magnétiques, électriques et mécaniques.

Le logiciel Flux 2D à permet de présenté une étude rigoureuse modélisant ainsi, le fonctionnement de la machine électrique dans son état sain et dans son état défectueux.

L'analyse spectrale des signaux électriques, magnétique et mécanique à montré l'apparition d'harmoniques dans l'ensemble des signaux d'une machines électriques défectueuse.

ANNEXE

Annexe A

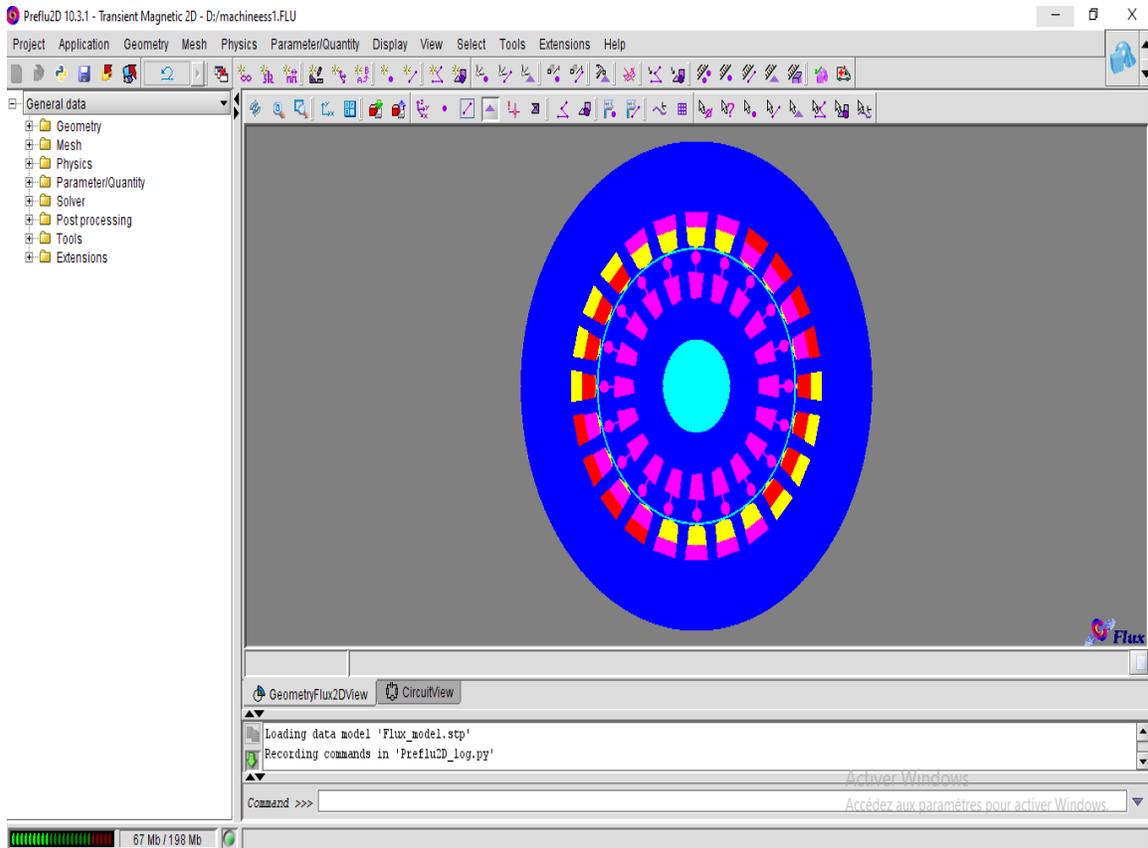
Les paramètres de la machine asynchrone triphasée à cage utilisé dans la simulation de ce travail sont :

Les valeurs nominales	
Puissance	7.5 kW
Tension	380 V
Vitesse	2898 tr/min
Fréquence	50 Hz

Géométrie et bobinage	
Générale	
L'épaisseur de l'entrefer	0.5 mm
Stator	
Nombre de phases	3
Nombre d'encoches	24
Type de connexion	Étoile
Nombre de paires de pôles	2
Diamètre interne	120 mm
Diamètre externe	212 mm
Rotor (cage d'écureuil)	
Nombre d'encoches	20
Diamètre interne	40 mm
Diamètre externe	119 mm
Nombre de barres	20
Résistivité du matériau (aluminium)	$\rho_{Al} = 0.0312 \Omega \text{ mm}^2 / \text{m}$

