

République Algérienne Démocratique et Populaire
Ministère de L'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

UNIVERSITE MOULOUD MAMMARI DE TIZI-OUZOU



FACULTE DE GENIE ELECTRIQUE ET D' INFORMATIQUE
DEPARTEMENT D'ELECTROTECHNIQUE

Mémoire de Fin d'Etude de MASTER ACADEMIQUE

Domaine : Sciences et Technologies

Filière : Génie Electrique

Spécialité : MACHINES ELECTRIQUES

Présenté par
Mourad HELLAL
Salim RAMDANE

Mémoire dirigé par **Azzouz MIOUAT**

Thème

Etude des Performances de la Machine Asynchrone sous Défauts

Mémoire soutenu publiquement le 25 septembre 2017 devant le jury composé de :

M Mohand Tahar BELASSEL

MCCA, UMMTO, Président

M Azzouz MIOUAT

MACA, UMMTO, Encadreur

M Rabah KHALDI

MACA, UMMTO, Examineur

M Abdelghani KIMOUCHE

MACA, UMMTO, Examineur

Remerciements

Remerciements

Nous remercions Dieu de nous avoir donné la force et le courage pour réaliser ce modeste travail.

Nous remercions notre promoteur Monsieur MIOUAT Azzouz pour son dévouement, ses conseils et son soutien moral tout le long de l'élaboration de ce travail.

*Nous adressons nos plus vifs remerciements aux membres du jury,
Mr BELLASSEL, Mr KHALDI, Mr KIMOUCHE*

Enfin, nous remercions nos familles, camarades et amis pour leurs aide, compréhension, encouragement et soutien, qu'ils nous ont apporté durant nos études.

Dédicaces

Je dédie ce travail :

A mes très chers parents.

A mon frère et mes sœurs.

A toute ma famille.

A mes très chers ami(es) et camarades.

A mon binôme Mourad ainsi qu'à sa famille.

Et Plus particulièrement à mon grand-père qui vient de nous quitter.

Salim

Je dédie ce travail :

A mes chers parents qui m'ont encouragé pour que je réussisse.

*A mes frères YUCEF, KAMEL, FARID, ma belle sœur SAFIA
et mon adorable neveu MOUHAMED.*

A mes grands parents ainsi qu'à toute la famille

A mon cher binôme SALIM et sa famille

A mes chers amis(es) et camarades.

Mourad

Liste des figures

Figure I-1 : La machine asynchrone	P.2
Figure I-2 : Symbole de la machine asynchrone à cage d'écureuil	P.3
Figure I-3 : Les différents composants d'un moteur asynchrone à cage d'écureuil	P.3
Figure I-4 : Les deux parties essentielles de la machine asynchrone.....	P.4
Figure I-5 : Stator d'un moteur asynchrone triphasé	P.4
Figure I-6 : Rotor à cage d'écureuil	P.5
Figure I-7 : Champ magnétique dans un MAS à cage d'écureuil	P.6
Figure I-8 : Etude statistique des défauts de la machine asynchrone.....	P.10
Figure I-9 : Représentation des différents défauts statoriques possibles	P.11
Figure I-10 : Exemple de dégâts dus au défaut de court-circuit statorique.....	P.12
Figure I-11 : Différents défauts statoriques	P.13
Figure I-12 : Rupture de barres	P.14
Figure I-13 : Rupture d'une et deux portions adjacentes d'anneaux de court-circuit.....	P.15
Figure I-14 : Types d'excentricité (a)statique, (b) dynamique, (c) mixte.....	P.16
Figure I-15 : Roulement à billes	P.17
Figure I-16 : Les différents défauts dans un roulement	P.18
Figure II-1 : Icône du programme	P.25
Figure II-2 : Type d'encoche du stator	P.29
Figure II-3 : Géométrie du stator	P.30
Figure II-4 : Type d'encoche du rotor	P.31
Figure II-5 : Géométrie du rotor	P.32
Figure II-6 : Courbe de magnétisation du matériau	P.32
Figure II-7 : Couple en fonction de la vitesse.....	P.34
Figure II-8 : Courant en fonction de la vitesse	P.34
Figure II-9 : Rendement en fonction de la puissance utile	P.35
Figure II-10 : Puissance utile en fonction de la vitesse	P.35
Figure II-11 : Géométrie d'un quart du modèle en 2D de la machine.....	P.37
Figure II-12 : Maillage à vide	P.38
Figure II-13 : Lignes de flux à vide	P. 38
Figure II-14 : Induction magnétique à vide	P.39
Figure II-15 : Couple utile en fonction du temps à vide	P.39

