

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

جامعة سعد دحلب البليدة
Université SAAD DAHLAB de BLIDA

كلية التكنولوجيا
Faculté de Technologie

قسم الإلكترونيك
Département d'Électronique



Mémoire de Master

Filière Electrotechnique

Spécialité Machines électriques

Présenté par

AYACHE MOHAMED

&

EL FANI YASSINE

Modélisation et Diagnostic des défauts de court-circuit entre spires d'une machine asynchrone

Proposé par : Dr D. KOUCHIH

Année Universitaire 2017-2018

Remerciement

Au terme de ce travail, nous tenons à remercier en Premier lieu ﷻ Miséricordieux de nous avoir donné la santé et le courage afin d'accomplir ce modeste travail et de nous avoir permis d'atteindre la fin de notre formation.

*Nos remerciements et notre reconnaissance vont à notre promoteur **Dr. D. KOUCHIH** qui a accepté de nous encadrer et qui nous a guidés pendant l'élaboration de ce mémoire, pour sa disponibilité et ses conseils précieux.*

Nous adressons nos sincères salutations et nos vifs remerciements à tous ceux qui nous encouragés et donnés les mains d'aides, de près ou de loin à la réalisation de ce modeste travail afin qu'il soit présentable.

Nos vifs remerciements vont à monsieur le président de jury, pour l'honneur qu'il nous fait et aux membres du jury pour avoir accepté de corriger et d'évaluer ce travail.

Enfin nous exprimons notre reconnaissance à tous les Enseignants du département d'Electronique qui ont contribués à notre formation.

Université BLIDA1

Résumé

ملخص:

يركز العمل المقدم على نمذجة الدارة القصيرة بين اللفات في الآلة غير المتزامنة ثلاثية الطور، والهدف الرئيسي هو تحديد أعراض هذا العيب في التيارات الثابتة، وقد تم تحقيق هذا العيب بواسطة برنامج المحاكاة FLUX-2D تم إجراء اختبارات تجريبية في مختبر الهندسة الكهربائية بجامعة سعد دحلب في البليدة، وقد مكنت نتائج هذه الاختبارات من فهم تأثير الدائرة القصيرة بين اللفات في سلوك الماكينة.

الكلمات المفتاحية: نمذجة، تشخيص العطب، دارة قصيرة بين اللفات، المحاكاة، محرك لا تزامني.

Résumé

Le travail présenté porte sur la modélisation de court-circuit entre spire dans la machine asynchrone triphasé, l'objectif principale est de déterminer les symptômes de ce défaut dans les courants statoriques, une réalisation de ce défaut s'est effectuée par logiciel de simulation FLUX-2D et des essais expérimentaux ont été réalisés dans laboratoire d'électrotechnique de l'université Saad DAHLAB de BLIDA, les résultats de ces essais nous ont fait montré l'effet de court-circuit entre spires dans le comportement de la machine.

Mots clés : Modalisation ; diagnostic de défaut ; court-circuit entre spire ; simulation ; machine asynchrone.

Abstract

The work presented focuses on modeling the short-circuit between spire in the three-phase asynchronous machine, The main objective is to determine the symptoms of this defect in the stator currents, An achievement of this defect was made by simulation software FLUX-2D ,Also an experimental tests were carried out in the electrical engineering laboratory of Saad DAHLAB University of BLIDA, The results of these tests have made it possible to understand the effect of short circuit between turn in the behavior of the machine.

Key words: Modulization; fault diagnosis; short circuit between turns; simulation; asynchronous machine .

Dédicace

J'ai l'honneur de dédie ce modeste travail tous d'abord à mon pays l'Algérie.

Ames très chers parents et surtout mon père qui j'ai manqué c'est derniers trois ans qui m'ont soutenue et encouragée durant toute la période de mes études par leur tendresse, leur orientation et leur sacrifice, et je souhaite une longue et heureuse vie pour ma mère.

A mes chers sœurs Nedjwa, Faiza, Meriem, Nabila, Amina, Sabrina, avec ces enfants surtout Rayan.

A mes chers frères Maklouf, Hamid, Brahim, Mourad, Nabil et Toufik.

A toute ma famille paternelle Ayache et ma famille maternelle Hadjeme.

A mon chers encadreur Dr.D.KOUCHIH.

A mon chers amis Mohamed Maallem et mon binôme Yassine El FANI

A tous mes enseignants depuis le primaire jusqu'à l'université.

En fin, à tous ceux qui m'aime.

Mohamed

Dédicace

Je dédie ce modeste travail à mes chers parents, pour leur soutien moral et financier et d'être la lumière de ma vie, qui m'ont toujours encouragé pour terminer mes études dans des bonnes conditions, en leur espérant une longue vie et que ﷻ les gardes.

- ❖ *A mon cher frère **Abdelwahab**.*
- ❖ *A mes sœurs.*
- ❖ *A ma chère nièce **Ibtihal**.*
- ❖ *A mes tantes et mes oncles.*
- ❖ *A toute la famille **EL FANI** et la famille **KERBOUB** de près ou de loin sans exception.*
- ❖ *A mes chers amis.*
- ❖ *A mes chers amis de l'université.*

*A mon promoteur **Dr.D.KOUCHIH** et mon binôme **Ayache Mohamed***

Yassine El FANI

Liste des Abréviations

Liste des Abréviations et symboles

MAS : Machine asynchrone

g : Glissement

N_s : Vitesse statorique

N : Vitesse mécanique

Ω_s : Vitesse de synchronisme

ω : pulsation

p : paire de pôle

f_s : Fréquence statorique

f_h : Fréquence harmonique

CAO : Construction assisté par ordinateur

Fmm : Force magnéto motrice

Hz : hertz

N/m : Newton / mètre

S : seconde

Tr/min ; tour / minute

A : ampère

V : volt

$I_{(1,2,3)}$: courants des phases (1,2,3)

T : Période (seconde)

R : Les nombres réels

B : induction magnétique [T]

E : Intensité du champ électrique

Liste des Abréviations

H : champ magnétique [A/m]

J : Densité du courant électrique[A/m²]

∇ : Opérateur nabla

$\nabla \times$: Rotationnel

$\nabla \cdot$: Divergence

∇ : Gradient

Table des matières

Introduction générale.....	1
----------------------------	---

Chapitre 1 : Généralités sur la machine asynchrone

1.1 INTRODUCTION	2
1.2 ELEMENTS DE CONSTITUTION DE LA MACHINE ASYNCHRONE :.....	2
1.2.1 Stator	3
1.2.2 Rotor	3
a. Rotor à simple cage.....	3
b. Rotor à double cage	4
1.2.3 Paliers.....	5
a. Palier lisses.....	5
b. Paliers à roulement.....	5
1.3 PRINCIPE DE FONCTIONNEMENT D'UNE MACHINE ASYNCHRONE	6
1.4 GLISSEMENT	6
1.5 LES AVANTAGES ET LES INCONVENIENTS DE LA MACHINE ASYNCHRONE A CAGE	7
a. Avantage.....	7
b. Inconvénients.....	7
1.6 DEFAILLANCES DE LA MACHINE ASYNCHRONE	7
1.6.1 Défauts de roulement.....	8

1.6.2 Excentricité.....	9
1.6.3 Défauts rotoriques.....	11
a. Ruptures des barres conductrices	11
b. Rupture des anneaux de court-circuit	12
1.6.4 Défauts de stator.....	12
a. Court-circuit entre spires	13
b. Court-circuit entre phases.....	14
1.7 ÉTUDE STATISTIQUE SUR LES DEFAUTS DES MACHINES ASYNCHRONES	15
1.8 METHODE DE DIAGNOSTIC.....	16
1.8.1 Méthode de diagnostic sans modèle	17
a. Diagnostic par mesure de flux magnétique axial de fuite.....	17
b. Transformée en Série de Fourier.....	18
c. Diagnostic par mesure des vibrations mécaniques.....	18
d. Diagnostic par mesure du couple électromagnétique	19
e. Analyse spectrale	19
f. Diagnostic par l'analyse du courant statorique	20
1.8.2 Méthodes avec modèle	21
a. Méthode avec Observateur	21
b. Méthode avec Identification paramétrique	22
1.9 CONCLUSION	23

Chapitre 2 : Modélisation de la machine asynchrone

2.1 INTRODUCTION	24
2.2 DEFINITION DE C.A.O.....	24
2.3 DOMAINES ET APPLICATION DE CAO.....	24
2.4 LES DIFFERENTS LOGICIELS CONNUS DE LA CONCEPTION ASSISTEE PAR ORDINATEUR	25
2.5 DEFINITION DE LOGICIEL FLUX 2D	25
2.6 METHODE DES ELEMENTS FINIS	26
2.7 PRINCIPE DE LA METHODE DES ELEMENTS FINIS.....	26
2.8 EQUATIONS DE MAXWELL EN ELECTROSTATIQUE.....	27
2.9 CONDITIONS AUX LIMITES	28
2.10 LES APPLICATIONS PHYSIQUES DISPONIBLES DANS FLUX.....	30
2.11 MODULE PREPROCESSEUR	30
2.12 MODULE PROCESSEUR	30
2.13 MODULE POST-PROCESSEUR DE FLUX-2D(POSTPRO-2D)	31
2.14 LES DIFFERENTS MODULES DU LOGICIEL FLUX2D	31
2.15 PARAMETRES DIMENSIONNELS ET PHYSIQUES.....	32

2.16 GEOMETRIE	33
2.17 CREATION DES MATERIAUX.....	33
2.18 CIRCUIT ELECTRIQUE	34
2.19 CREATION DES REGIONS.....	34
2.20 LE MAILLAGE	35
2.21 CONCLUSION	37

Chapitre 3 : Résultats de simulation

3.1 INTRODUCTION	38
3.2 SIMULATION DU MOTEUR.....	38
3.2.1 Modélisation de défaut de court-circuit	38
3.2.2 Fonctionnement à vide.....	38
3.2.3 Fonctionnement en charge.....	43
3.3 CONCLUSION	49

Chapitre 4 : Résultats du pratique

4.1 INTRODUCTION	50
4.2 TRAVAIL PRATIQUE.....	50

4.3 CARACTERISTIQUES D'ANCIEN MOTEUR	50
4.4 CARACTERISTIQUE DU NOUVEAU MOTEUR.....	51
4.5 MOTEUR SAIN A VIDE	53
4.6 MOTEUR EN COURT-CIRCUIT A VIDE	55
4.6.1 Court-circuit entre spires de 04 %	55
4.6.2 Court-circuit entre spires de 08 %	56
4.6.3 Spectres des courants de Court-circuit entre spires de 04 %	57
4.6.4 Spectres des courants de Court-circuit entre spires de 08 %	58
4.7 MOTEUR SAIN EN CHARGE	59
4.8 MOTEUR COURT-CIRCUITE EN CHARGE.....	59
4.9 SPECTRES DES COURANTS DU MOTEUR SAIN EN CHARGE	60
4.10 SPECTRES DES COURANTS DU MOTEUR COURT-CIRCUITE EN CHARGE	61
4.11 CONCLUSION	63
CONCLUSION GENERALE	64

List des figures

FIGURE 1.1 : ELEMENTS DE CONSTITUTION D'UNE MAS A CAGE D'ECUREUIL	2
FIGURE 1.2: STATOR	3
FIGURE 1.3 : ROTOR A SIMPLE CAGE	4
FIGURE 1.4: ROTOR A DOUBLE CAGE.....	5
FIGURE 1.5 : ROULEMENT A BILLE	9
FIGURE 1.6 : A/ EXCENTRICITE STATIQUE, B/ EXCENTRICITE DYNAMIQUE, C/ EXCENTRICITE MIXTE.	11
FIGURE 1.7: RUPTURE D'UNE BARRE DE COURT-CIRCUIT	12
FIGURE 1.8: RUPTURE D'UN ANNEAU DE COURT-CIRCUIT	12
FIGURE 1.9 : DIFFERENTS DEFAUTS DU STATOR	13
FIGURE 1.10 : (A) COURT-CIRCUIT ENTRE SPIRES DE LA MEME PHASE (B)ENROULEMENT COURT-CIRCUITE	14
FIGURE 1.11 COURT-CIRCUIT ENTRE PHASE	15
FIGURE 1.12: ENTRE L'ENROLEMENT ET LE NOYAU STATORIQUE	15
FIGURE 1.13 : PROPORTION DES DEFAUTS THOMSON 1999	16
FIGURE 1.14 : REPARTITION DES PANNES BONNETT 2008.....	16
FIGURE 1.15 METHODES DES DIAGNOSTIC.....	17
FIGURE 1.16 : BOBINE EXPLORATRICE POUR LA MESURE DU FLUX DE FUITE AXIAL.....	18

FIGURE 1.17 : SCHEMA SYNOPTIQUE DU PRINCIPE DE LA METHODE DU SPECTRE DU COURANT STATORIQUE	21
FIGURE 2.1 : CONSTRUCTION D'UN PROJET FLUX (2D/3D)	29
FIGURE 2.2 : SCHEMA DES DIFFERENTS MODULES DU LOGICIEL FLUX2D .	31
FIGURE 2.3 : QUELQUE PARAMETRES GEOMETRIQUES DU STATOR ET ROTOR.....	32
FIGURE 2.4 : REPRESENTATION D'UN QUART DE LA GEOMETRIE	33
FIGURE 2.5 : COURBE SATURATION MAGNETIQUE DU FER	34
FIGURE 2.6 : SCHEMA DE CIRCUITS ELECTRIQUE	34
FIGURE 2.7 : AFFECTATION DES REGIONS SURFACIQUE	34
FIGURE 2.8 : REPRESENTATION DE MAILLAGE	35
FIGURE 2.9 : MAILLAGE DE L'ENTREFER	36
FIGURE 3.1 : LE CIRCUIT DE LA MAS	38
FIGURE 3.2 : REPRESENTATION DES EQUI-FLUX, (A) MOTEUR SAIN, (B) MOTEUR AVEC COURT-CIRCUIT ENTRE SPIRE.....	38
FIGURE 3.3 : COURBE DU COUPLE	39
FIGURE 3.4 : COURBE DE LA VITESSE AVEC L'APPARITION D'UN COURT-CIRCUIT ENTRE SPIRES.....	40
FIGURE 3.5 : ZOOM SUR LA COURBE DE LA VITESSE	40
FIGURE 3.6 : COURBES DES COURANTS STATORIQUES SUPERPOSEES.....	41
FIGURE 3.7 : ZOOM SUR LES COURBES DES COURANTS DES PHASES	41

FIGURE 3.8 : SPECTRE DES COURANT DES PHASE (SAIN)	42
FIGURE 3.9 : SPECTRES DES COURANTS DES PHASES (DEFAUTS).....	42
FIGURE 3.10 : REPRESENTATION DES EQUI-FLUX, (A) MOTEUR SAIN, (B) MOTEUR AVEC COURT-CIRCUIT ENTRE SPIRES.....	43
FIGURE 3.11 : COURBE DE LA VITESSE	44
FIGURE 3.12 : ZOOM SUR LA COURBE DE LA VITESSE.....	44
FIGURE 3.13 : SPECTRE DE LA VITESSE.....	45
FIGURE 3.14 : COURBE DU COUPLE	45
FIGURE 3.15 : COURBE DES COURANTS STATORIQUES SUPERPOSE	46
FIGURE 3.16 : ZOOM SUR LES COURBES DES COURANTS STATORIQUE	46
FIGURE 3.17 : SPECTRES DES COURANTS DES PHASES (SAIN)	47
FIGURE 3.18 : SPECTRES DES COURANTS DES PHASES (DEFAUT).....	48
FIGURE 4.1 : MOTEUR ENDOMMAGE	50
FIGURE 4.2 : PLAQUE SIGNALETIQUE DU MOTEUR	51
FIGURE 4.3 : MOTEUR BOBINE	51
FIGURE 4.4 : NOUVEAU SCHEMA DU BOBINAGE.....	52
FIGURE 4.5 : LE BANC D'ESSAIS COMPRENANT LE MOTEUR, GENERATRICE ET LES APPAREILS DE MESURES.....	53
FIGURE 4.6 : TENSION D'ALIMENTATION.....	53
FIGURE 4.7 : COURBES DES COURANTS DES PHASES	54

FIGURE 4.8 : SPECTRES DES COURANTS DES PHASES.....	54
FIGURE 4.9 : ZOOM SUR LES SPECTRES DES COURANTS DES PHASES	55
FIGURE 4.10 : COURBES DES TENSIONS D'ALIMENTATION.....	55
FIGURE 4.11 : COURBES DES COURANTS DES PHASES	56
FIGURE 4.12 : COURBES DES COURANTS DES PHASES	56
FIGURE 4.13 : SPECTRES DES COURANTS DES PHASES.....	57
FIGURE 4.14 : ZOOM SUR LES SPECTRES DES COURANTS DES PHASES	57
FIGURE 4.15 : SPECTRES DES COURANT DES PHASES	58
FIGURE 4.16 : ZOOM SUR LES SPECTRES DES COURANTS DES PHASES	58
FIGURE 4.17 : COURBES DES COURANTS DES PHASES.....	59
FIGURE 4.18 : COURBES DES COURANTS DES PHASES.....	59
FIGURE 4.19 : SPECTRE DES COURANTS DES PHASES.....	60
FIGURE 4.20 : ZOOM SUR LES SPECTRES DES COURANTS DES PHASES	60
FIGURE 4.21 : SPECTRES DES COURANTS DES PHASES.....	61
FIGURE 4.22 : ZOOM SUR LES SPECTRES DES COURANTS DES PHASES	61

Listes des tableaux

TABEAU 1.5 : DEFAUTS DES MACHINES ELECTRIQUES SELON LEURS ORIGINES [7].....	8
TABEAU 2.1 : APPLICATION PHYSIQUE DANS FLUX (2D/3D) [25]	30
TABEAU 2.2 : LES PARAMETRES GEOMETRIQUES DE LA MACHINE	32
TABEAU 2.3: CARACTERISTIQUE DE CHAQUE REGION SURFACIQUE.....	35
TABEAU 2.4 : LES POINTS DE MAILLAGE	35
TABEAU 2.5 : QUALITE DE MAILLAGE	36

Introduction générale

Les machines électriques tournantes occupent une place prépondérante dans tous les secteurs industriels, les machines asynchrones triphasées à cage d'écureuil sont les plus fréquemment utilisées grâce à leur robustesse, leur simplicité de construction et leur bas coût. Néanmoins, celles-ci subissent au cours de leur durée de vie un certain nombre de sollicitations externes ou internes qui peuvent les rendre défectueuses. Les contraintes industrielles en maintenabilité, disponibilité et sécurité des équipements sont par ailleurs très fortes. C'est pourquoi le monde industriel est fortement intéressé par un ensemble de techniques permettant de déterminer l'état de santé de ces machines.

Plus généralement, la surveillance et le diagnostic en génie électrique remettent en cause les concepts et les outils traditionnels utilisés en conception et commande des machines électriques tournantes.

L'objet de notre travail est de déterminer et comparé entre les effets d'un court-circuit entre spires sur les grandeurs physiques mesurables d'une machine asynchrone par simulation et en pratique.

Ce travail contient quatre chapitres.

Nous allons présenter dans le premier chapitre une généralité sur la machine asynchrone triphasées à cage d'écureuil, un aperçu sur les différents défauts pouvant survenir dans la machine et leurs causes et les différentes méthodes de diagnostic.

Le deuxième chapitre nous avons traité la modélisation de la MAS par la conception assistée par ordinateur avec le logiciel FLUX 2D.

Le troisième chapitre concerne la simulation de la MAS par logiciel flux 2D en différents cas possible de l'état de la machine sain et avec défaut.

Le dernier chapitre de ce mémoire comporte un travail pratique sur le défaut de court-circuit entre spires et la méthode d'analyse spectrale des courants statoriques.

A la fin de ce travail nous avons comparé les résultats de la simulation et les résultats de pratique.

Chapitre 1 : Généralité sur la machine asynchrone

1.1 Introduction

La machine asynchrone, souvent appelée moteur à induction comprend un stator et un rotor, constitués d'empilement de tôles d'acier au silicium et comportant des encoches dans lesquelles sont placées les enroulements. Le stator est fixe ; on y trouve les enroulements reliés à la source, l'objectif étant d'obtenir une répartition des forces magnétomotrices et du flux la plus sinusoïdale possible dans l'entrefer, Le rotor est monté sur un axe de rotation [1]

1.2 Eléments de constitution de la machine asynchrone :

Il comporte un inducteur fixe nommé stator et un induit nommé rotor. C'est un transformateur à champs tournant dont le primaire est le stator et dont le secondaire est mis en court-circuit et libre de tourner et le rotor.

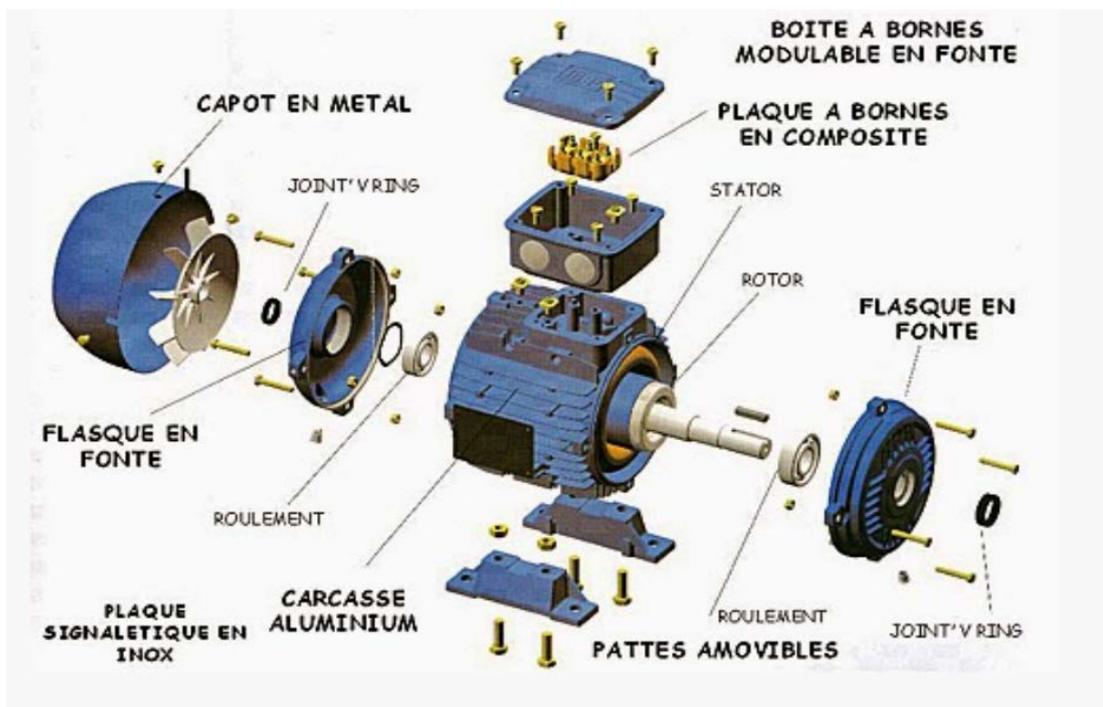


Figure 1.1 : Eléments de constitution d'une MAS à cage d'écureuil

Chapitre 1 : Généralité sur la machine asynchrone

1.2.1 Stator

Il est constitué par une couronne des tôles empilées. Ce sont des tôles minces(0.5mm), De la qualité 1.6 W/kg. Cette couronne est serré dans une carcasse. Débouchant à l'intérieur de l'anneau ainsi formé, des encoches contiennent un enroulement Triphasé. Cet enroulement peut être bipolaire, tétra polaire, à six pole, etc. Les entrées et les sorties des trois phases aboutissent à une plaque à borne [2].