Annexe B

La simulation de la machine asynchrone triphasée à cage par le logiciel Flux 2D :



Références bibliographique

- [1] **N. BESSOUS.** Contribution Au Diagnostic Des Machines Asynchrones, Thèse de magister, Université de Constantine.
- [2] **A. CHAHMI.** Identification paramétrique de la machine asynchrone dédiée au diagnostic, Thèse de doctorat, Université d'Oran, 2017.
- [3] **B. YACINE, B. SAMIR.** Diagnostic des machines électriques par la méthode des éléments finis, Mémoire de Master, Université Mohamed Boudiaf, Juin 2018
- [4] **M.Y. M'BEIRICK.** Surveillance et diagnostic de la machine asynchrone avec défaut d'alimentation (déséquilibre de tension), Mémoire de master, Université de Jijel.
- [5] **S. SAKHARA.** Diagnostic des défauts d'un entraînement électrique par la technique ondelette, Thèse de doctorat, Université d'Annaba, Janvier 2017.
- [6] **S. KERFALI.** Contribution à la Surveillance et au Diagnostic des Défauts De la Machine Asynchrone, Thèse de doctorat, Université d'Annaba, Mai 2016.
- [7] **L. LABIOD, F. BOUTADJINE.** Diagnostic des défauts rotoriques des machines asynchrones (Résultats expérimentaux et de simulation), Mémoire de Master, Université d'El-Oued, Juin 2019.
- [8] **B BESSAM.** Analyse et détection des défauts dans la machine asynchrone à base des techniques intelligentes, Thèse de Doctorat, Université de Biskra, Juin 2016.
- [9] **M. KAIKAA.** Modélisation de la machine asynchrone avec prise en compte de la non uniformité de l'entrefer. Application au diagnostic, Thèse de Doctorat, Université de Biskra, Juin 2010.
- [10] **S. BENNEDJAI.** Contribution à l'amélioration de la sûreté d'exploitation des moteurs à induction, Thèse de Doctorat, Université d'Annaba ,2016.
- [11] **A. MEDOUED.** Surveillance et diagnostic des défauts des machines électriques : applications aux moteurs asynchrones, Thèse de Doctorat, Université de Skikda, Mars 2012.

Références bibliographique

[12] **K. YAHIA.** Contribution au Diagnostic de la Machine Asynchrone Triphasée par une Approche Signal, Thèse de Doctorat, Université de Biskra ,2012.

[13] **R. CHAUCHE.** Détection et diagnostic de défauts statoriques externe d'un moteur asynchrone triphasé à l'aide de la carte ARDUINO MEGA 2560, Mémoire de master, Université d'Ouargla, 2016.

[14] **Y. MISSOUM BENZIANE.** Utilisation du filtre de Vold-Kalman dans l'analyse vibratoire et électrique des machines tournantes, Thèse de Doctorat, Université Sidi-Bel Abbes, Janvier 2019.

[15] **S. HAMMI, A. BENARABI.** Contribution au diagnostic des défauts rotoriques dans les machines asynchrones à cage d'écureuil par la méthode de la (MCSA, Mémoire de master, Université d'El-Oued, Juin 2018.

[16] **L. MEFTAH.** Simulation et commande de la machine asynchrone double étoile pour aérogénérateur, Thèse de magister, Université de Sétif, 2014.

[17] **A. ZORIG.** Diagnostic par estimation paramétrique de la MAS à cage d'écureuil, Mémoire de master, Université de Msila, 2016.

[18] **A. ZORIG.** Identification des Machines Asynchrones en Vue de Leurs diagnostics, Thèse de magister, Université de Sétif, 2010.

[19] **M. BELATEL.** Etude des machines électriques par CAO, Thèse de Doctorat, Université de Constantine, Juillet 2009.

[20] **A. HAMADOU, A. NESSISSEN.** Modélisation numérique d'un moteur asynchrone à cage d'écureuil, Mémoire de master, Université de Khemis Miliana, 2015.