Liste des figures

Figure II-16: Vitesse en fonction du temps à vide.....	P.40
Figure II-17 : Courant statorique en fonction du temps à vide.....	P.40
Figure II-18 : Maillage en charge	P.43
Figure II-19: Lignes de flux.....	P.43
Figure II-20 : Induction magnétique en charge	P.44
Figure II-21: Couple utile en fonction du temps en charge	P.44
Figure II-22: Vitesse en fonction du temps en charge.....	P.45
Figure II-23: Courant en fonction du temps en charge.....	P.45
Figure II-24 : Courants en fonction du temps en charge et en régime permanent.....	P.46
Figure III-1: Maillage avec 5% de chute de tension.....	P.50
Figure III-2 : Lignes de flux avec 5% de chute de tension.....	P.50
Figure III-3 : Induction magnétique avec 5% de chute de tension.....	P.51
Figure III-4 : Couple utile en fonction du temps avec 5% de chute de tension.....	P.51
Figure III-5 : Couple utile en fonction du temps avec 5% de chute de tension en régime permanent.....	P.52
Figure III-6 : Vitesse en fonction du temps avec 5% de chute de tension	P.52
Figure III-7 : Vitesse en fonction du temps avec 5% de chute de tension en régime permanent.....	P.53
Figure III-8 : Courant en fonction du temps avec 5% de chute de tension	P.53
Figure III-9 : Courant en fonction du temps avec 5% de chute de tension en régime permanent.....	P.54
Figure III-10: Maillage avec 10% de chute de tension.....	P.54
Figure III-11 : Lignes de flux avec 10% de chute de tension.....	P.55
Figure III-12 : Induction magnétique avec 10% de chute de tension.....	P.55
Figure III-13 : Couple utile en fonction du temps avec 10% de chute de tension	P.56
Figure III-14 : Couple utile en fonction du temps avec 5% de chute de tension en régime permanent.....	P.56
Figure III-15 : Vitesse en fonction du temps avec 10% de chute de tension	P.57
Figure III-16 : Vitesse en fonction du temps avec 10% de chute de tension en régime permanent.....	P.57
Figure III-17 : Courant en fonction du temps avec 10% de chute de tension	P.58
Figure III-18 : Courant en fonction du temps avec 10% de chute de tension en régime permanent.....	P.58