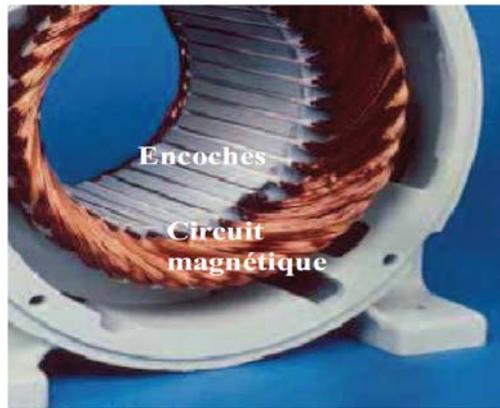


Figure 1.2: Stator

1.2.2 Rotor

a. Rotor à simple cage

Le circuit du rotor est constitué de barres conductrices régulièrement réparties entre deux couronnes métalliques formant les extrémités, le tout rappelant la forme d'une cage d'écureuil. Bien entendu, cette cage est insérée à l'intérieur d'un circuit magnétique analogue à celui du moteur à rotor bobiné.

Ce type de moteur, beaucoup plus aisé à construire que le moteur à rotor bobiné, est d'un prix de revient inférieur et a une robustesse intrinsèquement plus grande. Il n'est donc pas étonnant qu'il constitue, et de loin, la plus grande partie du parc des moteurs asynchrones en service.

Son inconvénient majeur est qu'il ne permet pas d'insérer un rhéostat et qu'il a, au démarrage, de mauvaises performances (courant élevé et couple faible). C'est pour remédier à cette situation qu'ont été développés deux autres types de moteur (rotor à double cage et rotor à encoches profondes) [4].

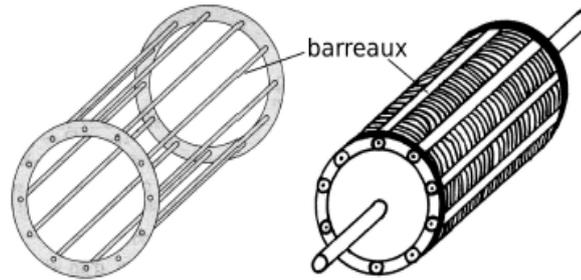


Figure 1.3 : Rotor à simple cage

b. Rotor à double cage

Le rotor comporte deux cages coaxiales :

- l'une (fréquemment réalisée en laiton ou en bronze), externe, à résistance relativement élevée, est placée près de l'entrefer
- l'autre (en cuivre), interne, de plus faible résistance, est noyée dans le fer, ayant ainsi une inductance des fuites supérieures à la première.

Au démarrage, le courant rotorique, de fréquence égale à la fréquence f du réseau d'alimentation, se répartit de façon inversement proportionnelle aux réactances des cages, qui sont alors grandes devant les résistances. Dans ces conditions, c'est la cage externe qui est parcourue par le maximum de courant ; sa relativement forte résistance réduit l'appel de courant et accroît le couple.

Au contraire, lorsque le moteur atteint son régime nominal de fonctionnement, normalement caractérisé par un faible glissement g et une fréquence basse fb , ce sont les résistances qui contrôlent la répartition du courant, ce qui favorise le passage du courant dans la cage interne de faible résistance.

On peut, ainsi, obtenir des couples de démarrages de l'ordre de deux à trois fois supérieurs à ceux du rotor à simple cage [4].

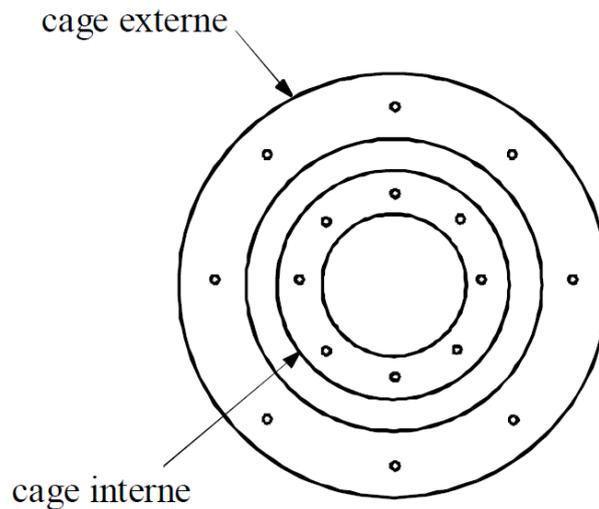


Figure 1.4: Rotor à double cage

1.2.3 Paliers

Les paliers ont pour rôle de soutenir le rotor et assurent sa libre rotation. Les déplacements axiaux sont bloqués par un calage longitudinal sur l'un des paliers ; l'autre palier est libre pour assurer les dilatations thermiques de l'arbre. Lorsque les forces axiales exercées sur le rotor sont importantes, le calage longitudinal est assuré par une butée. Les dissymétries des reluctances du circuit magnétique engendrent des courants dans l'arbre qui sont éliminés par isolation électrique de l'un des paliers par une feuille isolante. On distingue deux types de paliers

a. Palier lisses

Ces paliers comportent deux parties principales, Corps de paliers et palier à pied le corps de palier flasque est généralement fixé sur la carcasse. Le rotor est alors centré dans le stator au moment de la construction de la machine. Le palier à pieds utilisé pour les machines de grandes dimensions et de masse supérieure à 20 tonnes, il est désolidarisé de la carcasse.

b. Paliers à roulement

Sont utilisés dans les petites et les moyennes machines, de masse inférieure à 20 tonnes, Leur encombrement est plus faible que celui des paliers lisses et les longueurs totales des machines sont donc réduites. [5].

Chapitre 1 : Généralité sur la machine asynchrone

1.3 Principe de fonctionnement d'une machine asynchrone

Le branchement est très simple, trois fils amènent le courant de ligne à l'enroulement du Stator. Le rotor est en court-circuit.

Dès que le stator est alimenté par des courants triphasé de pulsation ω il se produit un champ tournant ; si le bobinage comprend 2 pôles ce champs tourne à la vitesse angulaire $\Omega_s = \omega/p$, dite vitesse de synchronisme.

Ce champ balais les conducteurs de rotor et y induit des forces électromotrices. Le rotor Etant en court-circuit, ces forces électromotrices y produisent des courants induits. Ces courants, placés dans le champ tournant forme un couple.

Le rotor étant libre, ce couple le fait tourner.

Le sens de rotation est tel que, d'après la loi de Lenz, la rotation s'oppose à la cause qui lui donne naissance. Cette cause est le Déplacement du camp par rapport aux conducteurs du rotor.

Le rotor tourne donc pour rattrape le champ, soit dans le même sens que le champ. Mais il ne peut tourner aussi vite, car il n'y aurait plus déplacement du champ par rapport Au rotor, donc plus de courants induits et plus de couple.

C'est parce que le mouvement du rotor n'est pas synchrone de celui du champ que ce Moteur est dit asynchrone [1].

1.4 Glissement

Le rotor doit tourner à une vitesse électrique inférieure ou supérieure à celle du stator pour produire les courants de Foucault et le couple. Si la vitesse du rotor est inférieure, il produira un couple d'arbre à une charge. Si un couple est appliqué sur l'arbre dans le sens de rotation, le moteur peut fonctionner à une fréquence de rotor supérieure à synchrone et délivrer l'énergie électrique du stator.

La différence entre la vitesse de l'arbre et la vitesse synchrone est connue comme un glissement et est généralement exprimée en pourcentage ou par unité de synchrone la vitesse [3].

$$g = [(N_s - N) / N_s] \times 100 \quad (\text{Eq.1.1})$$

Chapitre 1 : Généralité sur la machine asynchrone

1.5 Les avantages et les inconvénients de la machine asynchrone à cage

Parmi les avantages et les inconvénients dans le moteur asynchrone on site

a. **Avantage**

- Structure simple
- Robuste et facile à construire
- Utilisé dans la puissance moyenne et élevés
- Relié directement aux réseaux industriels a tension et fréquence
- Le couple de démarrage élevé que le couple nominal

b. **Inconvénients**

- Le courant de démarrage est très élevé par rapport au courant nominale.
- Variation de vitesse nécessite un variateur de vitesse
- La vitesse dépend de la charge [6]

1.6 Défaillances de la machine asynchrone

Les défaillances peuvent être d'origines diverses, électriques, mécaniques ou bien encore magnétiques. Leurs causes sont multiples et peuvent se classer en trois groupes :

- Les générateurs de pannes ou initiateurs de défauts : surchauffe du moteur, défaut électrique (court-circuit), survoltage d'alimentation, problème d'isolation électrique, usure des éléments mécaniques (roulements à billes), rupture de fixations, etc.
- Les amplificateurs de défauts : surcharge fréquente, vibrations mécaniques, environnement humide, échauffement permanent, mauvais graissage, vieillissement, etc.
- Les vices de fabrication et les erreurs humaines : défauts de fabrication, composants défectueux, protections inadaptées, mauvais dimensionnement de la machine, etc [4]

Chapitre 1 : Généralité sur la machine asynchrone

Défaillances des machines électriques	Interne	Mécanique	Contact entre le stator et rotor
			Défaut de roulements
			Excentricité
		Électrique	Mouvement des enroulements et des tôles
			Défaillance au niveau de l'isolation
			Rupture de barre
	Externe	Mécanique	Défaillance au niveau du circuit magnétique
			Charge oscillante
			Surcharge de la machine
		Environnementale	Défaut de montage
			Humidité
			Température
		Électrique	Propreté
			Fluctuation de la tension
			Sources de tensions déséquilibrées
Réseau bruité			

Tableau 1.5 : Défaits des machines électriques selon leurs origines [7]

1.6.1 Défaits de roulement

Les roulements à billes jouent le rôle d'interface électromécanique entre le stator et le rotor. En outre, ils représentent l'élément de maintien de l'axe de la machine permettant d'assurer une bonne rotation du rotor. Dans l'article [Bon 93], l'auteur présente la plupart des défauts

Survenant dans les roulements des moteurs à induction ainsi que les raisons de leur vieillissement. Comme il a été présenté précédemment, ce type de défaut est le plus fréquent sur les machines de fortes puissances. Il est généralement lié à l'usure du roulement et plus précisément une dégradation des billes, ou de la bande de roulement.

Ses causes possibles :

- l'usure due au vieillissement
- la température de fonctionnement élevée
- la perte de lubrification
- l'huile contaminée (par des paillettes métalliques issues de la dégradation des billes ou de la bande de roulement)
- le défaut de montage
- les courants d'arbres (Shaft Current)

Les conséquences directes de cette défaillance sur les roulements sont :

- des trous dans les gorges de roulement intérieures et extérieures
- l'ondulation de leur surface de roulement

Chapitre 1 : Généralité sur la machine asynchrone

- l'attaque des billes
- la corrosion due à l'eau
- défaut de graissage, problème dû à la température
- décollement, effritement de surface provoqué par une surcharge

Sur le système, ce type de défaut se traduit par des oscillations du couple de charge, une apparition de pertes supplémentaires et un jeu entre la bague interne et la bague externe du roulement entraînant des vibrations par les déplacements du rotor autour de l'axe longitudinale de la machine. Dans le cas le plus défavorable, la présence d'un roulement défectueux peut amener au blocage du moteur. [4].

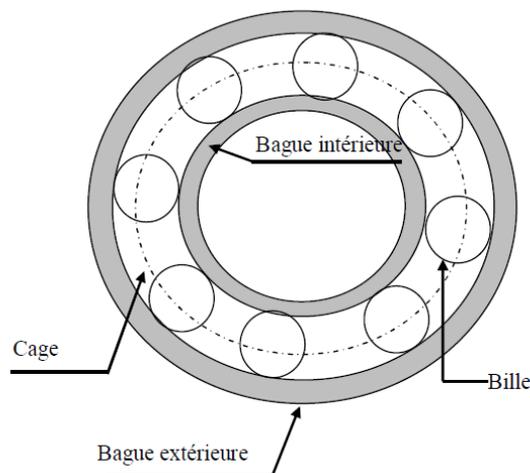


Figure 1.5 : roulement à bille

1.6.2 Excentricité

L'excentricité se répartit en deux catégories, Excentricité statique et excentricité dynamique. L'excentricité statique se distingue par le fait que le centre du rotor n'est pas égal à celui du stator. L'excentricité dynamique fait que le centre du rotor tourne autour du centre de stator.

Parfois, la machine électrique peut être soumise à un décentrement du rotor, se traduisant par des oscillations de couple (décalage entre le centre de rotation de l'arbre et le centre du rotor). Ce phénomène est appelé excentricité (statique et dynamique) dont l'origine peut être liée à un positionnement incorrect des paliers lors de l'assemblage. A un défaut de roulement (usure). A un défaut de charge. Ou à un défaut de fabrication(usinage).

Chapitre 1 : Généralité sur la machine asynchrone

Celui-ci provoque la variation de l'entrefer dans le moteur. Une répartition non homogène des courants dans le rotor et le déséquilibre des courants statoriques. Le déséquilibre des efforts sur les barres génère un couple global non constant.

Quand l'excentricité devient du rotor, ce qui conduit à des dommages du stator et du rotor.

Trois cas d'excentricité sont généralement distingués :

- L'excentricité statique, dans laquelle l'axe du rotor reste fixe. Elle peut provenir de problème d'assemblage ou d'une légère ovalie du stator et ou du rotor.
- L'excentricité dynamique dans laquelle l'axe du rotor tourne autour d'un axe différent de celui du stator. A cause de l'usure des roulements, des espaces se créent entre les billes et les anneaux. Suite à des manipulations d'entretien de la machine, des jeux apparaîtraient entre les flasques et les anneaux.
- L'excentricité mixte dans laquelle l'axe du rotor tourne autour d'un axe différent de celui du stator. Elle est donc la combinaison des excentricités statique et dynamique. Dans la plupart des machines tournants, on observe cette dernière forme d'excentricité.
- L'excentricité statique résulte soit d'une imperfection dans l'alésage du stator, soit d'un mauvais positionnement du rotor et/ ou du stator à l'assemblage. Supposant que l'arbre du rotor suffisamment raide, le niveau de l'excentricité statique ne change pas.
- L'excentricité dynamique peut être provoquée par plusieurs facteur, tels que des tolérances de fabrication, usure des roulements, désalignement, résonance mécanique à la vitesse critique, ou aussi à des pièces endommagées à la Fabrication [8].

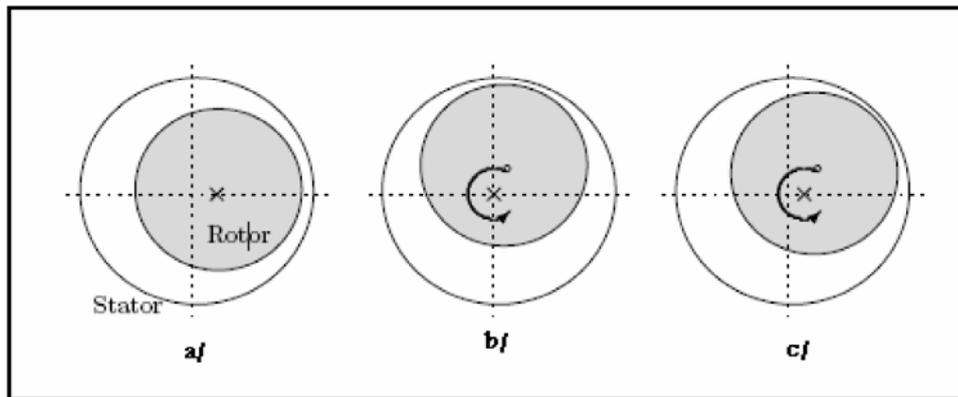


Figure 1.6 : a/ excentricité statique, b/ excentricité dynamique, c/ excentricité mixte.

1.6.3 Défaits rotoriques

Pour le rotor, les défaillances sont essentiellement dues à un problème

- thermique (surcharge, ...)
- électromagnétique (force en $B^2(t)$, ...)
- résiduel (déformation, ...)
- dynamique (arbre de transmission, ...)
- mécanique (roulement, ...)
- environnemental (agression, ...)

Les défauts qui sont les plus récurrents, localisés au niveau du rotor, peuvent être définis comme suit [9]

a. Ruptures des barres conductrices

La cassure ou rupture de barre est 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. L'effet d'une cassure de barre croît rapidement avec le nombre de barres cassées.

La détection de ces défaillances est rendue difficile par le fait que lors de leur apparition la machine continue à fonctionner. 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 suffisant pour provoquer l'arrêt de la machine. [11]

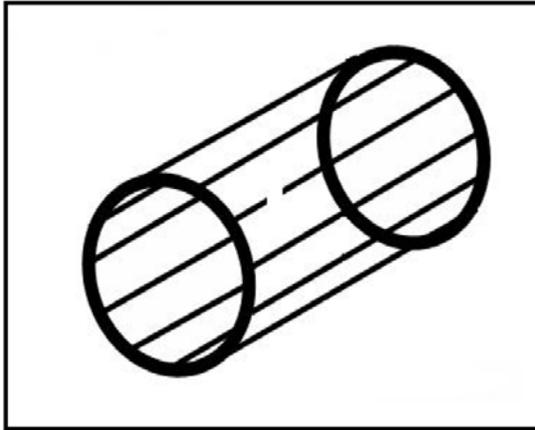


Figure 1.7: Rupture d'une barre de court-circuit

b. Rupture des anneaux de court-circuit

La rupture de portion d'anneau est un défaut qui apparaît aussi fréquemment que la cassure de barres. Ces ruptures sont dues soit à des bulles de coulées ou aux dilatations différentielles entre les barres et les anneaux. Cette rupture déséquilibre la répartition des courants dans les barres rotoriques et de ce fait, engendre un effet de modulation d'amplitude sur les courants statoriques similaire à celui provoqué par la cassure de barres. [8]

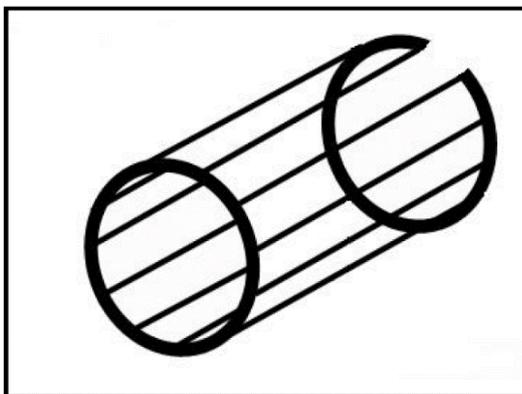


Figure 1.8: Rupture d'un anneau de court-circuit

1.6.4 Défauts de stator

Les défauts statoriques sont principalement dus à un problème thermique ou électrique, parmi lesquels :

- ✓ Un grand noyau du stator ou la température d'enroulements est élevé.
- ✓ Attachement lâché à la fin de l'enroulement.
- ✓ Contamination due à l'huile.

Chapitre 1 : Généralité sur la machine asynchrone

- ✓ Surtension, décharges électriques.
- ✓ Les fuites dans les systèmes de refroidissement.
- ✓ Dégradation des isolants.

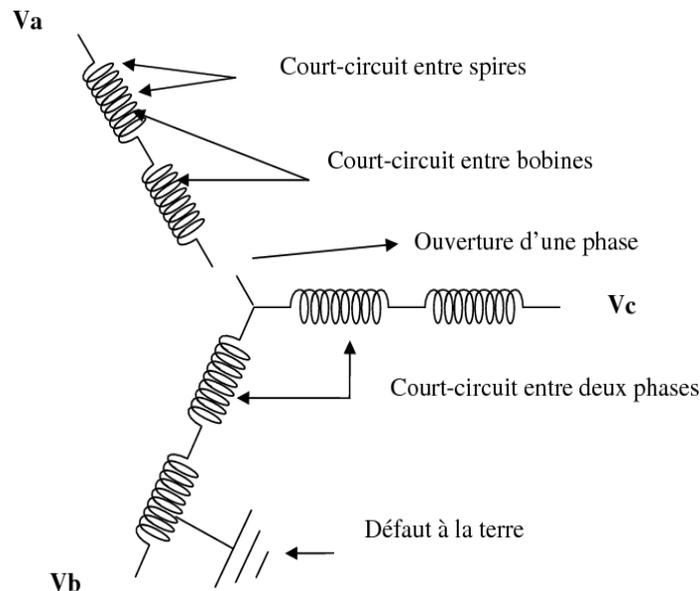


Figure 1.9 : différents défauts du stator

a. Court-circuit entre spires

Un court-circuit entre spires de la même phase est un défaut assez fréquent. Cette défaillance a pour origine un ou plusieurs défauts d'isolant dans l'enroulement concerné. Il entraîne une augmentation des courants statoriques dans la phase affectée. Une légère variation de l'amplitude sur les autres phases modifie le facteur de puissance et amplifie les courants dans le circuit rotorique. Ceci a pour conséquence une augmentation de la température au niveau du bobinage. De ce fait, une dégradation accélérée des isolants, peut provoquer, ainsi un défaut en cascade (apparition d'un 2ème court-circuit). Par contre, le couple électromagnétique moyen délivré par la machine reste, sensiblement, identique hormis une augmentation des oscillations proportionnelle au défaut.

Les courts-circuits entre spires de la même phase apparaissent soit au niveau des têtes des bobines soit dans les encoches. Ce sont des défauts très fréquents. Ils peuvent se manifester soit entre des spires au milieu du bobinage ou bien entre une spire et le neutre. [11]

Chapitre 1 : Généralité sur la machine asynchrone

Le courant statorique avait un spectre enrichi par la création d'un court-circuit entre plusieurs spires au stator où les fréquences caractéristiques de ce type de défaut sont données par la relation

$$f_{cc}(\text{Hz}) = \left(\frac{n}{p} (1 - g) \pm k \right) \cdot f \quad (\text{Eq.1.2})$$

Avec : f_{cc} est la fréquence de court-circuit, $n = 1, 2, 3, \dots$, $k = 1, 3, 5, \dots$

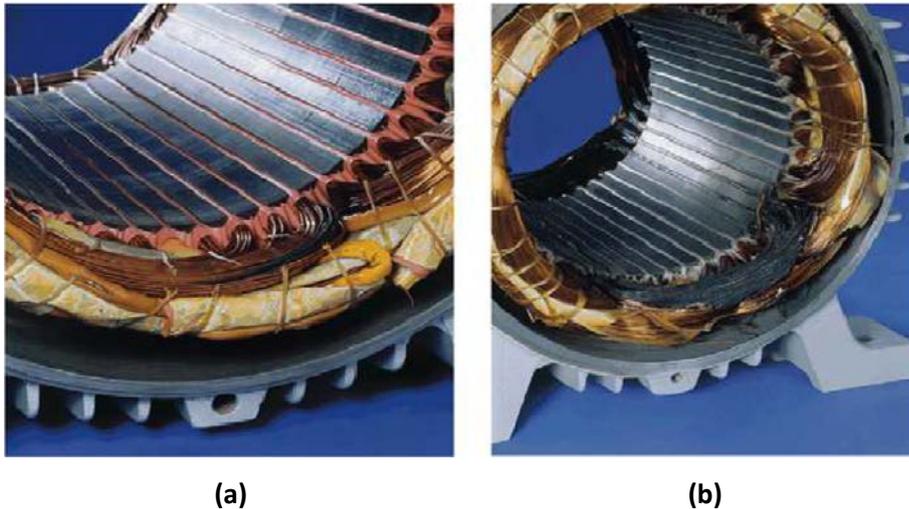


Figure 1.10 : (a) Court-circuit entre spires de la même phase (b) Enroulement court-circuité

b. Court-circuit entre phases

Ce type de défaillance peut arriver en tout point du bobinage, cependant les répercussions ne seront pas les mêmes selon la localisation. Cette caractéristique rend difficile une analyse de l'incidence de ce défaut sur le système.

L'apparition d'un court-circuit proche de l'alimentation entre phases, induirait des courants très élevés qui conduiraient à la fusion des conducteurs d'alimentation et/ou à la disjonction par les protections. D'autre part, un court-circuit proche du neutre entre deux phases engendre un déséquilibre sans provoquer la fusion des conducteurs. Les courants statoriques sont totalement déséquilibrés et ce déséquilibre est proportionnel au défaut qui apparaît.