Liste des tableaux

Tableau II-1 : Paramètres nominaux de la machine P.27

Tableau II-2 : Paramètres généraux du moteur P.28

Tableau II-3 : Paramètres généraux du stator P.28

Tableau II-4 : Paramètres généraux des encoches du stator P.29

Tableau II-5 : Paramètres généraux de l'enroulement du stator P.29

Tableau II-6 : Paramètres généraux du rotor P.30

Tableau II-7 : Paramètres généraux des encoches du rotor P.31

Tableau II-8 : Paramètres généraux des barres rotoriques P.31

Tableau II-9 : Résultats obtenus en simulant avec RMXprt P.33

Tableau II-10 : Paramètres mécaniques du moteur sous Maxwell 2D à vide P.37

Tableau II-11 : Paramètres mécaniques du moteur sous Maxwell 2D en charge P.42

Tableau III-1 : Paramètres d'excitation des phases P.49

Tableau III-2 : Valeurs des densités de flux P.59

Tableau III-3 : Valeurs des inductions magnétiques P.59

Tableau III-4 : Valeurs efficaces des courants P.60

Sommaire

INTRODUCTION GENERALE	1
CHAPITRE I : Etude des défauts dans la machine asynchrone	
I-1 Introduction	2
I-2 Généralités sur la machine asynchrone	2
I-2-1 Définition et représentation de la machine asynchrone à cage d'écureuil	2
I-2-2 Constitution de la machine asynchrone à cage d'écureuil	3
I-2-2-a Le stator	4
I-2-2-b Le rotor	5
I-2-2-c Les paliers	5
I-2-3 Le principe de fonctionnement	6
I-2-4 Le champ tournant	7
I-2-5 La vitesse de synchronisme	8
I-2-6 Le glissement	8
I-3 Etude des différents défauts dans la machine asynchrone	9
I-3-1 Les causes des défauts	9
I-3-2 Les conséquences des défauts	10
I-3-3 Etude statistique des défauts dans la machine asynchrone	10
I-4 Défauts dans la machine asynchrone	11
I-4-1 Défaut d'ordre électrique	11
I-4-1-1 Défauts statoriques	11
A- Court-circuit entre spires	12
B- Court-circuit entre phases	12
I-4-1-2 Défauts rotoriques	13
A- Ruptures de barres	14
B- Ruptures d'anneaux	14
C- Excentricité statique, dynamique et mixte	15
I-4-2 Défauts d'ordre mécanique	17
I-4-2-1 Défauts aux paliers	17
A-Défauts de roulements	17

Sommaire

B-Défaut de flasque.....	18
C- Défaut de l'arbre.....	19
I-5 Conclusion.....	19
CHAPITRE II : Performances de la machine asynchrone sans défaut	
II.1 Introduction	20
II.2 Equations de Maxwell	20
II-2-1 L'équation de Maxwell-Faraday.....	20
II-2-2 L'équation de Maxwell-Ampere.....	21
II-2-3 L'équation de Maxwell-Gauss.....	21
II-3 Lois de comportement du milieu.....	22
II-3-1 Relation magnétique	22
II-3-2 Relation diélectrique	22
II-3-3 Relation électrique (loi d'Ohm).....	22
II-4 Conditions aux limites.....	23
II-4-1 Condition Dirichlet	23
II-4-1-1 Dirichlet homogène	23
II-4-1-2 Dirichlet non homogène	23
II-4-2 Condition Neumann	23
II-4-2-1 Condition Neumann homogène.....	23
II-4-2-2 Condition Neumann non homogène.....	24
II-5 ANSYS Maxwell.....	24
II-5-1 Editeur du logiciel	24
II-5-2 Présentation du logiciel	24
II-5-3 Solveurs du logiciel Maxwell 14.0	25
II-5-4 RMXprt.....	25
II-5-5 Etapes de conception et d'analyse d'un modèle de la machine asynchrone.....	25
II-6 Conception et analyse des performances d'un moteur à cage d'écureuil avec RMXprt...	27
II-6-1 Différents paramètres du moteur sous RMXprt	28
II-6-2 Résultats d'analyse avec RMXprt	33