Les courants dans les barres ainsi que dans les anneaux sont augmentés lors de l'apparition de ce défaut. La détection de ce type de défaut peut reposer sur le déséquilibre des courants de phases. [9]

Chapitre 1 : Généralité sur la machine asynchrone

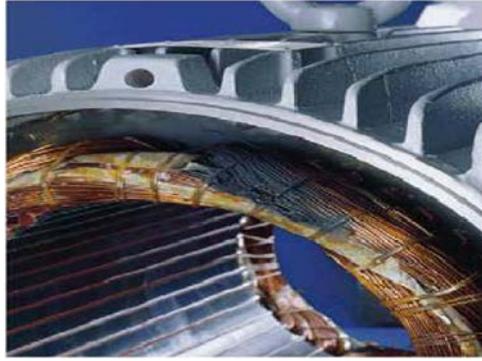


Figure 1.11 court-circuit entre phases

C. Les décharges partielles

Ce type de défaut est dû aux décharges dans les isolants entre conducteurs ou entre conducteurs et la masse qui s'amplifie avec l'usure des isolants. Sa présence précède l'apparition de court-circuit entre phases ou entre phases et masse. [11]



Figure 1.12: entre l'enrôlement et le noyau statorique

1.7 Étude statistique sur les défauts des machines asynchrones

La répartition des pannes dans les différentes parties du moteur est présentée sur la figure suivante.

Chapitre 1 : Généralité sur la machine asynchrone

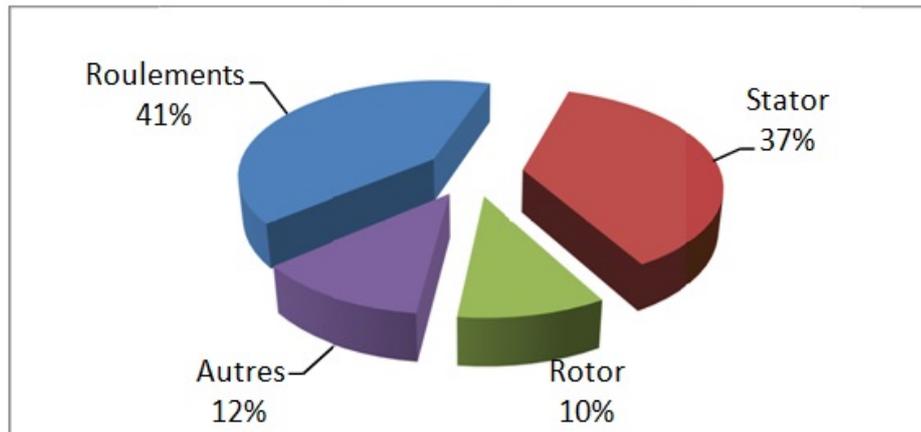


Figure 1.13 : Proportion des défauts Thomson 1999

La répartition des pannes dans les différentes parties du moteur est présentée sur la figure suivante.

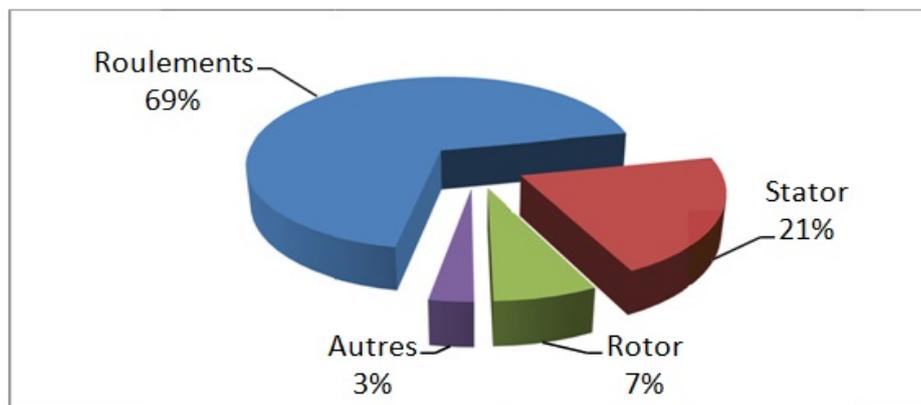


Figure 1.14 : Répartition des pannes Bonnett 2008

1.8 Méthode de diagnostic

Pour effectuer un diagnostic, il est nécessaire de procéder à une ou des analyses afin d'interpréter les signaux issus des capteurs tant sur le plan fréquentiel que temporel. Parmi tous les signaux permettant d'établir un diagnostic, ceux-ci peuvent provenir de la mesure du courant absorbé par le moteur électrique, le carré de ce courant, la puissance instantanée...

Il est important de savoir que les différentes méthodes de diagnostic sont classées selon les approches auxquelles elles appartiennent. En effet, il existe deux approches.

- Approche sans modèle.
- Approche avec modèle

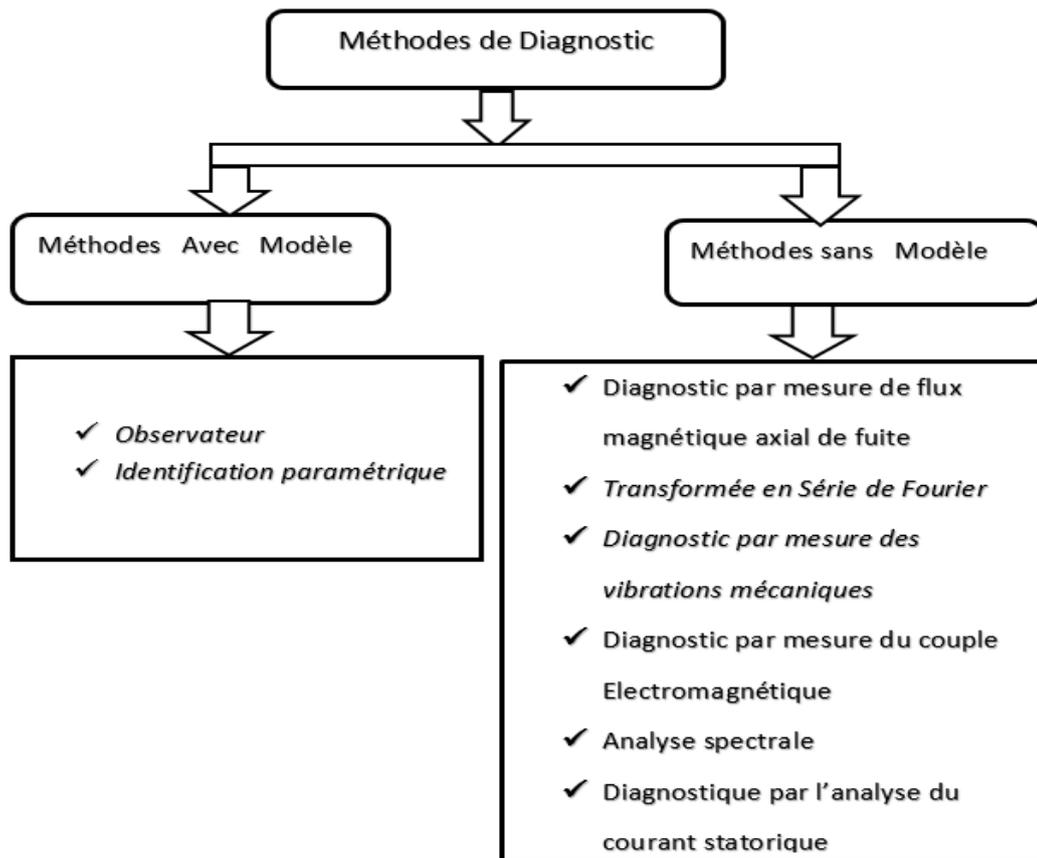


Figure 1.15 méthodes des diagnostic

1.8.1 Méthode de diagnostic sans modèle

Ces méthodes ne nécessitent pas forcément de modèle analytique précis du système mais reposent plutôt sur une reconnaissance de signatures, les signatures de défauts, obtenues par une modélisation ou par mesure sur maquette, sont généralement dans une base de données. L'analyse est réalisée par une interprétation du type signal ou par système expert. Parmi ces méthodes on trouve.

a. Diagnostic par mesure de flux magnétique axial de fuite

Dans une machine idéale sans défaut, les courants et les tensions statoriques sont équilibrés, ce qui annule le flux de fuite axial. La présence d'un défaut quelconque, provoque un déséquilibre électrique et magnétique au niveau du stator ce qui donne naissance à des flux de fuite axial de valeurs dépendantes du degré de sévérité du défaut. Si on place une bobine autour de l'arbre de la machine, elle sera le siège d'une force électromotrice induite. L'analyse spectrale de la tension induite dans cette bobine,

Chapitre 1 : Généralité sur la machine asynchrone

peut être exploitée pour détecter les différents défauts comme la rupture de la barre rotorique. [13]

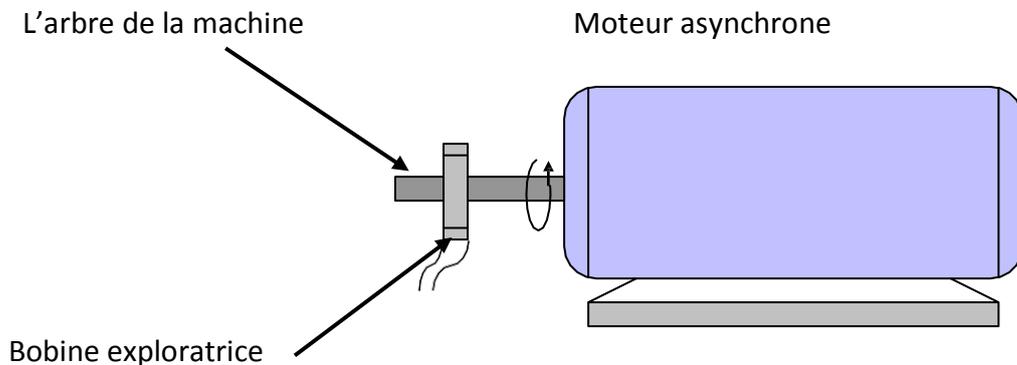


Figure 1.16 : Bobine exploratrice pour la mesure du flux de fuite axial

b. Transformée en Série de Fourier

La méthode la plus utilisée est la transformée de Fourier qui effectue l'analyse spectral d'un signal donné. Chaque défaut, statorique ou rotorique a ses fréquences caractéristiques propres. Ainsi une simple application de la transformée de Fourier peut localiser ces fréquences. En raison de sa simplicité, cette méthode est très utilisée car elle est peu coûteuse et fiable. Sa seule limitation réside dans le fait qu'elle ne peut être appliquée aux machines qui fonctionnent dans des conditions non stationnaires (vitesse non constante). [15]

- **La transformée de Fourier rapide (FFT) :**

La transformée de Fourier rapide (FFT) est un algorithme de calcul rapide de la transformée de Fourier discrète. L'algorithme de base de cette transformée utilise un nombre de points N égal à une puissance de 2, ce qui permet d'obtenir un gain en temps de calcul, par rapport à un calcul avec la transformée de Fourier discrète, de $\frac{N}{\log_2(N)}$.

Cette transformation fait clairement ressortir le contenu fréquentiel du signal $x(t)$. En effet, la FFT décompose le signal $x(t)$ sur une base de vecteurs propres sinusoïdaux $\{e^{2\pi f k T}\}_{f \in \mathbb{R}}$. [28]

c. Diagnostic par mesure des vibrations mécaniques

Le diagnostic des défauts par mesure des vibrations mécaniques est la méthode la plus utilisée dans la pratique. Les forces radiales, créées par le champ d'entrefer, provoquent des vibrations dans la machine. Ces vibrations peuvent être captées par des

Chapitre 1 : Généralité sur la machine asynchrone

accéléromètres. Les spectres des signaux de vibrations, issus de la machine en défaut, sont comparés avec ceux enregistrés lorsque la machine est en bon état. Cette méthode permet la détection aussi bien des défauts électriques que mécaniques puisque la force magnétomotrice contient les effets des asymétries du stator ou du rotor. [16]

d. Diagnostic par mesure du couple électromagnétique

Le couple électromagnétique développé dans les machines électriques, provient de l'interaction entre le champ statorique et celui rotorique. Par conséquent, tout défaut, soit au niveau du stator ou au rotor, affecte directement le couple électromagnétique. L'analyse spectrale du signal du couple (mesuré ou estimé), donne des informations sur l'état de santé du moteur. [13]

e. Analyse spectrale

L'analyse spectrale est utilisée depuis de nombreuses années pour détecter des défaillances dans les machines électriques, essentiellement les ruptures de barres au rotor des machines asynchrones, la dégradation des roulements, les excentricités et les courts-circuits dans les bobinages. Ces cas se prêtent bien à cette approche dans la mesure où de nombreux phénomènes se traduisent par l'apparition de fréquences directement liées à la vitesse de rotation ou à des multiples de la fréquence d'alimentation. La surveillance par analyse spectrale de la machine asynchrone consiste donc à effectuer une simple transformée de Fourier des grandeurs affectées par le défaut, et à visualiser les fréquences parasites constituant la signature d'un défaut dans la machine. Les grandeurs choisies sont soit les grandeurs électriques (plus particulièrement les courants de ligne), soit les grandeurs mécaniques (vibration, couple électromagnétique).

Cette technique permet une surveillance rapide et peu onéreuse car elle exige un simple capteur de courant ou de vibration. Cependant, elle nécessite une analyse manuelle par un expert en surveillance des machines électriques.

A ce jour, c'est l'analyse fréquentielle des grandeurs mesurables qui est le plus souvent utilisée pour le diagnostic de défauts rotoriques. Les grandeurs accessibles et mesurables d'une machine asynchrone peuvent être :

- les courants absorbés, la tension d'alimentation, le flux de dispersion ;
- la vitesse de rotation, le couple électromagnétique, les vibrations

Chapitre 1 : Généralité sur la machine asynchrone

La plupart des défauts connus peuvent être détectés avec ce type d'approche. Cependant, l'équipement nécessaire pour l'acquisition des signaux reste encore coûteux. [10]

f. Diagnostic par l'analyse du courant statorique

Cette méthode est un outil puissant pour détecter la présence des défauts mécaniques et électriques. Elle présente plusieurs avantages par rapport aux autres méthodes, parce qu'elle ne demande ni l'introduction d'un capteur au niveau de la machine ni l'utilisation d'un équipement coûteux et encombrant mais seulement un capteur de courant (sonde à effet de hall ou transformateur de courant) qui donne une image sur le courant de phase statorique. C'est cette méthode de diagnostic qui sera utilisée comme outil de diagnostic dans la recherche des différents défauts dans ce travail. C'est une méthode de surveillance, qui consiste à utiliser le spectre du courant statorique Sachant que dans un spectre de courant d'un moteur sans défaut apparaît Uniquement la composante du fondamental, pour une répartition sinusoïdale de la Fmm. Dans le cas d'une répartition non sinusoïdale de la Fmm en plus du fondamental apparaît des harmoniques de l'encochage rotorique, cas d'un moteur à cage.

Pour montrer le principe de cette méthode, on considère le cas d'une asymétrie rotorique d'un moteur asynchrone, l'existence de ce défaut engendre un courant de défaut dans le rotor, Ce courant produit une Fmm pulsative dont la fréquence d'ondulation est (f_s), cette Fmm produit dans l'enroulement statorique une harmonique à deux composantes, la première ayant la fréquence $f(1 - 2g)$ et la deuxième ayant la fréquence $f(1 + 2g)$. [18]

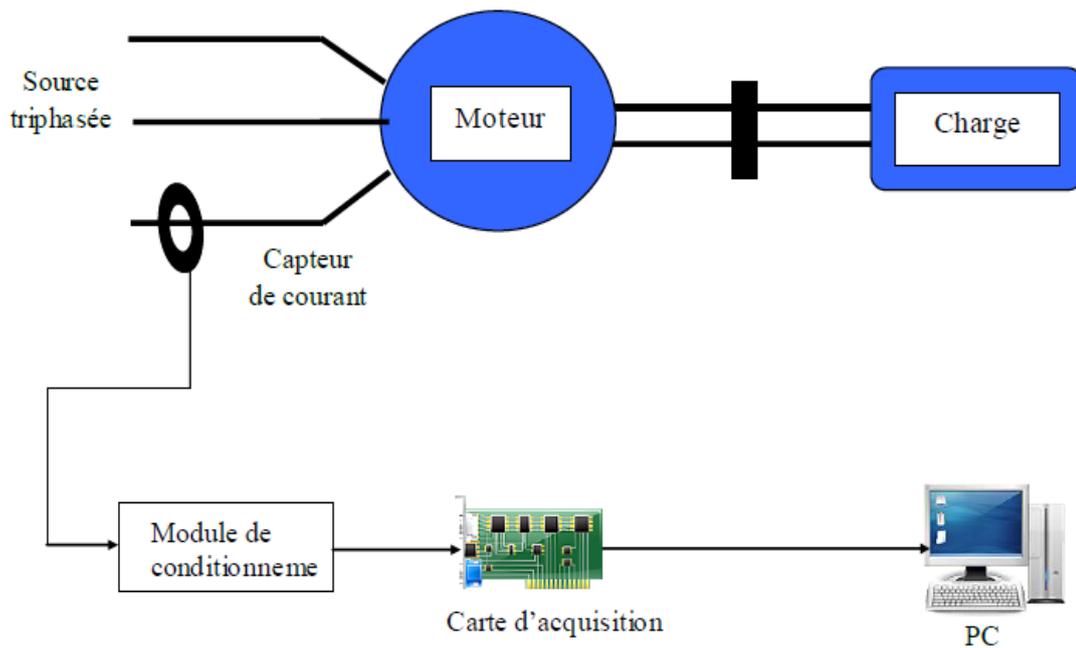


Figure 1.17 : schéma synoptique du principe de la méthode du spectre du courant statorique

1.8.2 Méthodes avec modèle

Les méthodes de diagnostic à base de modèle sont issues principalement de l'automatique et supposent une connaissance a priori du système. Elles prennent en compte les équations régissant les phénomènes internes du système et qui expriment les connaissances profondes sous la forme d'un modèle mathématique. [17]

a. Méthode avec Observateur

Les méthodes à base d'observateurs ont pour principe de reconstruire les états et les sorties du système à partir des entrées et des sorties.

La théorie des observateurs est utilisée pour des systèmes linéaires ou non linéaires, d'ordre plein s'ils estiment l'intégralité du vecteur d'état (le système doit être complètement observable) ou d'ordre réduit dans le cas contraire, dans le domaine fréquentiel (observateurs généralisés) ou temporel (observateurs de Luenberger). Aussi il y a une classe d'observateurs dits observateurs à entrées inconnues dont les sorties du système sont indépendantes des incertitudes structurées auxquelles il est soumis. [14].

Chapitre 1 : Généralité sur la machine asynchrone

b. Méthode avec Identification paramétrique

Le modèle de la machine est caractérisé par des paramètres électriques et mécaniques à partir de l'acquisition des grandeurs électriques sur une machine asynchrone, l'identification de ces Paramètres permet de construire un modèle fidèle à la machine réelle. En diagnostic, le suivi de ces paramètres permet de caractériser les défauts avec précision.

Deux types de paramètres sont à identifier :

- les paramètres mécaniques
- les paramètres électriques [12]

1.9 Conclusion

Nous avons présenté dans ce chapitre la MAS de manière générale et les différents défauts avec un certain nombre des méthodes de diagnostic.

Parmi ces méthodes l'analyse spectrale du courant statorique qui fait l'objet de ce travail, cette méthode est très utilisée pour la détection des défauts mécaniques et électriques, son principe est basé sur l'emploi des grandeurs électriques qui sont faciles à mesurés.

Chapitre 2 : Modélisation de la machine asynchrone

2.1 Introduction

Dans ce chapitre nous avons réalisé une modélisation de la MAS par la conception assistée par ordinateur C A O,

Nous avons utilisé le logiciel FLUX 2D comme utile de conception des machines électriques, c'est un logiciel qui est basé sur la méthode des éléments finis.

2.2 Définition de C.A.O

La CAO ou Conception Assistée par Ordinateur comprend l'ensemble des programmes et des techniques de modélisation qui permettent la conception de modèles et de produits. Il est ensuite aisé de transmettre les informations à la Fabrication. La CAO permet aussi de simuler et donc de tester virtuellement les produits avant de les fabriquer.

L'utilisation de la CAO s'applique à tous les secteurs, indépendamment des outils de production. [19]

2.3 Domaines et application de CAO

On trouvera la CAO dans des domaines suivants :

- **La mécanique** : La CAO revêt beaucoup de formes dans ce domaine, la conception et le dessin de pièces mécaniques, pour le calcul de pressions, déplacement, forces...etc
- **Automatique** : Essentiellement description et simulation des systèmes continus et discrets et de processus.
- **Electronique** : Conception et simulation de circuits intégrés, circuits imprimés, assemblage des cartes électroniques....etc.
- **Chimie** : Conception et représentation 3D de grosses molécules comme les protéines,
- **Hydraulique** : Modélisation et calcul des écoulements, pressions (champ scalaire), vitesses (champ vectoriel) ...etc.

Chapitre 2 : Modélisation de la machine asynchrone

- **Génie électrique** : Conception des machines électriques (moteurs, transformateurs, contacteurs...), modélisation des phénomènes électromagnétiques (calcul du champ magnétique ou électrique).
- **Génie Civil** : Dessin et conception de bâtiments et de constructions diverses, calcul de résistance des matériaux, calcul de structures, ...etc. [20]

2.4 Les différents logiciels connus de la conception assistée par ordinateur

Il existe plusieurs logiciels de C.A.O. nous les mentionnons

- Logiciel de dessin (autocad)
- Logiciel de simulation (Matlab)
- Logiciel de calcul (C++, Pascal)
- Logiciel d'analyse (Flux 2D) [22]

2.5 Définition de logiciel flux 2D

Ce logiciel a été conçu et réalisé en 1981 par le laboratoire d'électrotechnique de Grenoble. Il est depuis cette date commercialisé par la société CEDRAT et est aujourd'hui utilisé par les Principaux constructeurs de matériel électrique. Développé au départ pour les applications électrostatiques et magnétostatiques, il comprend aujourd'hui 20 modules qui permettent d'aborder l'ensemble des problèmes qui se posent lors de la conception d'un appareil électromagnétique. En particulier, la notion de couplage entre les équations de champ et les équations de circuit extérieur permettent de simuler le fonctionnement d'un moteur alimenté sous une tension donnée au stator et tenir compte de l'effet de fermeture des anneaux de court-circuit au rotor. La possibilité de simuler également le mouvement du rotor en fonction du temps et de la tension d'alimentation permet d'étudier l'effet des couples instantanés au de couple moyen calculé par les méthodes classiques. [23]

FLUX est un logiciel de conception assistée par ordinateur (CAO) destiné en premier lieu à l'électrotechnique. Basé sur la méthode des éléments finis, FLUX calcule les états magnétiques, électriques et thermiques des dispositifs bidimensionnels et tridimensionnels. Il permet la résolution de problèmes [20]

2.6 Méthode des éléments finis

Historiquement les premiers développements de la méthode des éléments finis ont été proposés par Richard Courant dans les années 1940, mais ce sont les mécaniciens qui ont développé, popularisé et démontré l'efficacité de cette méthode dans les années 1940-1960.

En 1970, Silvestre et son équipe de l'université MC Gill à Montréal se sont intéressés à l'adaptation de cette méthode de résolution des problèmes elliptiques à l'électrotechnique.

La méthode des éléments finis est fréquemment utilisée pour modéliser précisément et finement des systèmes électrotechniques. Cette méthode permet de tenir compte de la géométrie de la machine et permet une approche systématique des problèmes magnétiques. De plus, un couplage entre les grandeurs électriques, mécaniques, et magnétiques peut être réalisé. Les éléments finis permettent également une étude tridimensionnelle, ce qui apporte une très grande finesse dans la connaissance du système. La méthode des éléments finis est l'une des méthodes numériques les plus utilisées actuellement pour résoudre d'une manière efficace les équations différentielles aux dérivées partielles des problèmes physiques.

2.7 Principe de la méthode des éléments finis

La méthode des éléments finis peut être définie comme une méthode d'approximation des équations aux dérivées partielles qui régissent les phénomènes physiques et leurs conditions aux limites.

Le principe bien connu de la méthode est de discrétiser le domaine d'étude en de multiples éléments puis de résoudre localement, dans chacun de ceux-ci, les équations associées à la formulation retenue. Les inconnues élémentaires sont alors définies par une combinaison linéaire, pondérée par des polynômes d'interpolation.

La précision du calcul est liée à la finesse du maillage et au degré de ces polynômes. Leurs coefficients ne dépendent que de la géométrie et de sa discrétisation.

Finalement, on obtient après assemblage un système matriciel d'équations, pouvant tenir compte de certaines non linéarités, comme celle intervenant dans les matériaux ferromagnétiques. [24]

Chapitre 2 : Modélisation de la machine asynchrone

2.8 Equations de Maxwell en électrostatique

Les équations qui gouvernent la répartition du potentiel et du champ électromagnétique, dans un milieu donné, dérivent des équations de Maxwell. Celles-ci sont formées par quatre équations aux dérivées partielles qui lient les phénomènes magnétiques caractérisés par le champ magnétique \mathbf{H} et l'induction magnétique \mathbf{B} aux phénomènes électriques caractérisés par le champ électrique \mathbf{E} et l'induction électrique \mathbf{D} . Ces quatre équations sont :

$$\nabla \times \vec{E} = -\frac{\partial \vec{B}}{\partial t} \quad (\text{Eq.2.1})$$

$$\nabla \cdot \vec{D} = \rho \quad (\text{Eq.2.2})$$

$$\nabla \times \vec{H} = \vec{J} + \frac{\partial \vec{D}}{\partial t} \quad (\text{Eq.2.3})$$

$$\nabla \cdot \vec{B} = 0 \quad (\text{Eq.2.4})$$

A ces équations, on ajoute les équations de comportement du milieu :

$$\vec{B} = \mu \vec{H} \quad (\text{Eq.2.5})$$

$$\vec{D} = \varepsilon \vec{E} \quad (\text{Eq.2.6})$$

Avec :

$\frac{\partial \vec{D}}{\partial t}$ Le courant de déplacement négligeable à basse fréquence

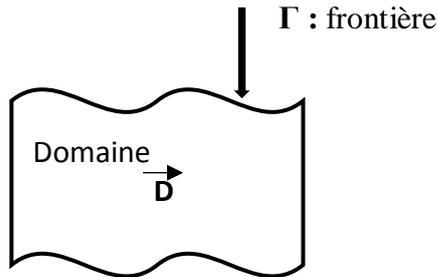
\vec{J} Le courant de conduction

μ , ε sont respectivement, perméabilité magnétique et permittivité électrique.

Selon les matériaux utilisés, μ , ε peuvent être soit des scalaires, modélisant alors le comportement de matériaux isotropes, soit des tenseurs qui permettent de tenir compte des effets d'anisotropie souvent rencontrés dans les machines électriques. Les équations de Maxwell décrivent globalement tous les phénomènes électromagnétiques. Plusieurs modèles peuvent y être dérivés : modèle électrostatique, modèle magnétostatique, modèle électrocinétique etc. [21]

2.9 Conditions aux limites

Le problème de calcul de champ électromagnétique revient à la résolution des équations aux dérivées partielles dans un domaine (**D**) limité par une frontière (**Γ**) sur laquelle sont définies les conditions aux limites. On distingue plusieurs types de conditions :



Condition de Dirichlet

Cette condition nous informe sur la valeur de l'inconnue à la frontière du domaine de résolution Γ .

$$U = g_0 \quad (\text{Eq.2.6})$$

Où, U est la fonction inconnue et g_0 la valeur de la fonction définie le long de la frontière.

Condition de Neumann

Elle nous renseigne sur la valeur de la composante normale de l'inconnue sur la limite du domaine à étudier. Elle apparaît aussi souvent sur les plans de symétrie :

$$\frac{\partial U}{\partial n} = g_0 \quad (\text{Eq.2.7})$$

Condition mixte Dirichlet - Neumann

C'est une combinaison des deux conditions aux limites de type Dirichlet et Neumann qui s'exprime comme suit

$$aU + b \frac{\partial U}{\partial n} = g_0 \quad (\text{Eq.2.8})$$

a et b , sont des coefficients définis dans le domaine d'étude [27]

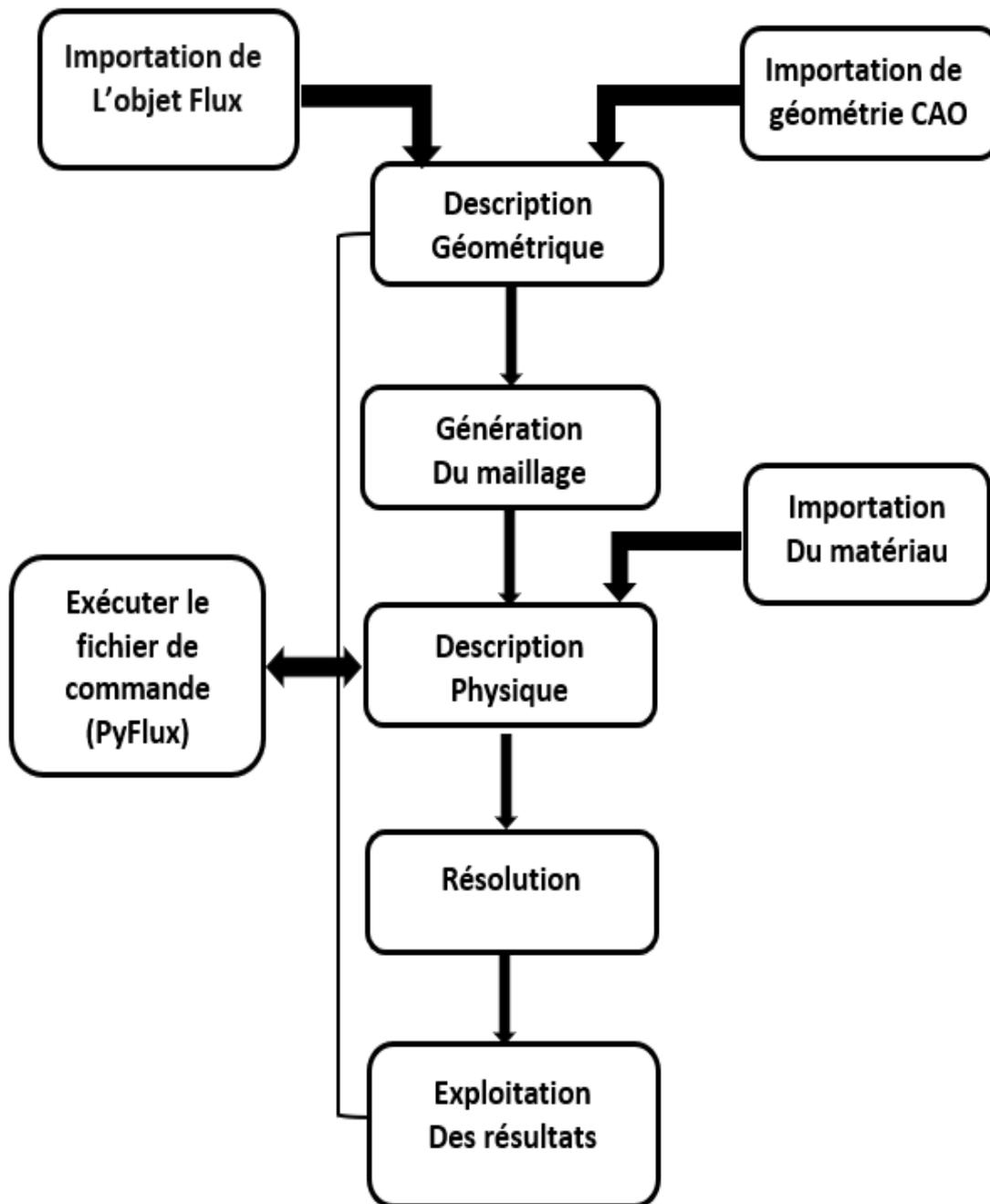


Figure 2.1 : Construction d'un projet Flux (2D/3D)

Chapitre 2 : Modélisation de la machine asynchrone

2.10 Les Applications physiques disponibles dans Flux

Les Applications physiques dans Flux	2D	3D	Skew
Magnéto Statique	X	X	X
Magnétique Transitoire	X	X	X
Magnéto Harmonique	X	X	X
Electro Statique	O	X	X
Conduction Electrique	O	X	X
Electro Harmonique	O	X	X
Thermique Permanent	O	X	X
Thermique Transitoire	O	X	X
Magnéto Harmonique couplée Thermique Transitoire	O	X	X
Conduction Electrique couplée Thermique Transitoire	O	O	O
Electro harmonique couplé thermique transitoire	O	O	O

Tableau 2.1 : application physique dans Flux (2D/3D) [25]

2.11 Module préprocesseur

Il permet à travers plusieurs modules, de définir la géométrie du dispositif à étudier (PREEFLU), de choisir et/ou faire une construction de banque de matériaux (CLSMAT), faire l'affectation des propriétés physiques aux différents régions géométriques prédéfinis (PROPHY) et de définir le schéma et /ou les données du circuit électrique (CIRFLU), Il permet aussi d'avoir un maillage automatique d'une géométrie 2d prédéfinie (PREFLU).

2.12 Module processeur

Ce module est constitué en principe d'un module de résolution 2D (SOLVER_2D) des différents modèles usuels de l'électromagnétisme et des problèmes thermiques

2.13 Module post-processeur de FLUX-2d(PostPro-2D)

Ce module où on trace les équipotentielles ou les lignes de flux, le maillage, la géométrie et les courbes 2D ou 1D à partir d'un chemin prédéfini. L'une de ces fonctions est de calculer des grandeurs globales telles que le couple ou la force appliqués à un contour fermé, les inductions, les flux, les inductances, etc... [26]

2.14 Les différents modules du logiciel FLUX2D

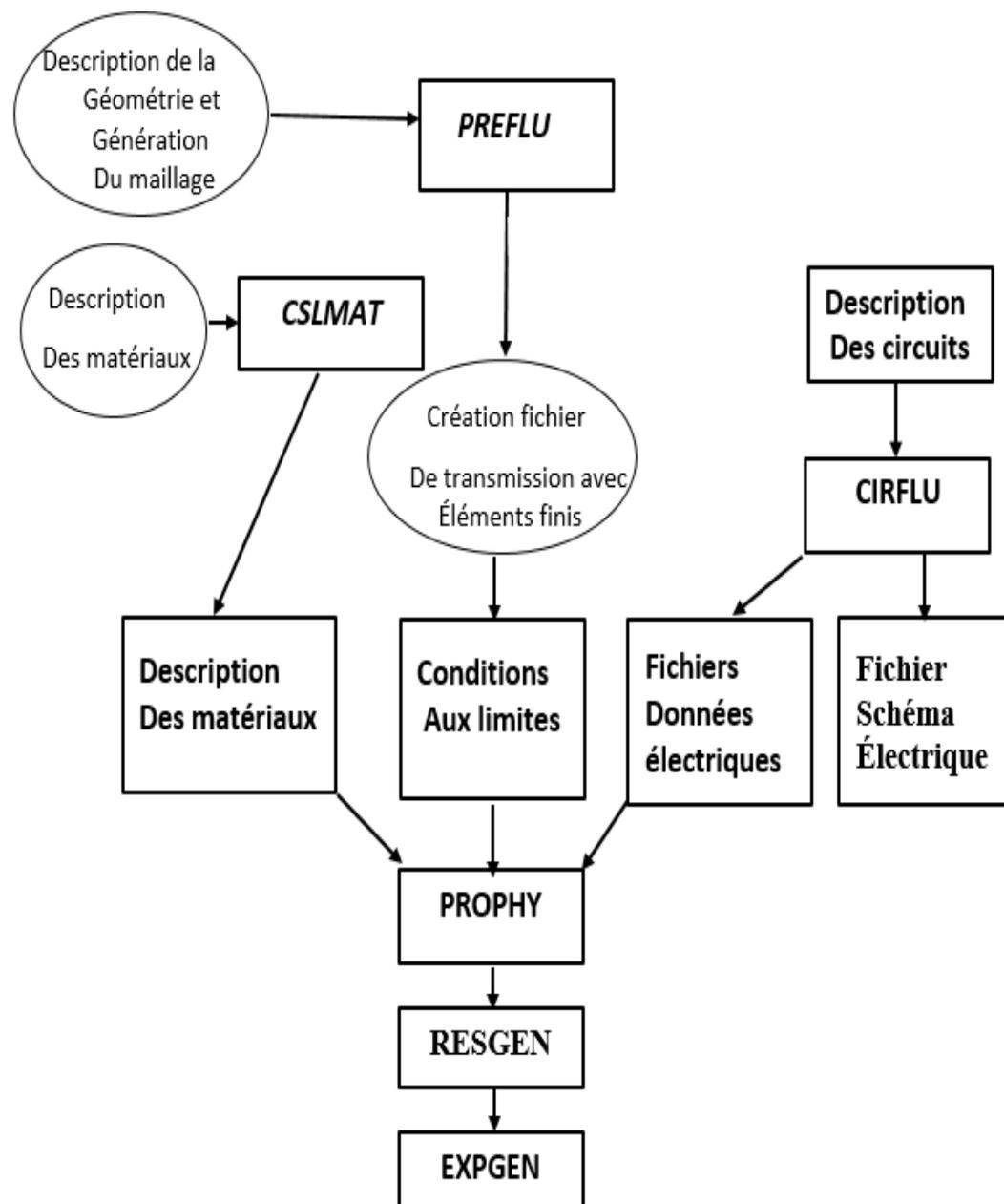


Figure 2.2 : Schéma des différents modules du logiciel FLUX2D

Chapitre 2 : Modélisation de la machine asynchrone

2.15 Paramètres dimensionnels et physiques

Pour réaliser la géométrie de la machine on a besoin d'abord de définir les paramètres dimensionnels afin de calculer les grandeurs désirées.

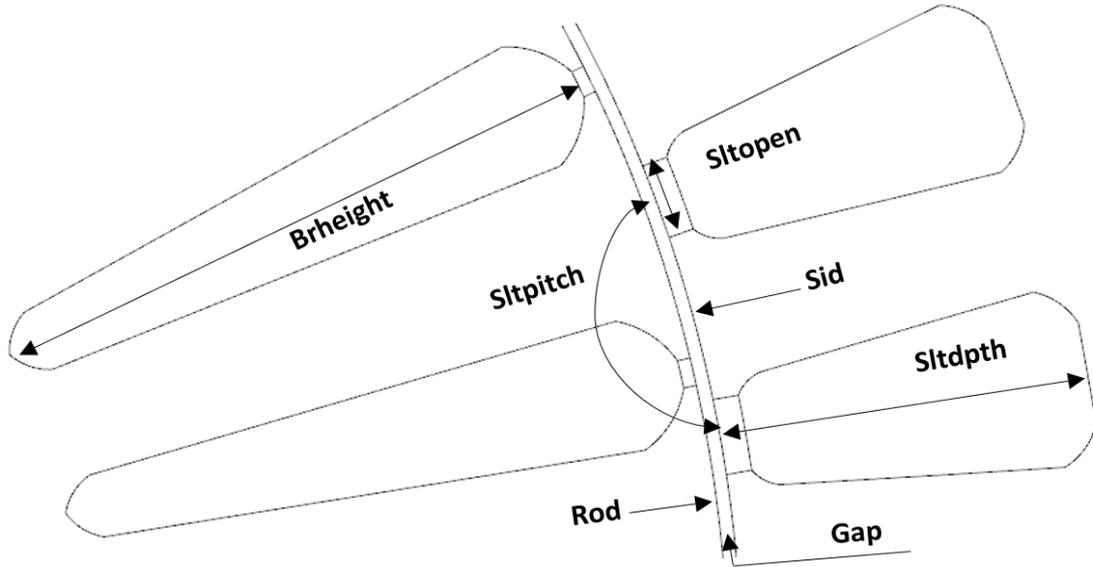


Figure 2.3 : Quelques paramètres géométriques du stator et rotor

Les paramètres géométriques de la machine sont indiqués dans le tableau :

Nombre	Nom	Commentaire	Valeur
1	Npôle	Nombre de pôle	2
2	Nslot	Nombre d'encoche	36
3	Nbar	Nombre de bar	28
4	Rid	Diamètre d'arbre	33 mm
5	Rod	Diamètre du rotor	109 mm
6	Sid	Diamètre intérieur de stator	110 mm
7	Sod	Diamètre extérieur du stator	168 mm
8	Gap	L'entrefer	0,5 mm
9	Lm	Longueur de Moteur	126 mm
10	Sltdpth	Profondeur d'encoche	14,5 mm
11	Sltopen	Ouverture d'encoche	3 mm
12	Sltpitch	Pas d'encoche	10°
13	Brheight	Hauteur du barre rotorique	24,5 mm

Tableau 2.2 : Les paramètres géométriques de la machine

Chapitre 2 : Modélisation de la machine asynchrone

2.16 Géométrie

La géométrie de la machine asynchrone est une tous simplement une liaison entre des points avec des segments et des arcs.

Les étapes à suivre pour sa réalisation sont :

- Création des systèmes de coordonnées (Systèmes des coordonnées principales, Systèmes de travail, systèmes locaux)
- Introduction les points en respectant le types de coordonnées de système.
- Introduction des segments et des arcs.
- Connexion des segments et les arcs en formants des surfaces fermé pour la création des faces.

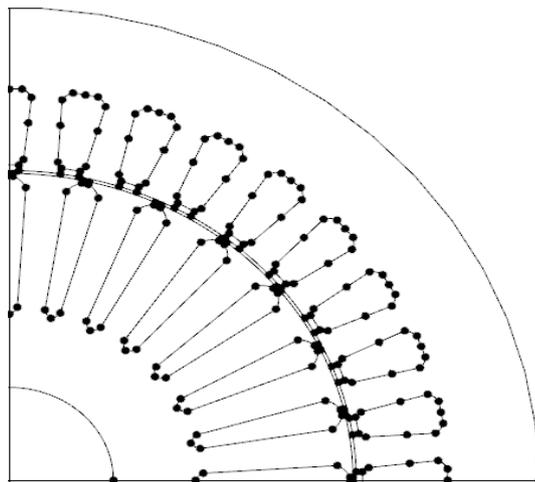


Figure 2.4 : Représentation d'un quart de la géométrie

2.17 Création des matériaux

L'accès à la base de données (CSLMAT) nous permettra de créer des nouveaux matériaux, donc on a créé les deux matériaux suivants :

- Aluminium (barres rotoriques) Résistivité électrique : $0.278 e^{-7}$ Ohm.m
- Fer (circuits magnétique) valeur de saturation magnétique : 2.07 Tesla.

Chapitre 2 : Modélisation de la machine asynchrone

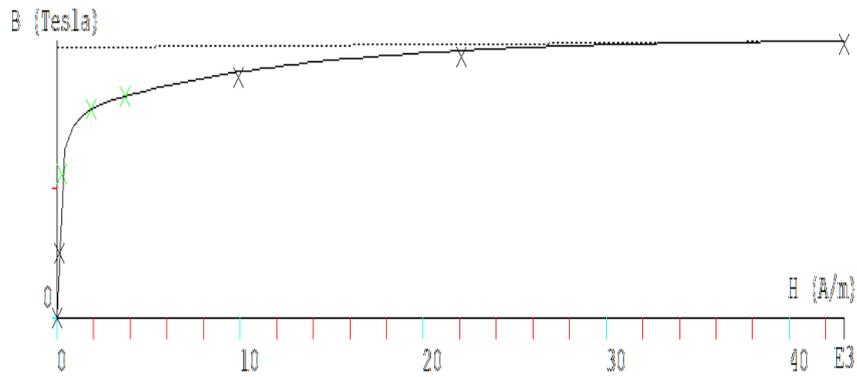


Figure 2.5 : Courbe saturation magnétique du fer

2.18 Circuit électrique

Le circuit électrique de la MAS il contiennent des effets d'extrémités. Résistance de tête de bobine, anneau de court-circuit et inductance.

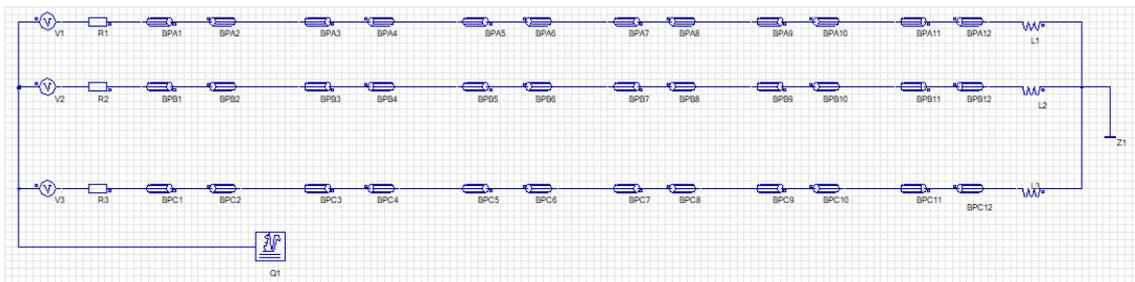


Figure 2.6 : Schéma de circuit électrique équivalent

2.19 Création des régions

Les régions de surfaces sont créées en entrant des noms, des commentaires reflétant les propriétés des matériaux, des composants de circuit, des ensembles mécaniques et des Couleurs.

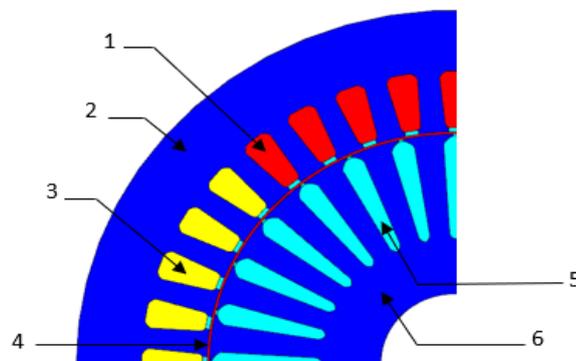


Figure 2.7 : Affectation des régions surfacique

Chapitre 2 : Modélisation de la machine asynchrone

Le tableau indique les caractéristiques de chaque région.

Nombre	Nom	Matériaux utilisés	L'ensemble mécanique
1	L'encoche du l'enroulement b	Cuivre	Fix
2	Stator	Fer	Fix
3	L'encoche du l'enroulement a	Cuivre	Fix
4	L'entrefer	Air	Entrefer
5	Barre rotorique	Aluminium	Mouvement
6	Rotor	Fer	Mouvement

Tableau 2.3: Caractéristique de chaque région surfacique

2.20 Le maillage

Dans cette partie on a créé trois points de maillage et les appliquer aux points d'encoche statorique et la barre de rotorique, nous pouvons ajuster ou contrôler la densité de maillage via ces points.

Nom du point	Commentaire	Valeur (mm)	Couleur
Small	Maillage de grande dimension	26,39	Rouge
Medium	Maillage de dimension moyenne	2,57	Turquoise
Large	Maillage de petite dimension	0.25	Jaune

Tableau 2.4 : les points de maillage

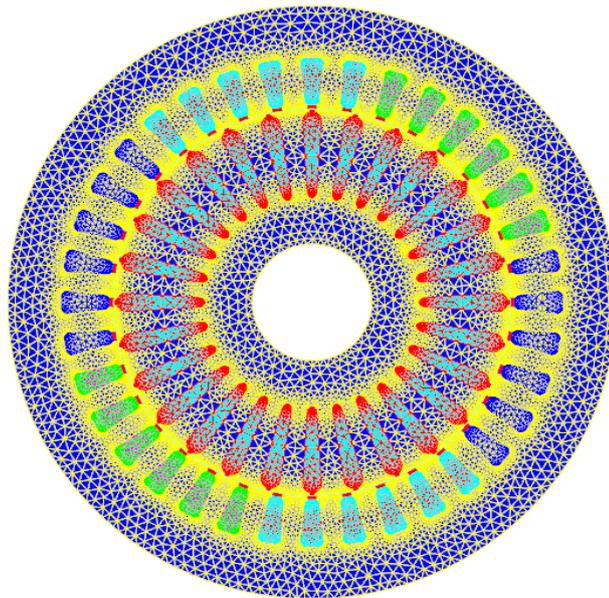


Figure 2.8 : représentation de maillage

Chapitre 2 : Modélisation de la machine asynchrone

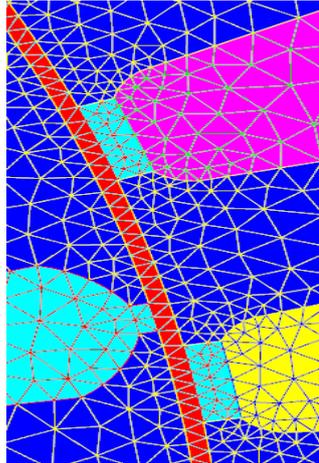


Figure 2.9 : Maillage de l'entrefer

Le tableau représente de maillage des surfaces.