Sommaire

II-6-3	Interprétation des résultats d'analyse par RMxprt.....	36	
II-6-3-1	Courbe de l'évolution du couple en fonction de la vitesse	36	
II-6-3-2	Courbe de l'évolution du courant en fonction de la vitesse	36	
II-6-3-3	Courbe de l'évolution du rendement en fonction de la puissance utile.....	36	
II-6-3-4	Courbe de l'évolution de la puissance en fonction de la vitesse	36	
II-7	Conception et analyse des performances du moteur à cage d'écureuil avec Maxwell 2D	37	
II-7-1	Fonctionnement à vide	37	
II-7-1-1	Résultats de simulation du modèle 2D à vide.....	38	
II-7-1-2	Interprétation des résultats de simulation du modèle 2D à vide.....	41	
II-7-2	Fonctionnement en charge	42	
II-7-2-1	Résultats de simulation du modèle 2D en charge.....	43	
II-7-2-2	Interprétation des résultats de simulation du modèle 2D en charge	46	
II-8	Conclusion.....	48	
CHAPITRE III : Performances de la machine asynchrone sous défaut			
III-1	Introduction.....	49	
III-2	Sources du déséquilibre	49	
III-3	Paramètres des phases d'alimentation sous défaut	49	
III-4	Résultats de simulation du modèle 2D sous défaut	49	
III-4-1	Résultats de simulation avec 5% de chute de tension dans la phase B.....	49	
III-4-2	Résultats de simulation avec 10% de chute de tension dans la phase B.....	54	
III-5	Interprétation des résultats de simulation du modèle 2D sous défaut.....	59	
III-6	Conclusion	61	
CONCLUSION GENERALE			62
BIBLIOGRAPHIE			
ANNEXE			

Introduction
générale

Introduction générale

La machine asynchrone est la machine la plus robuste et la moins cher du marché, sa bonne construction lui a permis d'être la machine la plus utilisée dans l'industrie surtout quand il s'agit de l'entraînement électrique dans plusieurs domaines industriels, notamment pour des applications à vitesses variables.

Comme toute autre machine, la machine asynchrone n'est pas à l'abri d'un dysfonctionnement. Elle peut être affectée par des défauts électriques ou mécaniques au niveau du stator ou du rotor et des fois des deux au même temps, les causes des défauts peuvent être dues à un simple problème de fabrication ou à une utilisation non conforme de la machine, par fois le milieu dans lequel la machine est utilisée peut être responsable à la détérioration de la machine (milieu corrosif ou chimique). De ce fait un arrêt brusque dû à une anomalie quelconque peut engendrer des pertes financières et peut nuire à la sécurité de l'être humain.

L'analyse et la détection précoces restent les meilleures solutions pour éviter ou du moins minimiser les défauts, pour cela il existe plusieurs logiciels de conception et d'analyse des systèmes électromagnétiques permettant de prévoir le comportement et les performances d'un dispositif avant de passer à la phase réalisation. La maîtrise de ces logiciels est d'une grande importance, car ils permettent de réduire considérablement le coût des prototypes à réaliser.

Dans notre travail on va s'intéresser au logiciel « Maxwell 14.0 » du groupe ANSYS qui est basé sur la méthode des éléments finis. Ce logiciel sera utilisé pour modéliser et simuler une machine asynchrone à cage d'écurieil 2.2 kW existante dans notre laboratoire, afin d'analyser les performances de notre machine à l'état sain puis sous défaut de déséquilibre de phase dû à une chute de tension dans l'une de ses phases.

Le présent mémoire comporte trois chapitres ; dans le premier chapitre on va donner un bref aperçu sur la machine asynchrone triphasée à cage d'écurieil en énumérant les différents défauts affectant la machine asynchrone et leurs causes.

Dans le deuxième chapitre, on va utiliser l'outil RMxprt pour la conception du modèle de la machine et par la suite étudier et analyser les performances de celle-ci à l'état sain.

Dans le dernier chapitre, on va analyser les performances de notre machine sous défaut de déséquilibre de phases (chute de tension de 5% puis de 10% dans l'une de ses phases).

Enfin on terminera notre travail par une conclusion générale.

Chapitre I
étude des défauts
dans le moteur
asynchrone

I-1 Introduction

Le moteur asynchrone est la machine la plus utilisée dans le domaine des puissances supérieures à quelques kilowatts car il présente de nombreux avantages tels que, sa robustesse, sa facilité de mise en œuvre, son faible coût, etc.... L'apparition dans les années 1980 des variateurs permettant de faire varier la fréquence de rotation dans une large gamme a grandement favorisé son développement. En effet, il entre dans la conception de nombreux procédés industriels associant des convertisseurs statiques et des machines électriques (traction électrique, laminoirs, levage, pompage, etc...). Bien que la machine asynchrone ait la réputation d'être robuste, elle peut présenter comme toute autre machine électrique, des défaillances d'ordre électrique ou mécanique. Ainsi, en raison des conséquences importantes et coûteuses que peut engendrer l'apparition d'un défaut sur les processus industriels, le diagnostic des défauts fait l'objet d'un engouement prononcé depuis les trois dernières décennies.