Eléments de maillage	Percentage
Nombre des éléments non évalués	0 %
Nombre des éléments d'excellente qualité	98,9 %
Nombre des éléments de bon qualité	0,81 %
Nombre des éléments de qualité moyenne	0,29 %
Nombre des éléments de qualité médiocre	0,01 %
Nombre des éléments anormaux	0 %

Tableau 2.5 : Qualité de maillage

Chapitre 2 : Modélisation de la machine asynchrone

2.21 Conclusion

Dans ce chapitre nous avons défini la CAO pour faire l'étude des dispositifs électrotechniques de façon générale et les machines électrique de façon spéciale à partir de logiciel FLUX 2D qu'est basé sur la méthode des éléments finis. Nous avons cité les applications physiques disponibles et les différents modules dans ce logiciel, et on a défini les paramètres dimensionnels de la machine asynchrone, la géométrie, création des matériaux, création des régions, le circuit électrique et le maillage, ainsi les étapes à suivre pour modéliser la MAS avec ce logiciel.

Chapitre 3 : Résultats De Simulation

3.1 Introduction

Dans ce chapitre nous avons simulé le fonctionnement du moteur asynchrone à cage d'écuréuil à vide et on charge dans les deux cas sains et avec un défaut de court-circuit entre spires dans la même phase à l'aide de logiciel FLUX 2D.

3.2 simulation du moteur

On va simuler le moteur dans deux cas différents.

3.2.1 Modélisation de défaut de court-circuit

Pour modéliser ce défaut on a introduit un switch au schéma électrique de la machine.

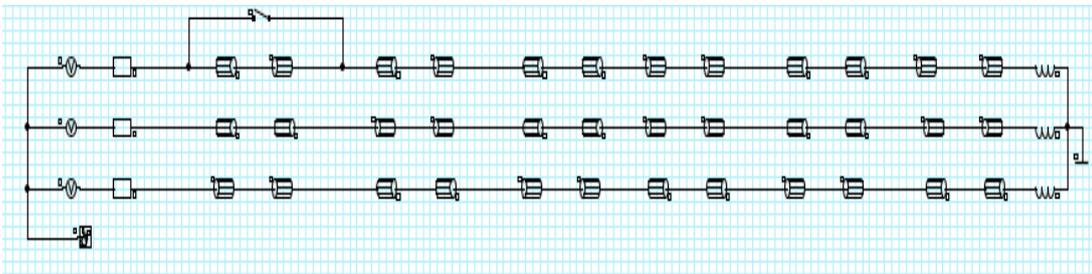


Figure 3.1 : Circuit électrique équivalent

3.2.2 Fonctionnement à vide

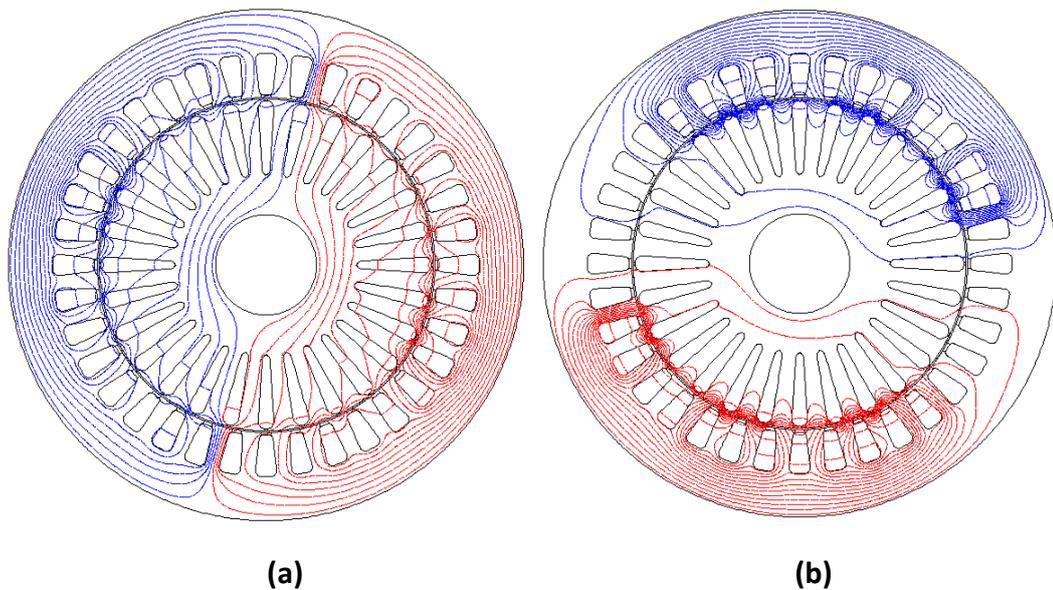


Figure 3.2 : Représentation des équi-flux, (a) Moteur sain, (b) moteur avec court-circuit entre spire

Chapitre 3 : Résultats De Simulation

Interprétation

La distribution des lignes équi-flx de la machine asynchrone fonctionnée à vide dans le cas la machine saine, les deux pôles de la machine sont parfaitement équilibrés, par contre dans le court-circuit la distribution est irrégulière.

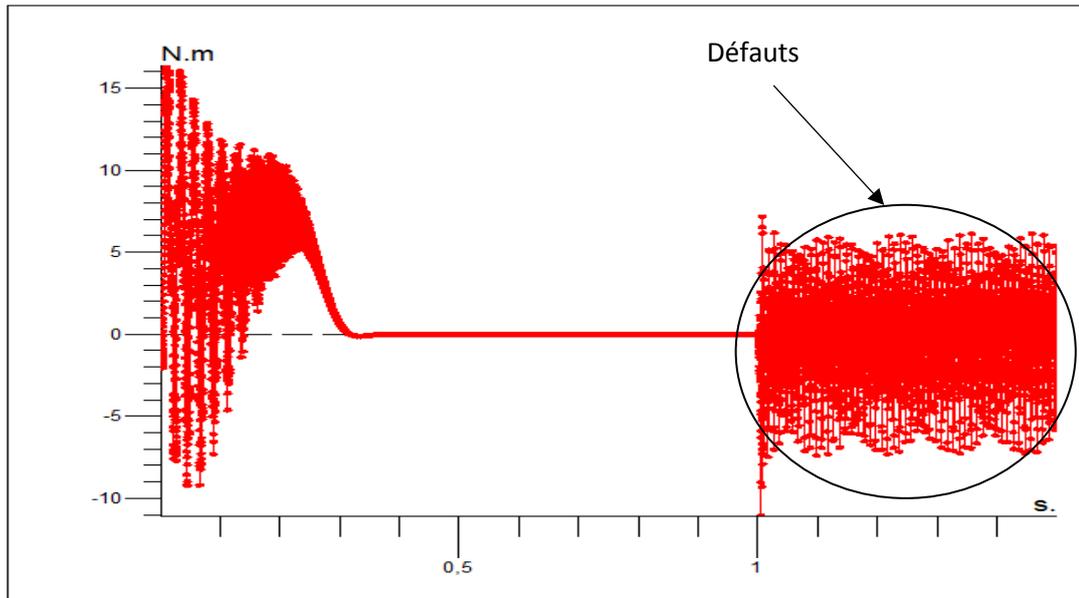


Figure 3.3 : Courbe du couple

Interprétation

On remarque que dans le régime transitoire le couple électromagnétique développé par la machine est oscillatoire et prend une valeur max de 16 (N/m), et en régime permanent [0.3 -1.3s] le couple est nul sauf dans le cas où le switch est fermé après 1s

Chapitre 3 : Résultats De Simulation

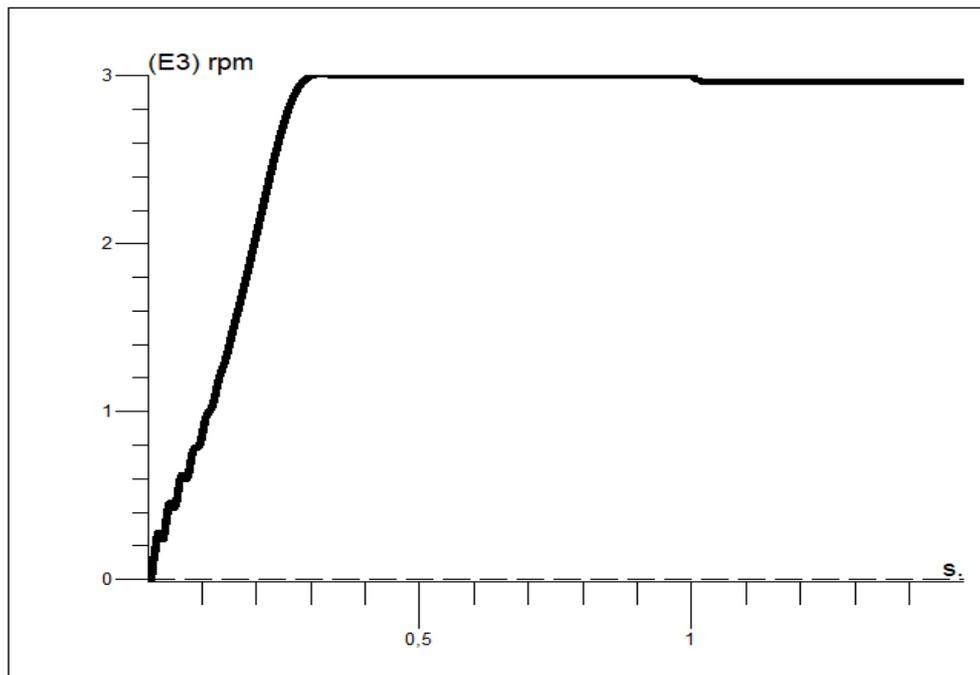


Figure 3.4 : Courbe de la vitesse avec l'apparition d'un court-circuit entre spires

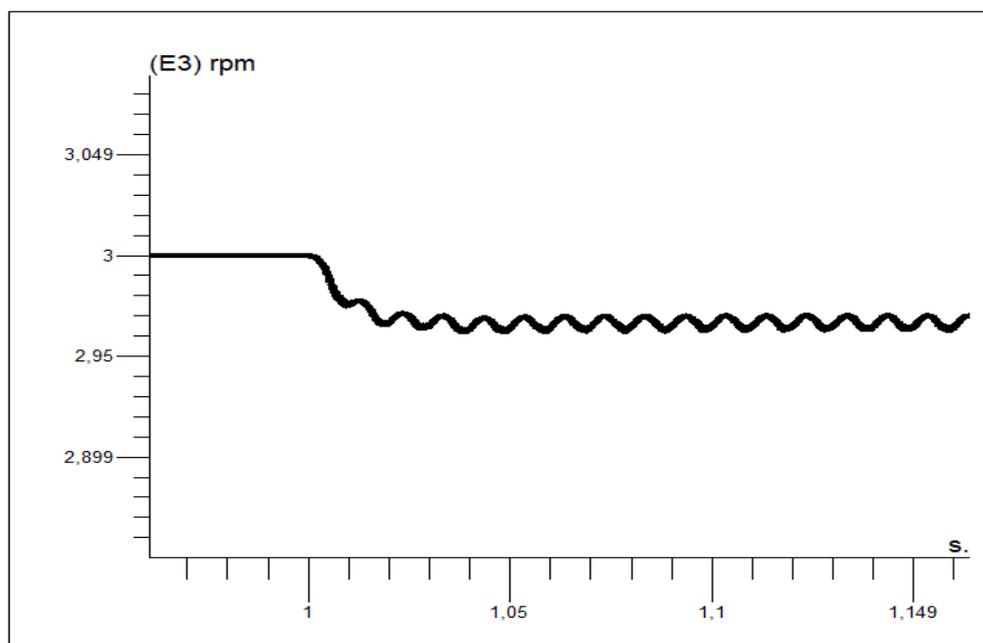


Figure 3.5 : Zoom sur la courbe de la vitesse

Interprétation

La vitesse de la machine prend une valeur de 3000 (tr/m) en régime permanent jusqu'à l'instant de défaut (1s) on remarque une petite diminution et oscillation de vitesse.

Chapitre 3 : Résultats De Simulation

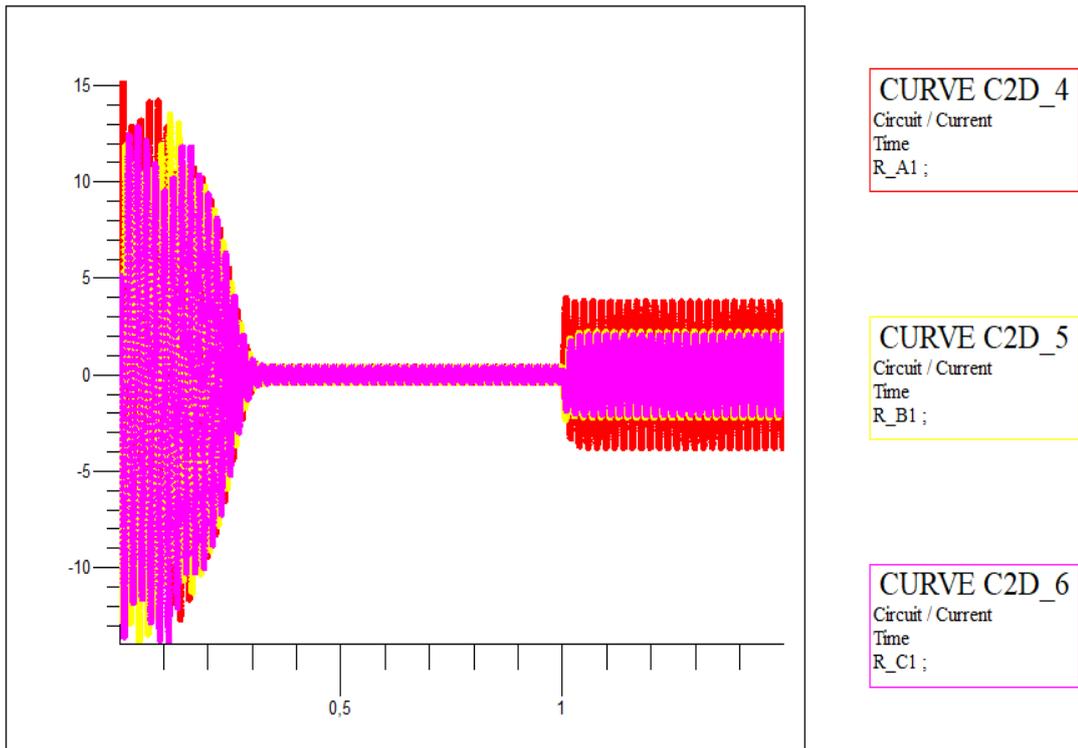


Figure 3.6 : Courbes des courants statoriques superposées

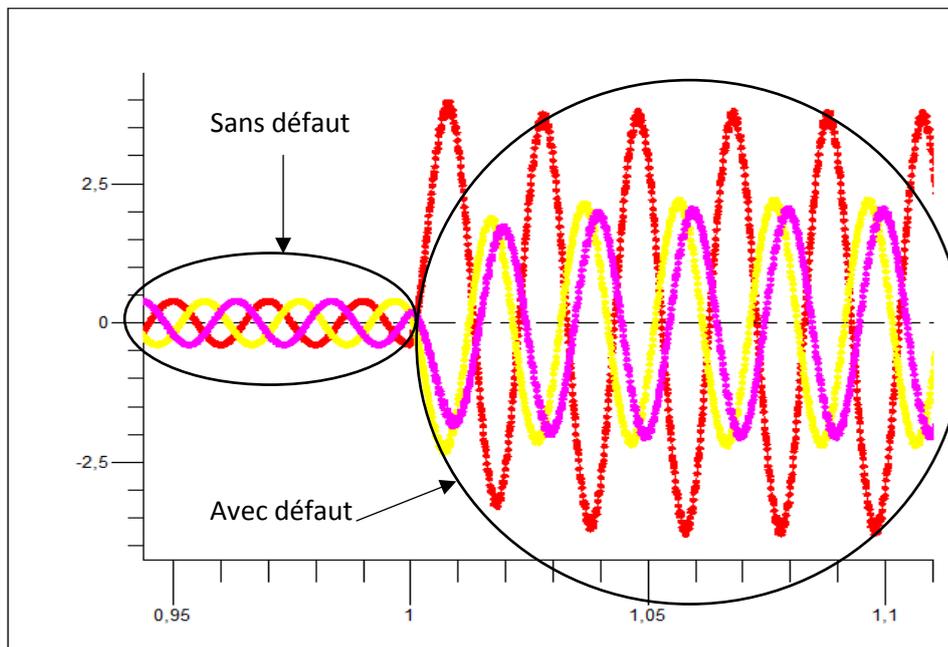


Figure 3.7 : Zoom sur les courbes des courants des phases

Interprétation

Les trois courants statoriques de la machine asynchrone saine sont de la même amplitude et même déphasage entre eux. Par contre dans le cas où il y a un défaut (court-circuit) ces courants sont amplifiés par rapport au cas du moteur sain ainsi

Chapitre 3 : Résultats De Simulation

l'amplitude du courant dans la phase de défaut est supérieure au courant dans les deux autres phases et n'ont pas le même déphasage.

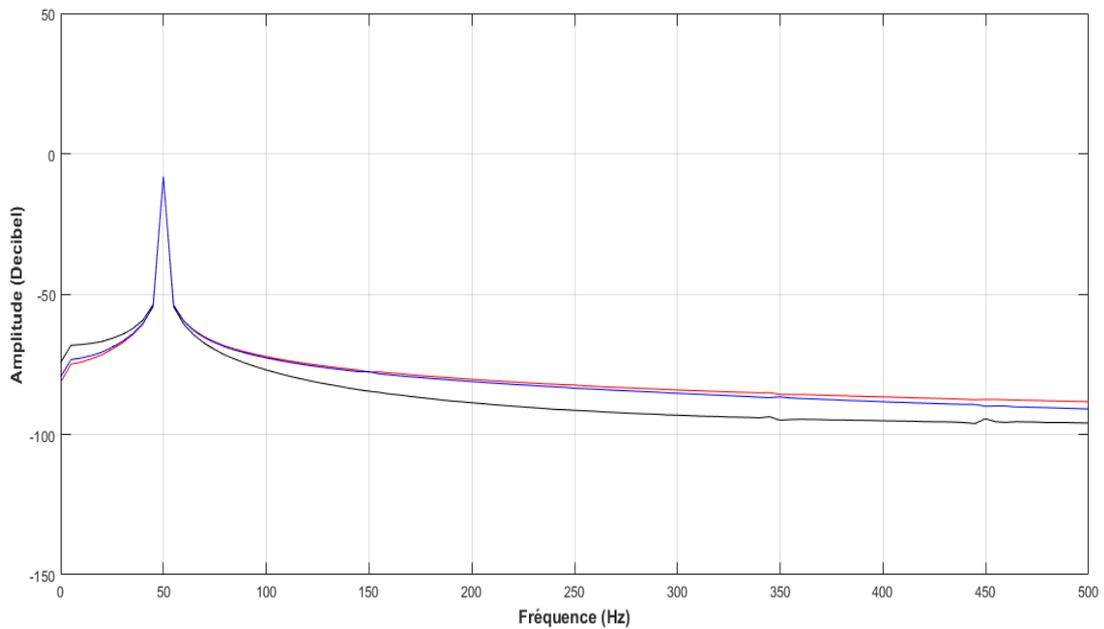


Figure 3.8 : Spectre des courants des phases (Sain)

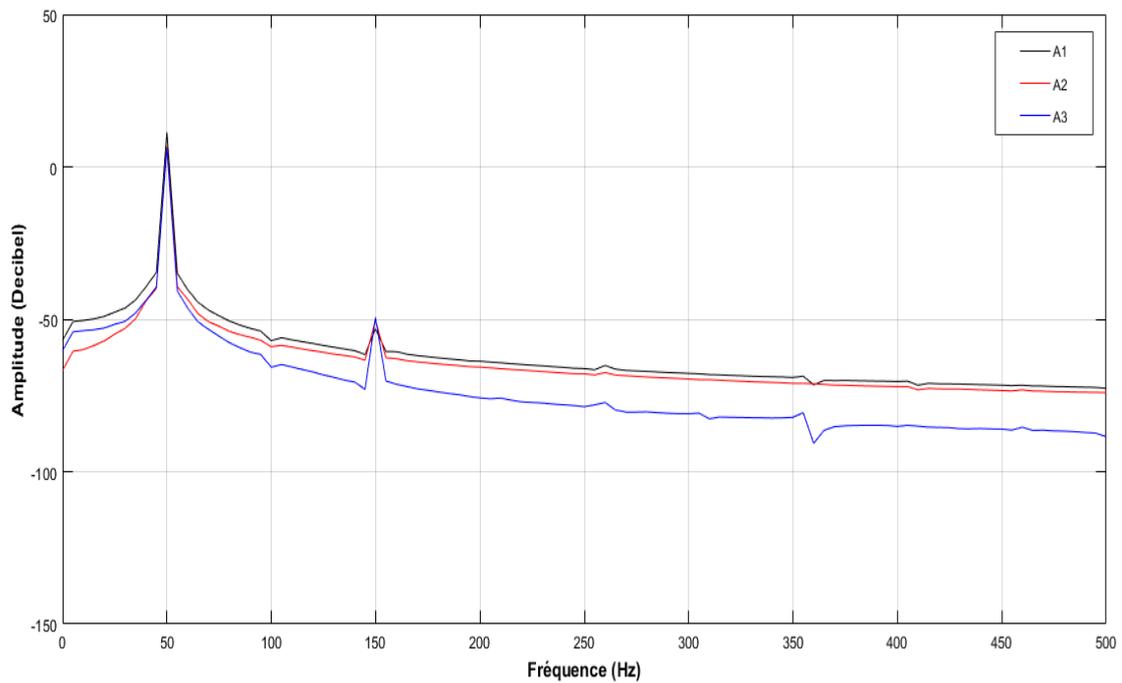


Figure 3.9 : Spectres des courants des phases (Défauts)

Chapitre 3 : Résultats De Simulation

Interprétation

La machine saine présentée par la figure (3.8) a une seule harmonique fondamentale de 50Hz Par contre la machine défailante représenté par la figure (3.9) à deux harmoniques dont l'une fondamentale de 50 Hz et l'autre de 150 Hz.

3.2.3 Fonctionnement en charge

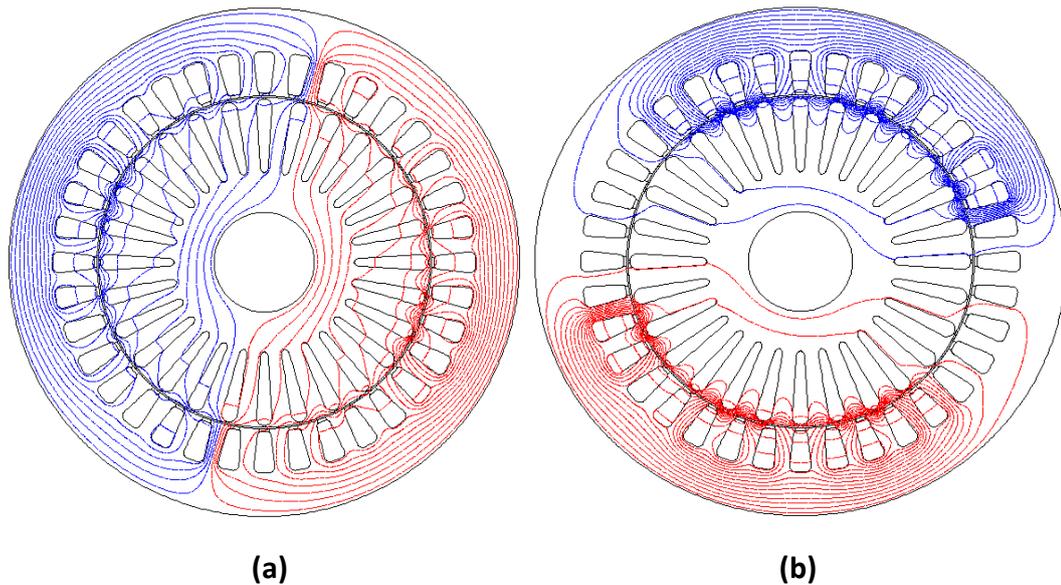


Figure 3.10 : Représentation des équi-flux, (a) Moteur sain, (b) moteur avec court-circuit entre spires

Interprétation

La répartition des lignes de flux fait apparaître clairement l'effet du court-circuit. Ceci se manifeste par un déséquilibre de la répartition des équi-flux et par le resserrement de ces lignes aux alentours des encoches où se trouvent les conducteurs court-circuités.