Un défaut dans un composant peut résulter d'une usure normale, d'une mauvaise conception, d'un mauvais montage (désalignement), d'une mauvaise utilisation, ou d'une combinaison de ces différentes causes. Si un défaut n'est pas détecté suffisamment tôt, il peut entraîner la dégradation complète de la machine.

I-2 Généralités sur la machine asynchrone

I-2-1 Définition et représentation de la machine asynchrone à cage

La machines asynchrone est une machine électrique à courant alternatif, qui est connue également sous le nom de machine à induction, sans connexion entre le stator et le rotor, elle possède un rotor « en cage d'écureuil » est aussi connue sous le nom de machine à cage d'écureuil (Figure I-1). Le terme asynchrone provient du fait que la vitesse de rotation du rotor est différente de celle du champ tournant statorique.



Figure I-1 : La machine asynchrone

Elle est symbolisée comme suit :

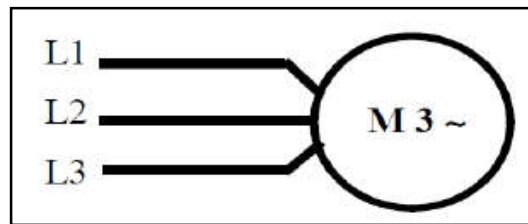


Figure I-2 : Symbole de la machine asynchrone à cage d'écureuil

I-2-2 Constitution d'un moteur asynchrone à cage

La figure ci-dessous montre les différents composants du moteur asynchrone à cage avec leurs nomenclatures :