Chapitre 3 : Résultats De Simulation

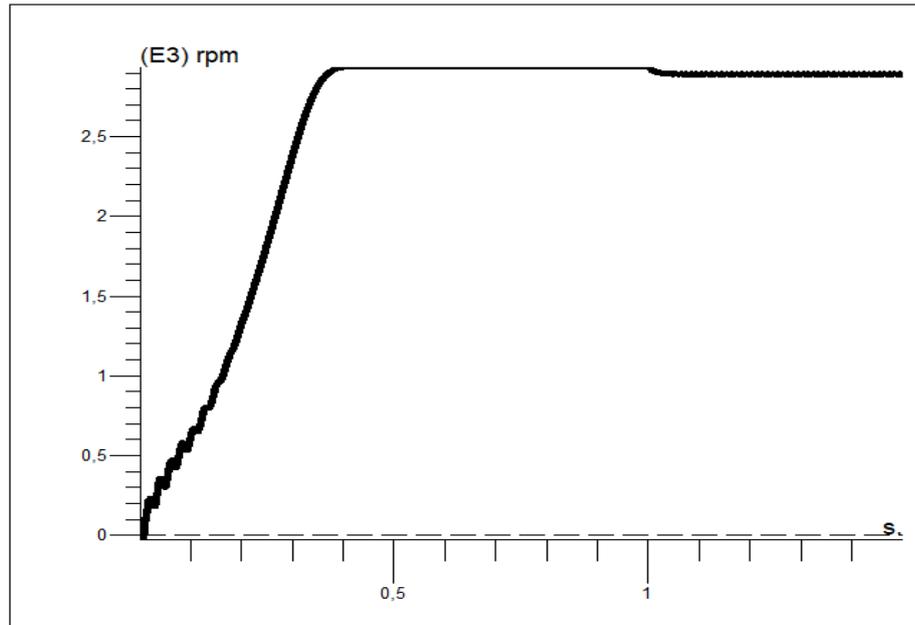


Figure 3.11 : Courbe de la vitesse

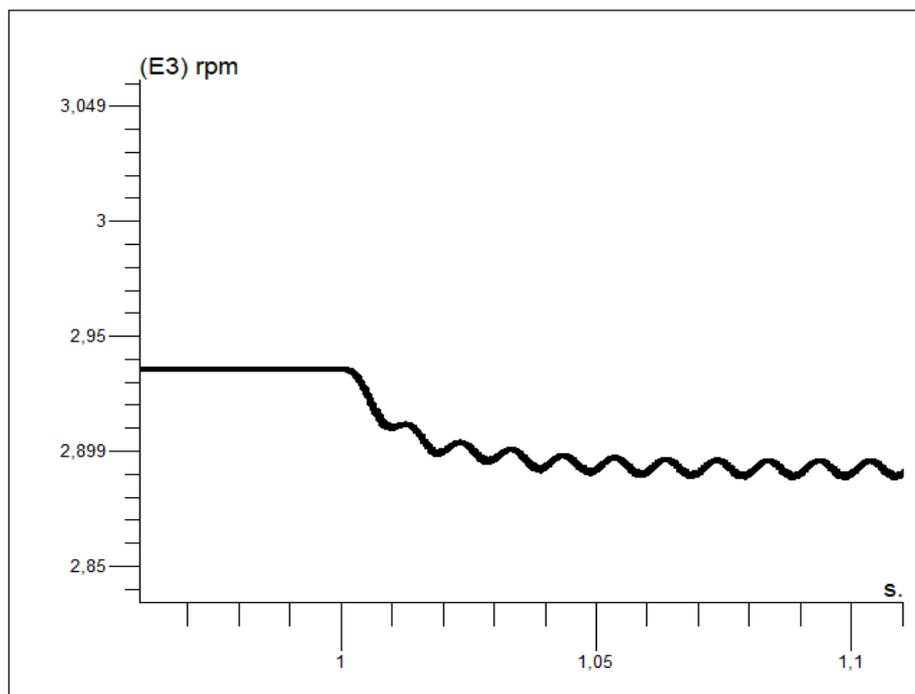


Figure 3.12 : Zoom sur la courbe de la vitesse

Interprétation

La simulation de la vitesse d'une MAS en charge en deux cas sans défaut et avec un court-circuit entre spire sont représenté consécutivement par Les figure (3.11) et figure (3.12), on remarque que la machine en charge tourne à une vitesse de 2873.5(tr/m) et Lorsque on applique le défaut à partir d'une seconde (1s) la vitesse de la machine diminue et provoque des petites oscillations.

Chapitre 3 : Résultats De Simulation

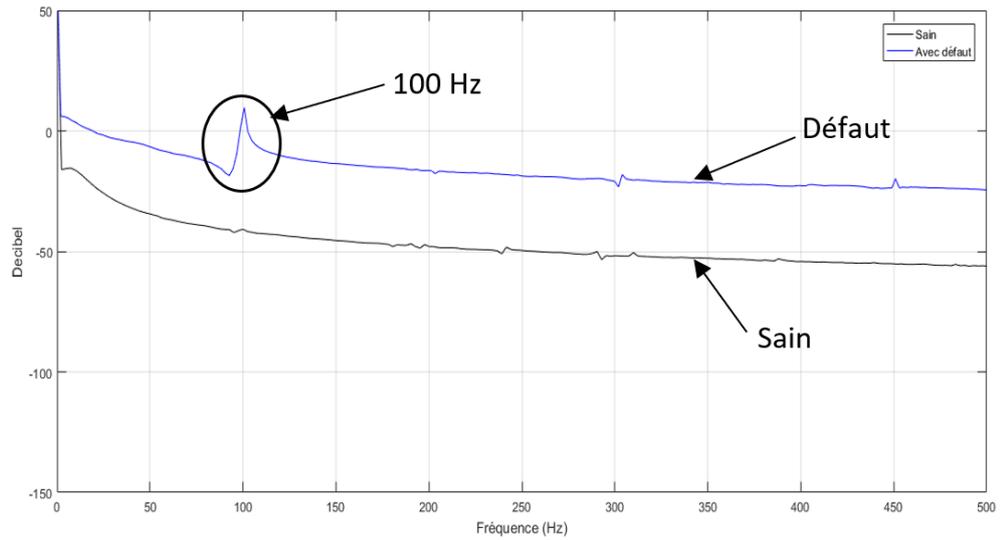


Figure 3.13 : Spectre de la vitesse

Interprétation

Nous remarquons que la vitesse du moteur dans l'état sain n'a aucune harmonique, par contre dans le cas de défaut on constate une harmonique de 100 Hz.

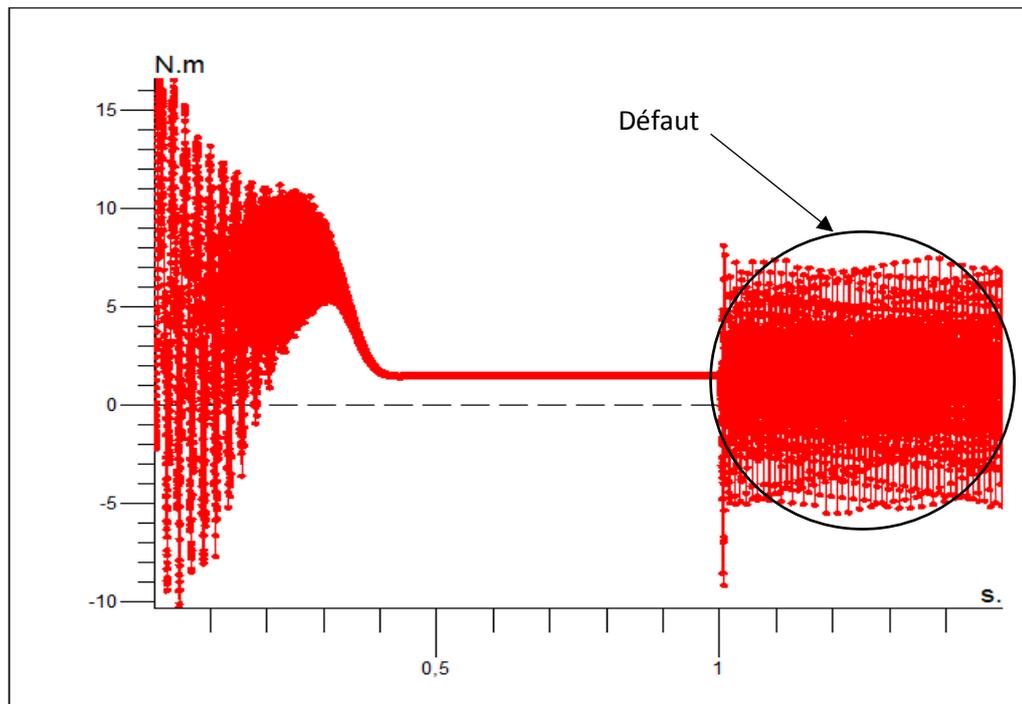


Figure 3.14 : Courbe du couple

Chapitre 3 : Résultats De Simulation

Interprétation

Le couple a des valeurs importantes en régime transitoire due au moment d'inertie de moteur au démarrage et lorsque la vitesse se stabilise à sa valeur final le couple rendre à une valeur égale à la charge résistive 2 (N.m), et après 1s le moteur se fonctionne sous une court- circuit entre spire le couple prend une forme d'harmoniques et sa valeur augmente jusqu'à 8 (N.m).

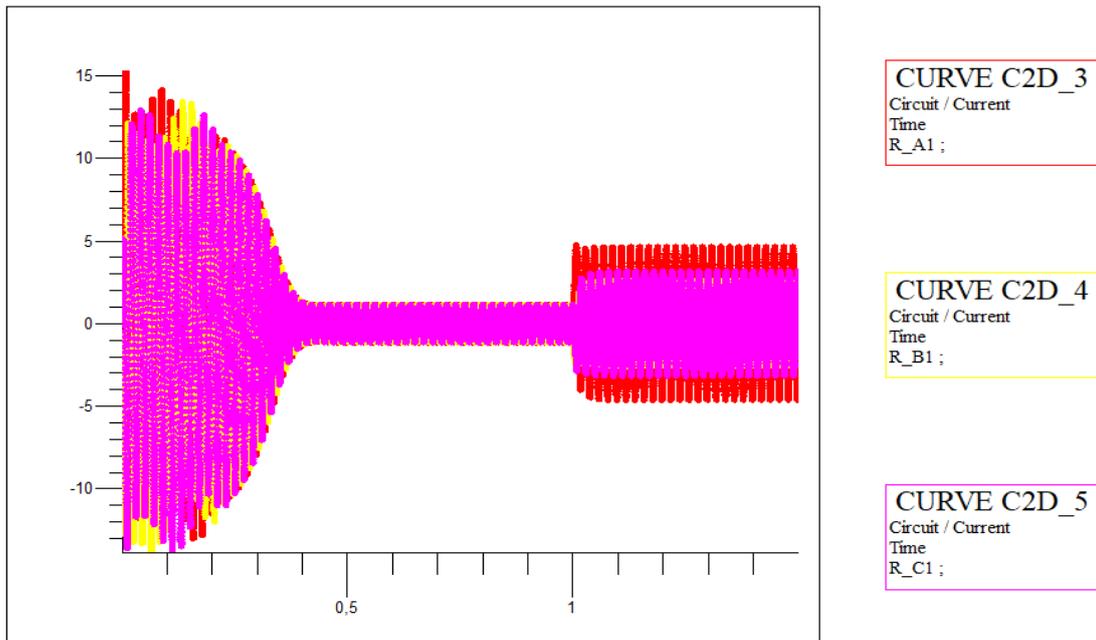


Figure 3.15 : Courbe des courants statoriques superpose

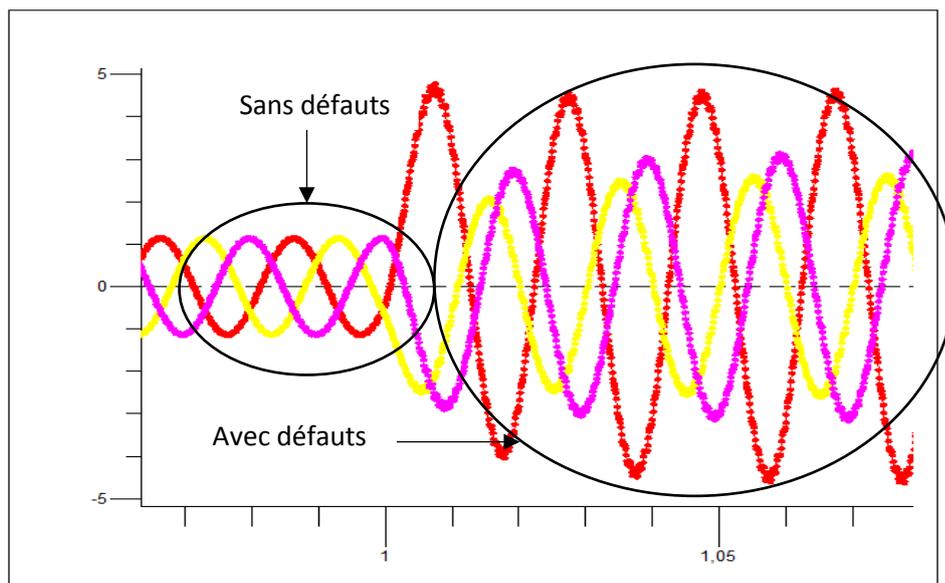


Figure 3.16 : Zoom sur les courbes des courants statorique

Chapitre 3 : Résultats De Simulation

Interprétation

Nous constatons que dans le régime transitoire les courants de démarrage des trois phases sont très grands 15(A) par rapport au fonctionnement à vide, et en régime permanent le courant nominale égale à 1.2(A), à partir du moment de la défaillance du court-circuit dans la phase A, on remarque un déséquilibre en amplitude et en déphasage le courant $I(a)=5A$, $I(b)=2.5A$ et $I(c)=3A$.

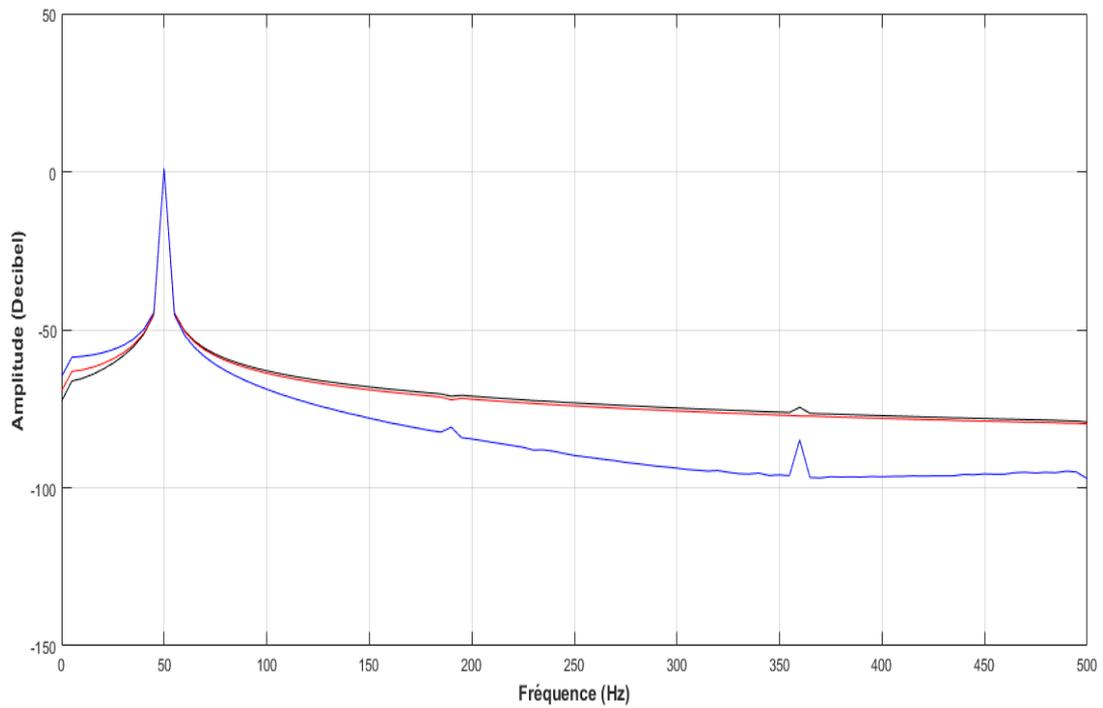


Figure 3.17 : Spectres des courants des phases (Sain)

Chapitre 3 : Résultats De Simulation

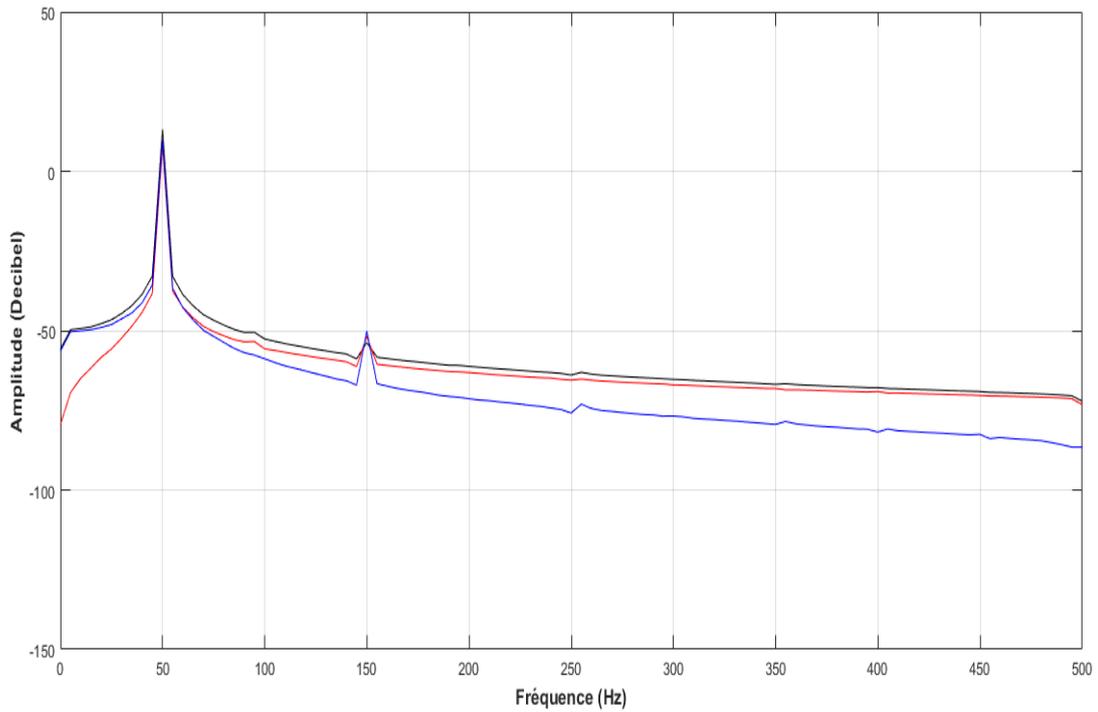


Figure 3.18 : Spectres des courants des phases (Défaut)

Interprétation

Les figures (3.16) et (3.17) représenté les spectres des courants des phases dans les deux cas sains et avec défaut de court-circuit entre spire en ordre.

Nous avons remarqué que dans le défaut il y a une création de troisième harmonique à 150Hz.

3.3 Conclusion

Dans ce chapitre nous avons fait une simulation du moteur asynchrone dans deux cas différents sain et avec un défaut de court-circuit.

Nous avons observé l'effet de ce défaut sur les courants statoriques du moteur et le rendement mécanique (couple électromagnétique et vitesse).

Chapitre 4 : Etude expérimentale

4.1 Introduction

Dans ce chapitre nous avons examiné les grandeurs réelles de la MAS sain et avec un court-circuit entre spires à vide et en charge.

Tout d'abord en va commencer par la préparation qui a été fait pour modéliser ce défaut pratiquement et puis nous montrons tous les résultats expérimentés. À la fin du ce travail, nous confirmons la validité des résultats de simulation.

4.2 Travail pratique

Pour simuler un défaut de court-circuit sur un moteur on a besoin de modifier son bobinage. Donc nous avons ramené un moteur s'est enroulements sont totalement endommagé figure (4.1) et on le rebobine d'une façon qui nous permettre de simuler un défaut de court-circuit entre spires figure (4.3), figure (4.4) et figure (4.5).



Figure 4.1 : Moteur endommagé

4.3 Caractéristiques d'ancien moteur

Nombre d'encoche : 36

Nombres des barres rotoriques : 28

Nombre de spires d'origine : 32



Figure 4.2 : Plaque signalétique du moteur

4.4 Caractéristique du nouveau moteur

Pour créer un court-circuit entre spires d'une phase, on élimine l'un de sous bobine, deux sous bobine ou bien trois selon le pourcentage de court-circuit désiré (4%, 8% ou bien 12%).

On a 36 encoches, 12 encoche par enroulement, dans notre nouveau bobinage chaque un pair d'encoche est occupé par 20 spires de conducteur bobiné. Donc on a 120 spires en totale pour chaque enroulement. Alors pour créer 4% de court-circuit entre spires il faut que la sous bobine se compose de 5 spire de conducteur bobiné.



Figure 4.3 : Moteur bobiné

Chapitre 4 : Etude expérimentale

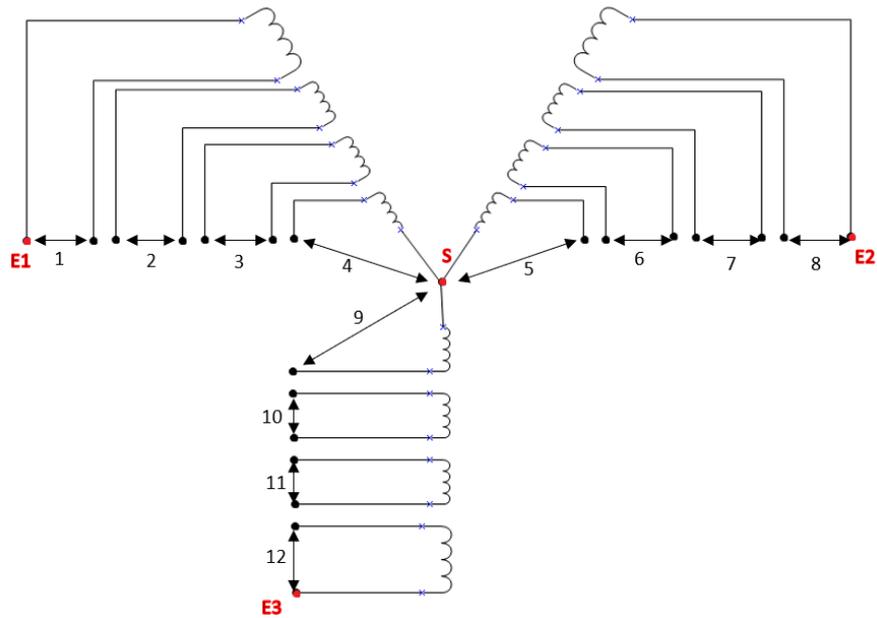


Figure 4.4 : Nouveau schéma du bobinage

E1 : entrée de l'enroulement a

1 : l'enroulement a (05 bobines)

2,3,4 : sous bobines de seizième bobine de l'enroulement a

E2 : entrée de l'enroulement b

5,6,7 : sous bobines de seizième bobine de l'enroulement b

8 : l'enroulement b (05 bobines)

E3 : entrée de l'enroulement c

9,10,11 sous bobines de seizième bobine de l'enroulement c

12 : l'enroulement c (05 bobines)

S : sortie des tris enroulements.