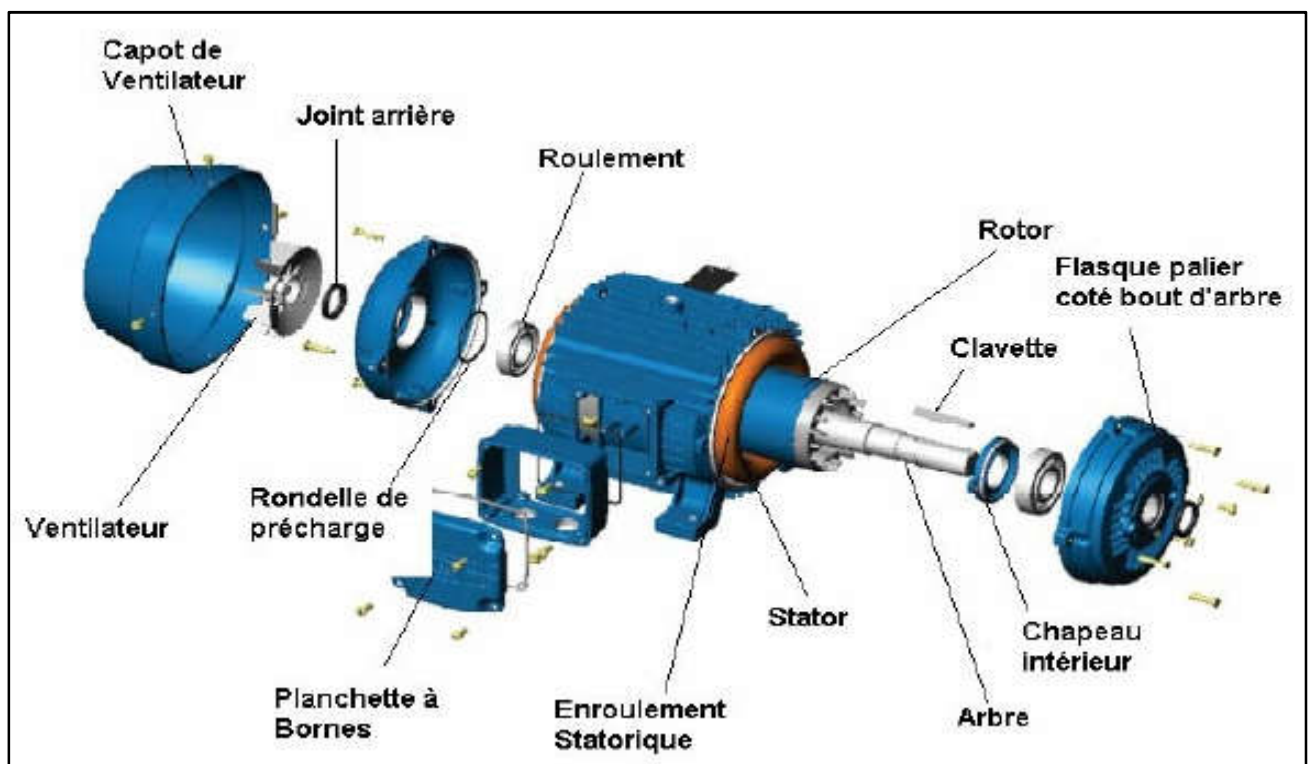


Figure I-3 : Les différents composants d'un moteur asynchrone à cage

La machine asynchrone comprend essentiellement deux parties (figure I-4) :

- Une partie fixe (stator)
- Une partie mobile (rotor)

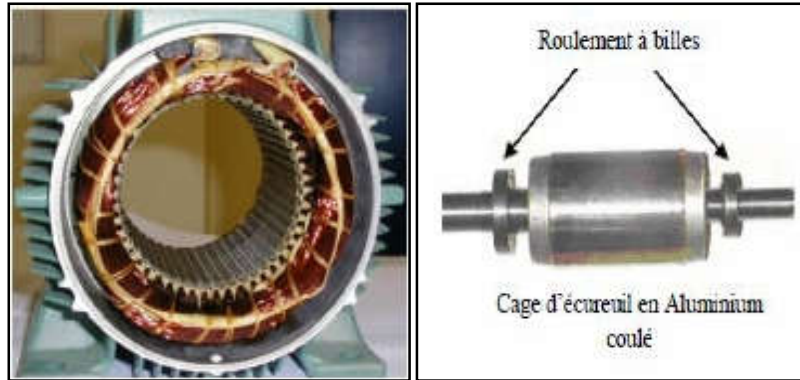


Figure I-4 : Les deux parties essentielles de la MAS (rotor à droite, stator à gauche)

I-2-2-a Le stator

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

L'alignement de ces trous forme des encoches dans lesquelles on loge un bobinage généralement triphasé, le tout est trempé dans un vernis qui pénètre jusqu'au fond des encoches et imprègne le bobinage au complet (Figure I-5). [1]