Le couplage du moteur est fait en étoile Figure (4.3) avec une tension réduite de 127 Volt.

Chapitre 4 : Etude expérimentale



Figure 4.5 : Le banc d'essais comprenant le moteur, génératrice et les appareils de mesures

4.5 Moteur sain à vide

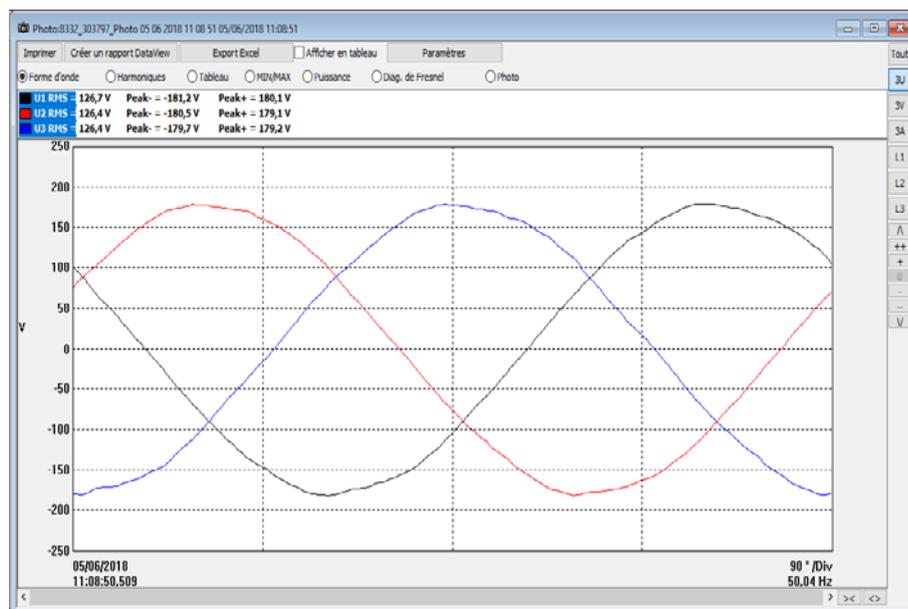


Figure 4.6 : Tension d'alimentation

Commentaire

Les trois tensions sont équilibrées et elles ont la même amplitude 127 (v)

Chapitre 4 : Etude expérimentale

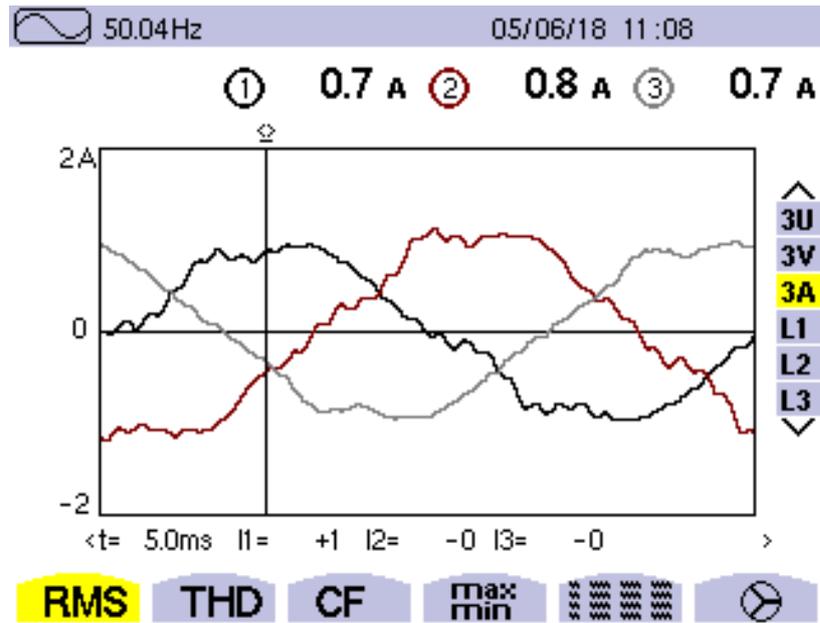


Figure 4.7 : Courbes des courants des phases

Commentaire

Les courants de phases sont de la même amplitude 0.7 (A), mais en remarque des perturbations due aux harmoniques d'espace. Car le bobinage de moteur n'est pas parfait.

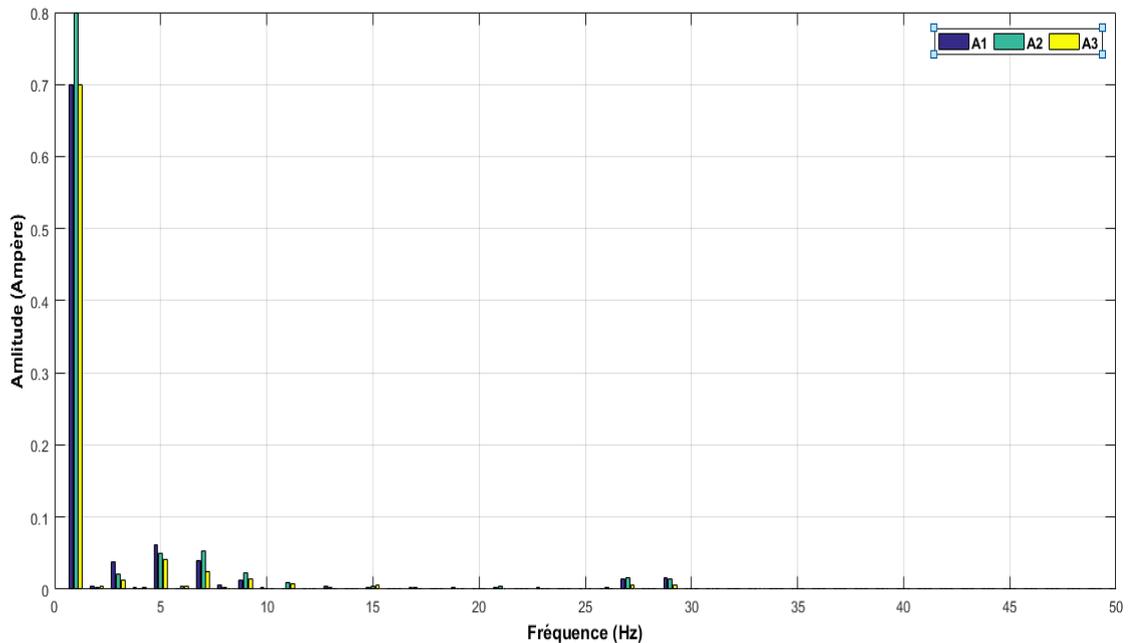


Figure 4.8 : Spectres des courants des phases

Chapitre 4 : Etude expérimentale

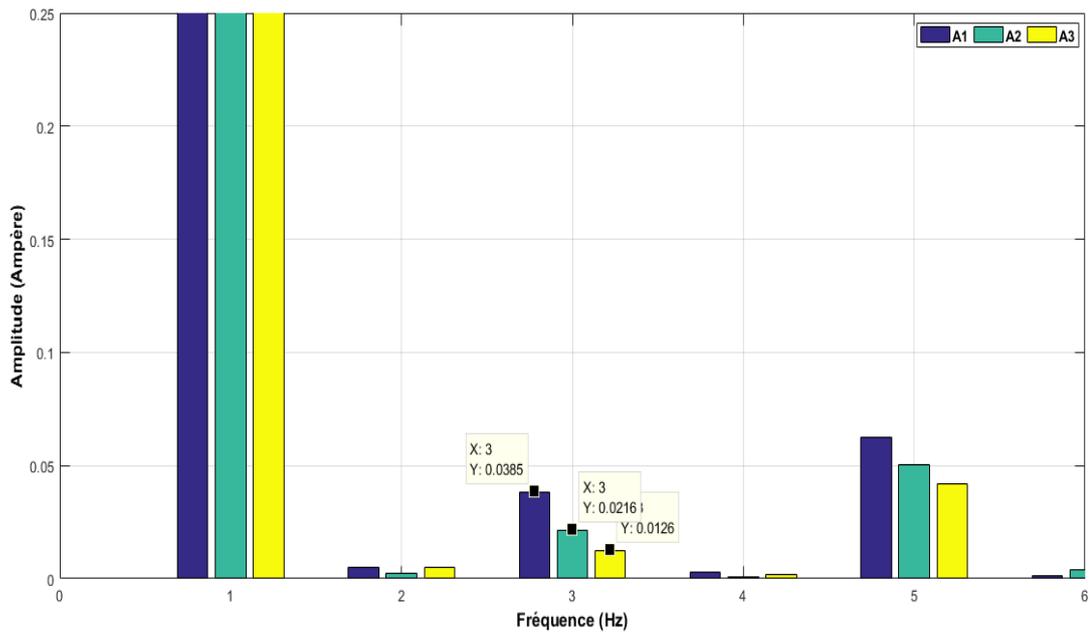


Figure 4.9 : Zoom sur les spectres des courants des phases

4.6 Moteur en court-circuit à vide

Dans les essais suivants le moteur est à vide

4.6.1 Court-circuit entre spires de 04 %

Pour effectuer un court-circuit entre spires de 04% en élimine une seule sous bobine.

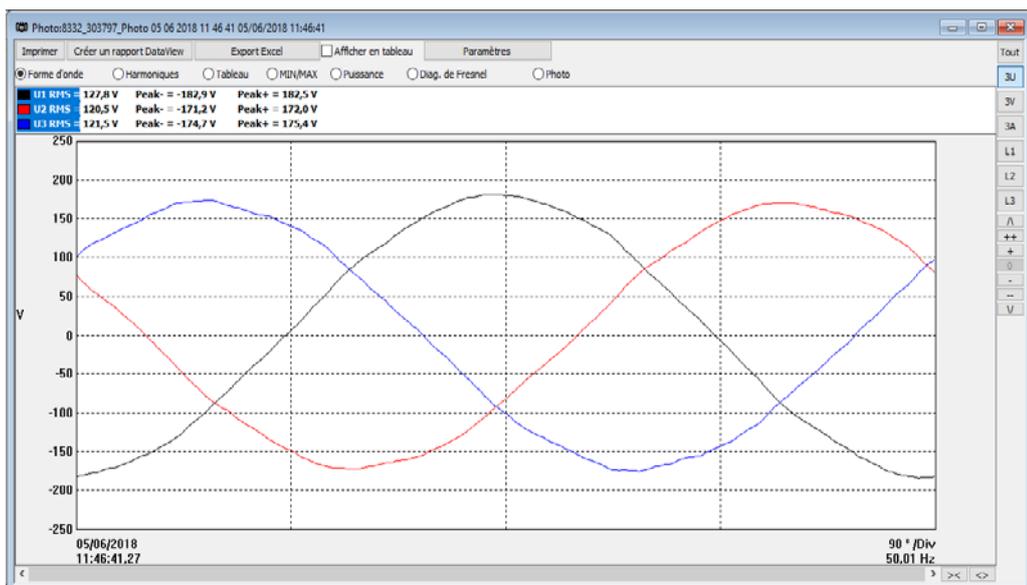


Figure 4.10 : Courbes des tensions d'alimentation

Chapitre 4 : Etude expérimentale

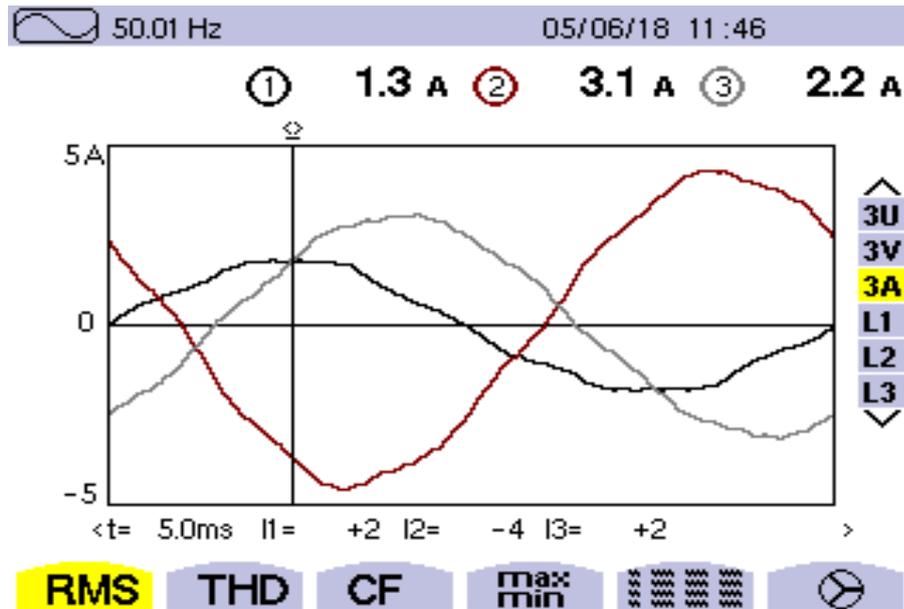


Figure 4.11 : Courbes des courants des phases

Commentaire

Les trois courants statoriques sont déséquilibrés en valeur et en déphasage, le courant au niveau de l'enroulement court-circuité un peu élevé (3.1 A) par rapport aux deux autres.

4.6.2 Court-circuit entre spires de 08 %

Pour effectuer un court-circuit entre spires de 08% on élimine deux sous bobine.

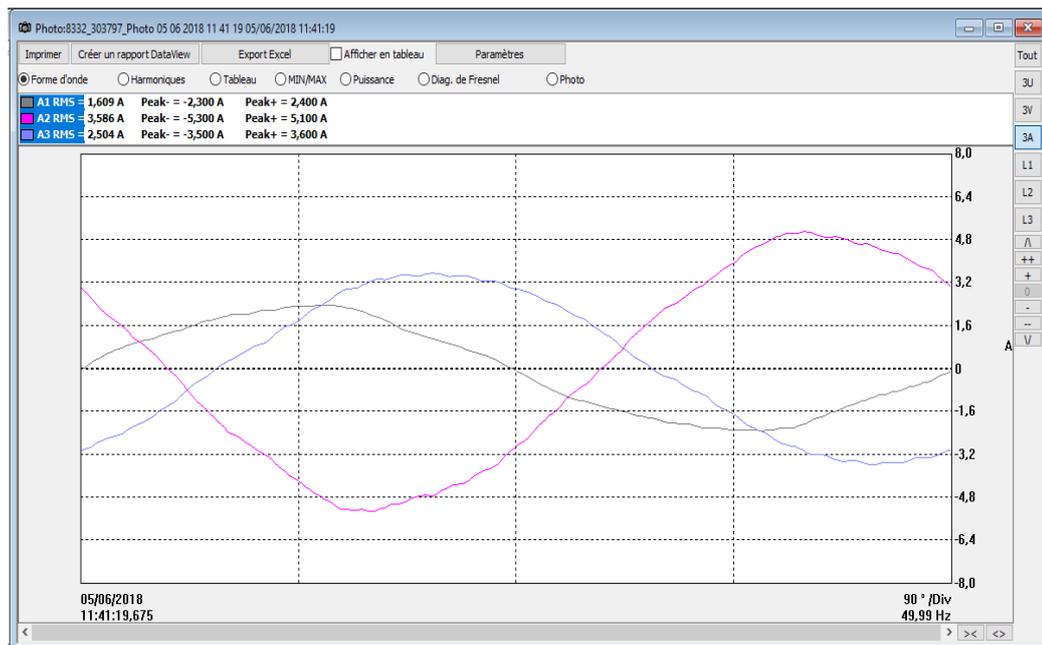


Figure 4.12 : Courbes des courants des phases

Chapitre 4 : Etude expérimentale

Commentaire

On remarque que ces trois courants ont la même forme et le même déphasage ceux des 4% de court-circuit avec une petite augmentation en valeur.

4.6.3 Spectres des courants de Court-circuit entre spires de 04 %

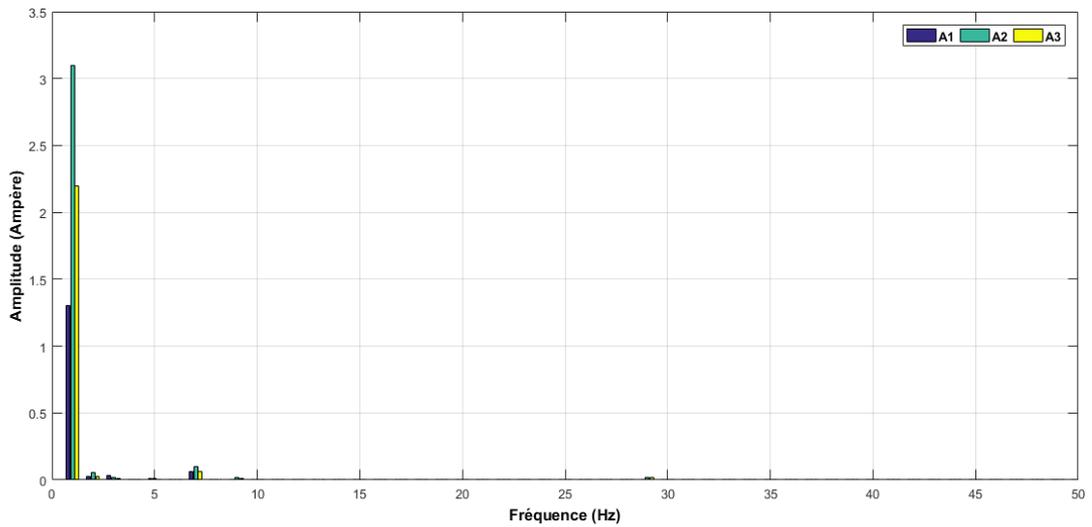


Figure 4.13 : Spectres des courants des phases

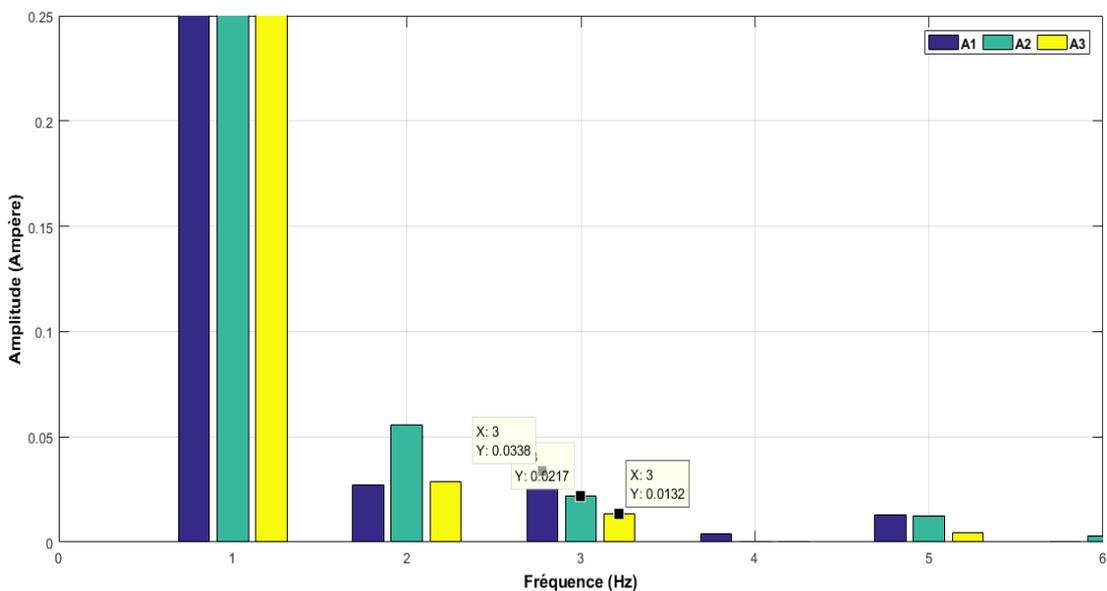


Figure 4.14 : Zoom sur les spectres des courants des phases

Chapitre 4 : Etude expérimentale

4.6.4 Spectres des courants de Court-circuit entre spires de 08 %

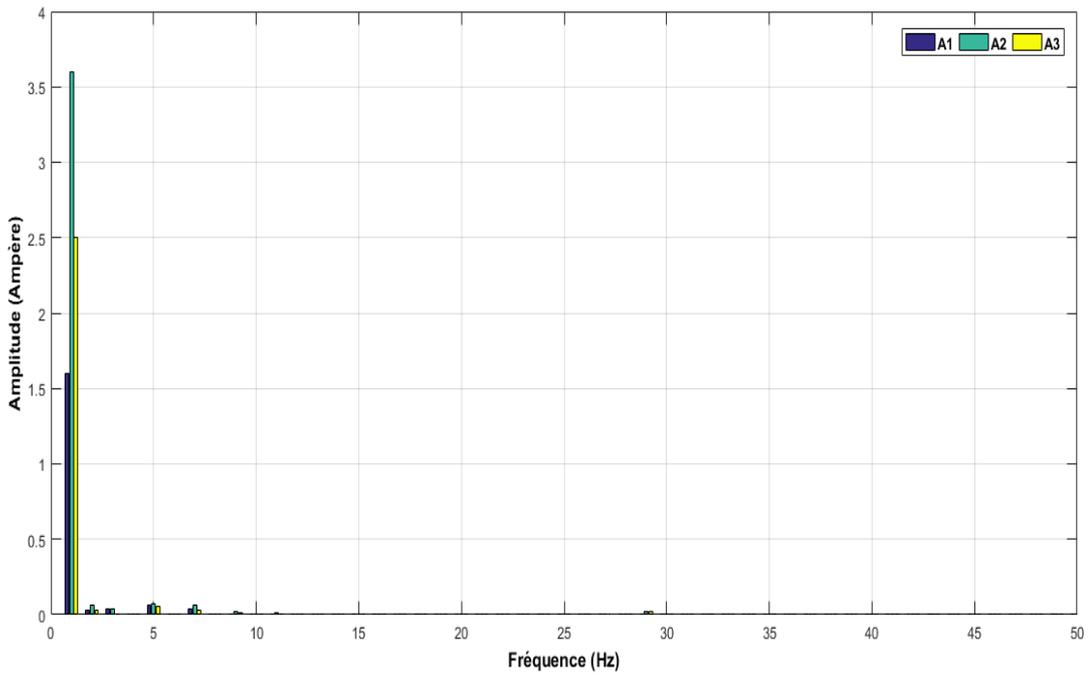


Figure 4.15 : Spectres des courant des phases

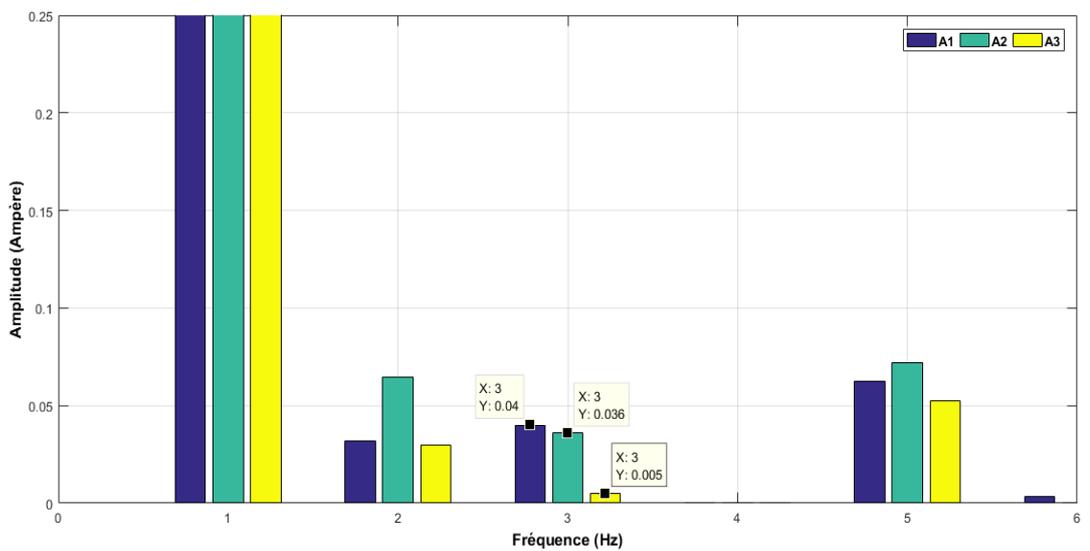


Figure 4.16 : Zoom sur les spectres des courants des phases

Commentaire

Les harmoniques fondamentales restent les mêmes mais nous avons remarqué un changement sur l'amplitude de la troisième harmonique du fréquence 150 Hz et le cinquième harmonique de 250 Hz.

Chapitre 4 : Etude expérimentale

Comparaison entre les deux pourcentages des défauts 04% et 08%

On remarque que plus le pourcentage de court-circuit est grand les amplitudes de l'harmonique trois et l'harmonique cinq augmentent.

4.7 Moteur sain en charge

Le moteur dans cet essai fonctionne en régime sain couplé avec une charge.

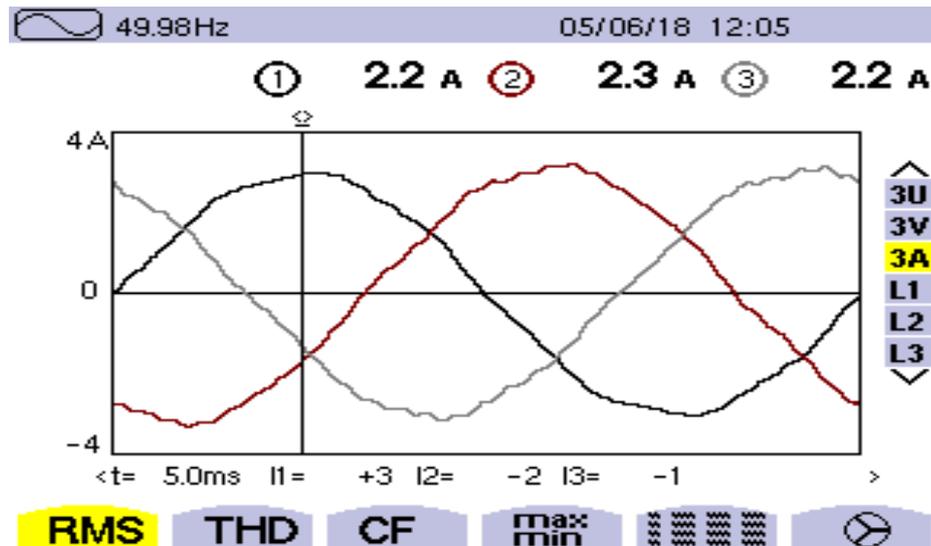


Figure 4.17 : Courbes des courants des phases

4.8 Moteur court-circuité en charge

Dans cet essai le moteur est en charge mais nous avons éliminés une sous bobine.

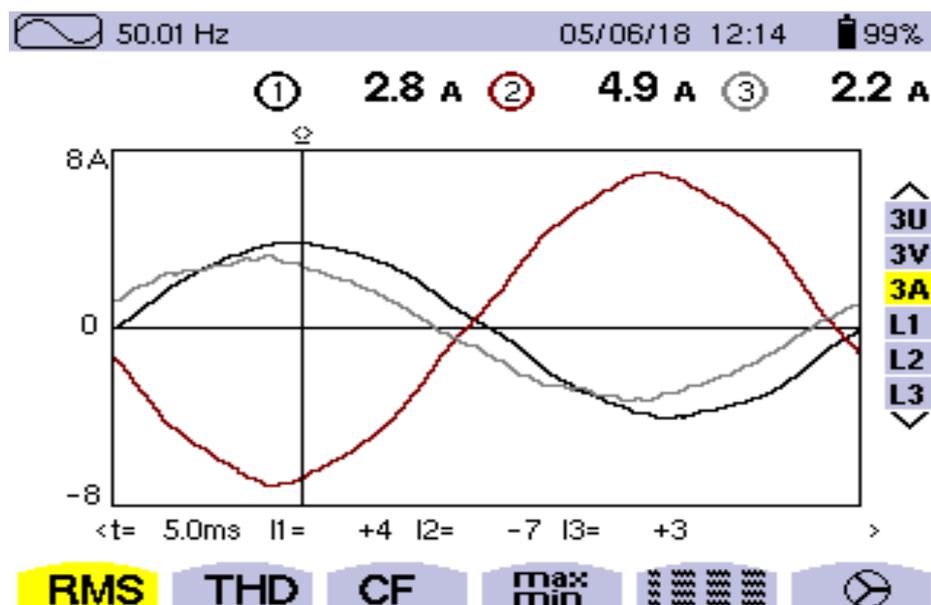


Figure 4.18 : Courbes des courants des phases

Chapitre 4 : Etude expérimentale

Commentaire

Déséquilibre des courants en valeur et en déphasage.

4.9 Spectres des courants du moteur sain en charge

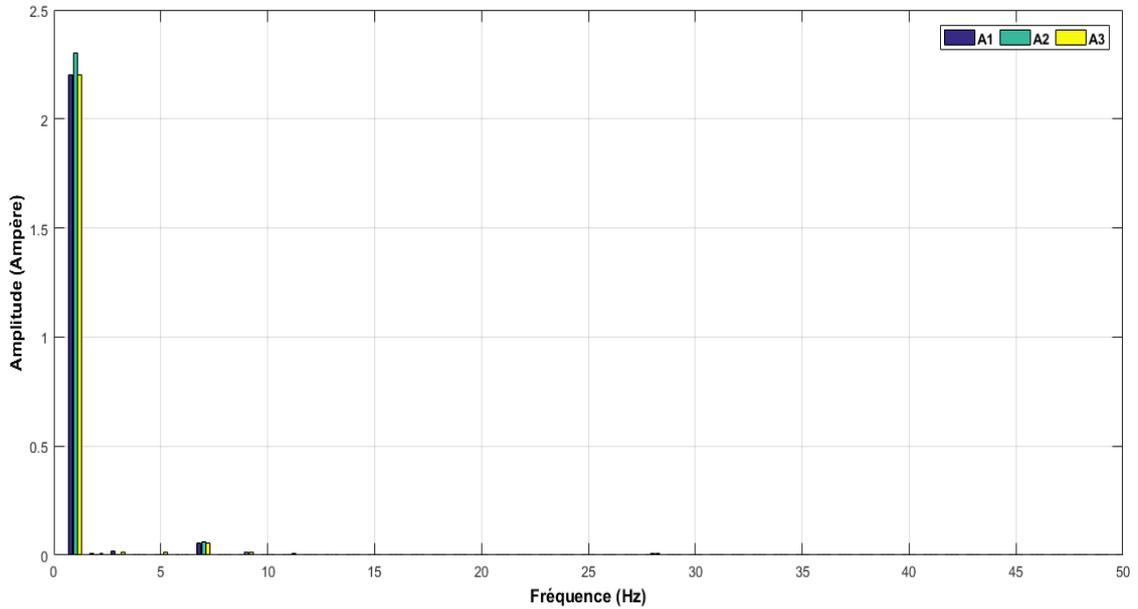


Figure 4.19 : Spectre des courants des phases

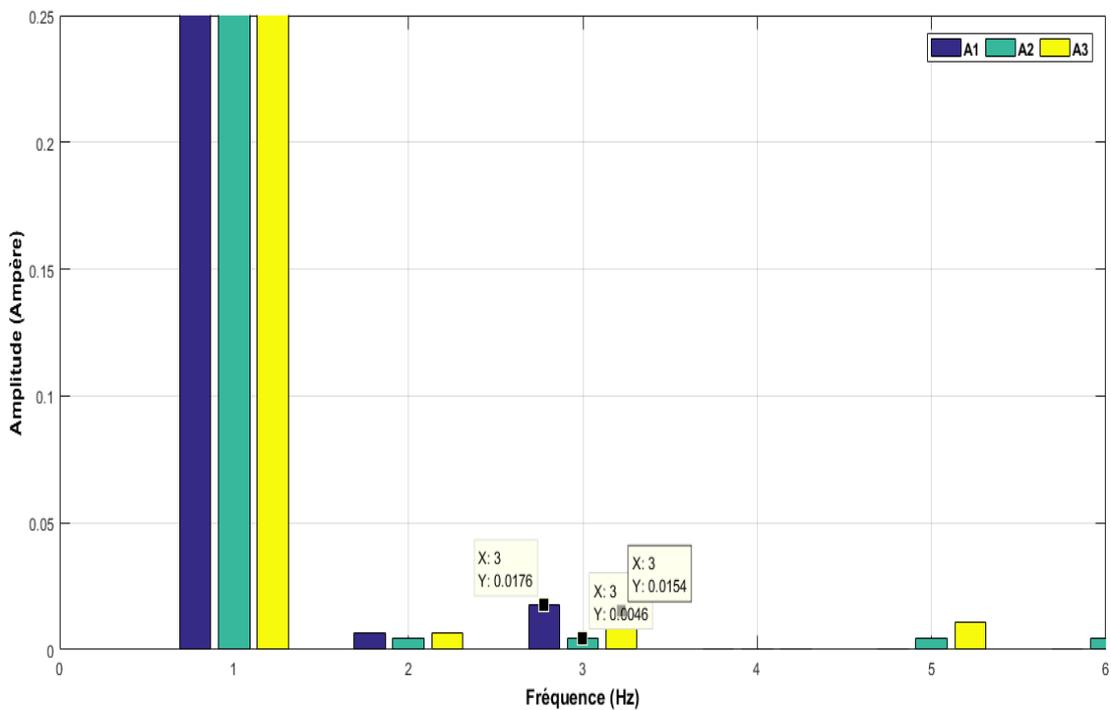


Figure 4.20 : Zoom sur les spectres des courants des phases

4.10 Spectres des courants du moteur court-circuité en charge

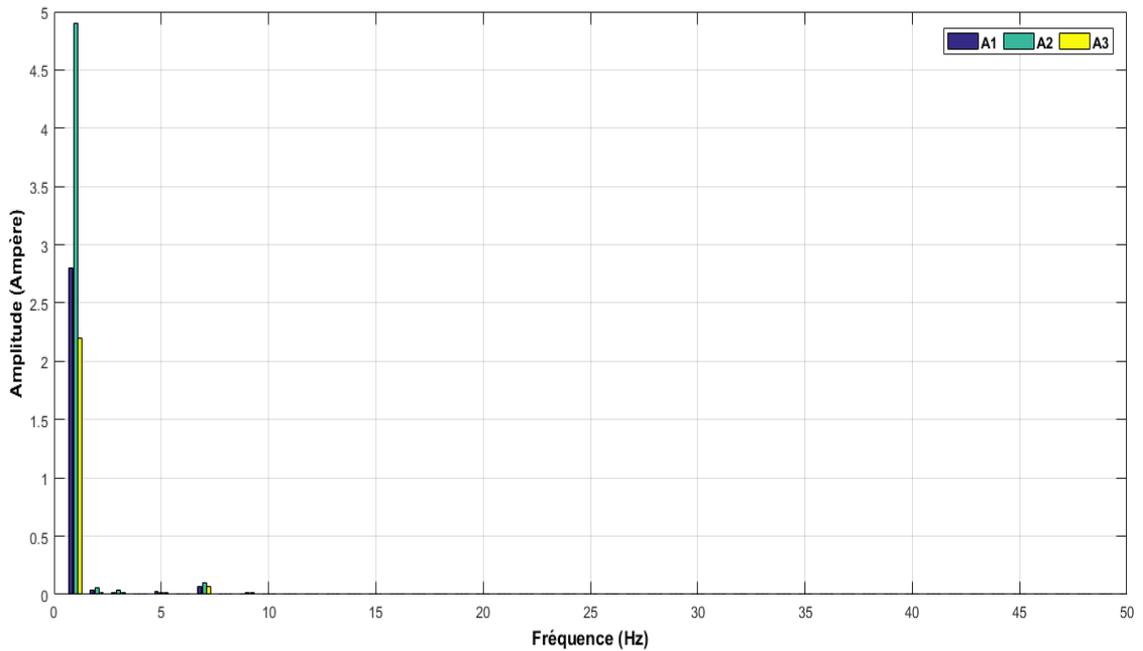


Figure 4.21 : Spectres des courants des phases

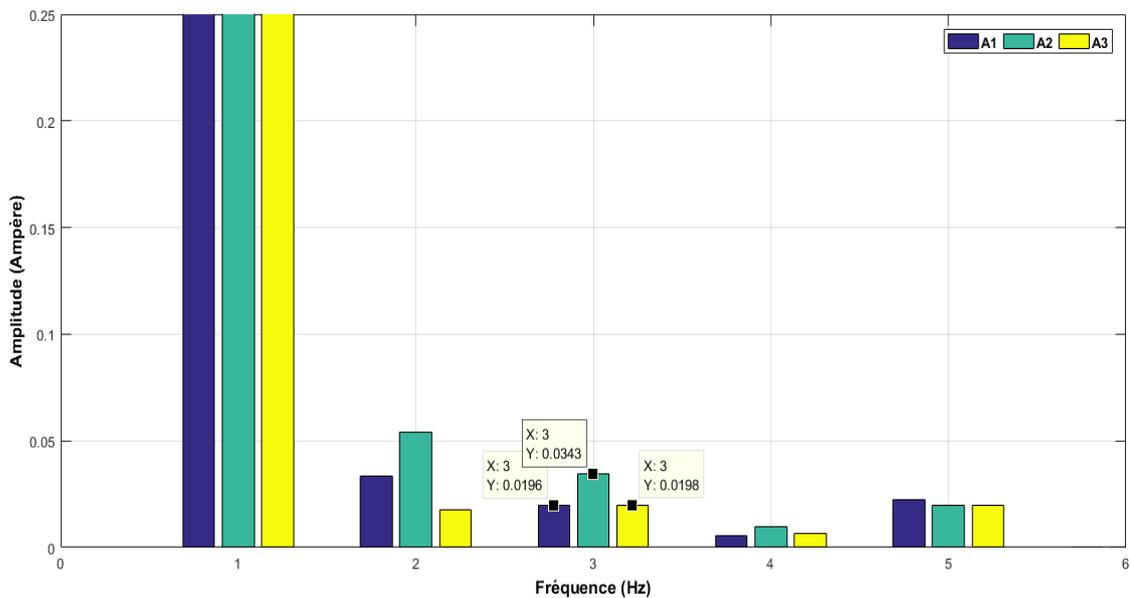


Figure 4.22 : Zoom sur les spectres des courants des phases

Comparaisons

Les figures (4.22) et (4.20) représentent un zoom sur les spectres des courants des phases du moteur en charge son défaut et avec défaut en ordre, la différence entre les deux cas ; c'est l'amplitude de la fréquence 150 Hz et celle du 250 Hz.

Chapitre 4 : Etude expérimentale

Remarque

1. Dans l'essai à vide le fondamental du courant a une valeur faible, ce qui donne une importance aux valeurs des harmoniques des espaces qui apparaitre clairement dans les courbes des courants et leurs spectres, d'où on ne peut pas prend ce cas comme référence pour faire des comparaisons.
2. Chaque fois le court-circuit a été fait ou bien son pourcentage été augmenté le son du moteur change et les vibrations augmente.
3. On n'a pas pu réaliser le cas de court-circuit de 08 % en charge car le courant de démarrage du moteur a dépassé le 15 Ampère, sachant que notre alimentation ne supporte qu'un courant de 07 Ampère.

4.11 Conclusion

Une MAS a été exploitée pour réaliser des essais expérimentés relatifs aux défauts de court-circuit entre spires. Les résultats obtenus dans ce chapitre sont cohérents avec les résultats de simulation sauf pour les courbes des courants et une corrélation partielle entre les spectres de ces courants.

Conclusion Générale

Conclusion générale

Notre projet de fin d'étude sert à modéliser un moteur asynchrone fonctionne en présence et en absence d'un défaut de court-circuit entre spires dans les deux cas à charge et à vide. Cette modélisation a été réalisé par logiciel de simulation FLUX-2D qu'est basé sur la méthode des éléments finis et par un travail pratique qu'été réaliser au niveau de laboratoire d'électrotechnique de l'université de BLIDA 1.

Dans l'application pratique nous avons utilisés l'une des méthodes de diagnostic qu'on a cité dans le premier chapitre, à savoir la méthode des analyses spectrales des courants statoriques. La comparaison entre les interprétations des résultats de simulation et du pratique confirme qu'un court-circuit entre spires engendre des harmoniques d'ordre 3 dans les courants statoriques.

Annexe

Annexe



Figure 1 : Moteur endommagé



Figure 2 : bobinage

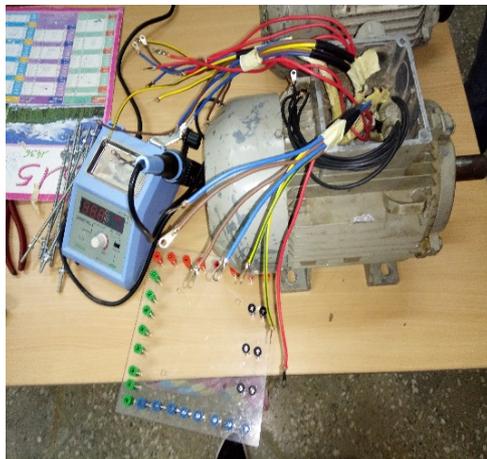


Figure 3 : soudure



figure 4 : Bloc D'alimentation



Figure 5 : Résistance variable



figure 6 : Génératrice



Figure 7 : Couplage du moteur



Figure 8 : Rotor à cage d'écureuil

Bibliographie

Bibliographie

- [1] **S. REZGUI** « commende de machine électrique en environnement » mémoire pour l'obtention du diplôme de magister en électrotechnique. 2009
- [2] **M. BELLIER et A. GALICHON** « Machines électriques » Electricité industrielle LIBRAIRIE DELAGRAVE. 15, rue Soufflot, 75005 Paris.
- [3] **M. GAOUAOUI** « Diagnostic par reconnaissance des formes : Application à la machine asynchrone » Mémoire de magistère en automatique. Université Mouloud MAMERIE de Tizi OUSOU, 2012.
- [4] **C. PRÉVÉ et R. JEANNOT** « Guide de conception des réseaux électriques industriels » Schneider Electric, 1997.
- [5] **M.Z. TAIBI et O. RAHMANI** « Diagnostic de défauts électriques de la MAS à Rotor à Cage d'écureuil par les réseaux de neurones » Ecole Nationale Polytechnique, 10, AV. Hassen BADI, El-Harrach, 2009.
- [6] **H. TAIBI et S. BOUTKHATEM** « Modélisation des défauts statoriques et rotorique d'un moteur asynchrone par la méthode des éléments finis » mémoire de projet de fin d'études 2016-2017
- [7] **C. ANDRIAN** « Méthode global de diagnostic des machines électriques » thèse de doctorat université Lille de Nord de France, 2012.
- [8] **S. BELHAMDI** « Diagnostic Des Défauts De La Machine Asynchrone Contrôlée Par Différentes Techniques De Commande » Thèse de doctorat en électrotechniques. Université Mohamed KHIDER de Biskra, 2014.
- [9] **A. BOUGUERNE** « Diagnostic automatique des défauts des moteurs asynchrones » Mémoire de Magistère en Electrotechniques. Université MENTOURI CONSTANTINE, 2009.

Bibliographie

- [10] **A. BOUKOUCHA et S. OUAGUED** « Télédiagnostic de Défauts Electriques de la Machine Asynchrone » Projet de fin d'études Pour l'obtention du diplôme d'Ingénieur d'État en Electrotechnique, Ecole Nationale Polytechnique, 10, AV. Hassen BADI, El-Harrach, 2012.
- [11] **A. MEGHNOUS et M. MEKRACHE** « Diagnostic Des Défauts De La Machine Asynchrone » Projet de fin d'études pour l'obtention du diplôme d'ingénieur d'état en Automatique. Ecole Nationale Polytechnique, 10, AV. Hassen BADI, El-Harrach, 2009.
- [12] **R. CASIMIR** « Diagnostic Des Défauts des machines asynchrones par reconnaissance des formes » Thèse de Doctorat en Génie Électrique l'école doctorale électronique, électrotechnique, automatique de lyone.2003
- [13] **A. CHAHMI** « Identification paramétrique de la machine asynchrone dédiée au diagnostic » thèse en vue de l'obtention du diplôme de doctorat en sciences Université Oran de sciences et technologie Mohamed Boudiaf. 2017
- [14] **W. BENZAOUI** « Diagnostic De La Machine Asynchrone à Base D'Observateur » Projet de fin d'études Pour l'obtention du diplôme D'Ingénieur d'Etat en Automatique. Ecole Nationale Polytechnique, 10, AV. Hassen BADI, El-Harrach, 2007.
- [15] **F. Jawad** « Etude du problème inverse en électromagnétisme vue de la localisation des défauts de désaimantation dans les actionneurs à aimant permanents » thèse pour obtenir le grade de docteur de l'université de technologie de belfort -Sciences Pour l'Ingénieur .2008.
- [16] **S. ZOZOU** « Détection des défauts statoriques dans la machine synchrone à aimants permanents par les techniques avancées » Mémoire de Magister préparé au laboratoire LGEB de Biskra. 2015

Bibliographie

- [17] **M. KAIKAA** « Modélisation de la machine asynchrone avec prise en compte de la non uniformité de l'entrefer. Application au diagnostic » mémoire de thèse présenté pour obtenir le diplôme de Doctorat en sciences En Electrotechnique université MENTOURI CONSTANTINE. 2010.
- [18] **M. HARIR** « Etude des Défauts dans La Machine Asynchrone à Cage d'Ecureuil par l'Emploi de la Fonction d'Enroulement Modifiée » mémoire spécialité électrotechnique option commande électrique. 2008/2009.
- [19] www.forum-digital.fr/files/fck/files/cao.pdf
- [20] **Z. BOUZIANE** « Rétro-conception du bras horizontal de robot manipulateur de la cellule flexible (Tlemcen) » Projet de fin d'étude pour l'obtention du diplôme de master En Génie2 Mécanique thème soutenu en 2013.
- [21] **M. BECHEIKH** « Couplage des deux méthodes, élément finiselement finis de frontières pour l'étude et le calcule des paramètres électromagnétiques d'un moteur a reluctance variable » OPTION Machines électriques, thèse en vue de l'obtention du diplôme de doctorat en sciences 2011.
- [22] **R. HACHLAF** « conception assisté par ordinateur » cour, Université de Blida 1. 2017/2018
- [23] **R. REDJEM** « Calcul et Conception Assistée par Ordinateur des Machines Electriques Application aux moteurs asynchrones » Mémoire Présenté pour l'obtention du diplôme de magister en Electrotechnique thème. 2006
- [24] **HAMADOU Adil et NESSISSEN Abdelkader** « Modélisation numérique d'un moteur asynchrone à cage d'écureuil » Mémoire du Projet de Fin d'Etudes Pour l'obtention de diplôme Master En Génie électrique .2015

Bibliographie

[25] M. BOURAY « Réalisation de cas de démo Flux accessibles depuis le superviseur » mémoire Master Ingénierie Electrique Electronique et Informatique Industrielle Spécialité Energie électrique. 2014

[26] M. MAROUDI « Conception et fabrication assistées par ordinateur du logo 3 D » Projet de fin d'étude pour l'obtention du diplôme de master En Génie Mécanique. Université de Tlemcen 2012

[27] T. AINOUCHE et M. BOURAHLA « Calcul par éléments finis et réalisation expérimentale d'une machine asynchrone à cage double étoile » Mémoire de projet de fin d'étude en vue de l'obtention de diplôme de Master en électrotechnique industrielle, Université des sciences et de la technologie HOUARI BOUMEDIENE 2010.

[28] A. ABDELKEBIR « Diagnostic d'un moteur à Induction en utilisant la transformée en ondelettes » mémoire de fin d'étude en vue de l'obtention du diplôme de master, université Mohamed BOUDIAF-M'SILA, 2017