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

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

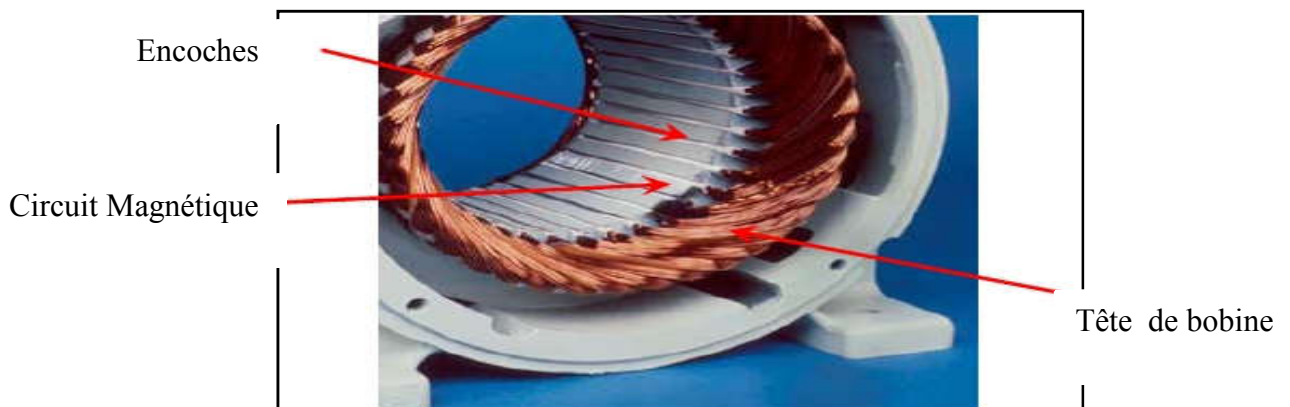


Figure I-5: Stator d'un moteur asynchrone triphasé

I-2-2-b Le rotor

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

Dans notre cas on s'intéresse au rotor à cage d'écureuil (Figure I-6). Ce rotor est formé de barres de cuivre ou d'aluminium nues conductrices du cylindre rotorique. Les barres sont situées dans les encoches et réunies à leurs deux extrémités par des anneaux conducteurs qui les court-circuitent (Figure I-6).

Un rotor à cage d'écureuil peut toujours être considéré comme ayant un nombre de pôles égal au nombre de pôles du stator. [1]

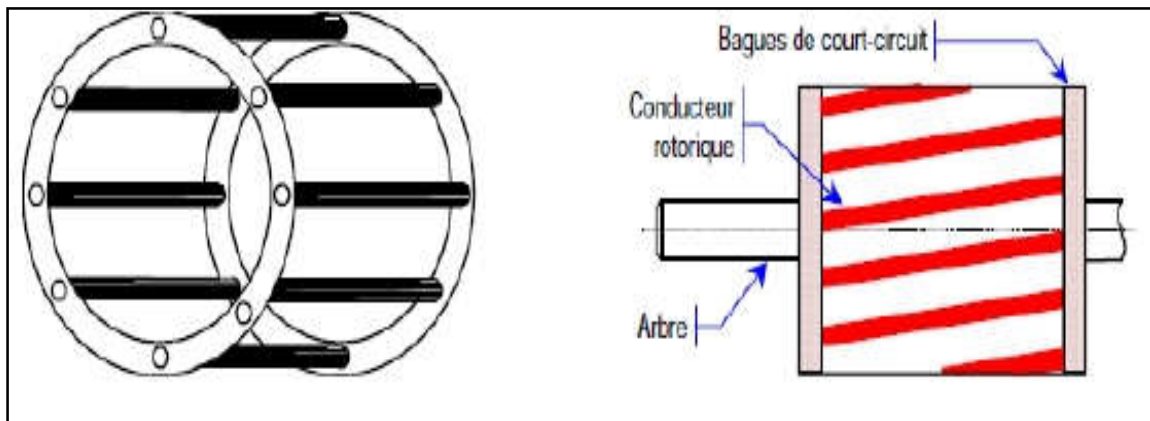


Fig. I-6 : Rotor à cage d'écureuil.

I-2-2-C Les paliers

Les paliers, qui permettent de supporter et de mettre en rotation l'arbre rotorique, sont constitués de flasques et de roulements à billes insérés à chaud sur l'arbre. Les flasques, moulées en fonte, sont fixées sur le carter statorique grâce à des boulons ou des tiges de serrage comme nous pouvons le visualiser sur la Figure I-3. L'ensemble ainsi établi constitue alors la machine asynchrone à cage d'écureuil. [2]

I-2-3 Principe de fonctionnement

Le fonctionnement d'un moteur asynchrone triphasé à cage est basé sur 3 principes de l'électrotechnique :

- Principe I : création d'un champ magnétique par un courant et qui est défini par la loi d'Ampère.
- Principe II : force exercée sur un courant placé dans un champ magnétique et qui est défini par la loi de Laplace.
- Principe III : déplacement d'un conducteur dans un champ magnétique, induction d'une tension et qui est défini par la loi de l'induction électromagnétique de Faraday.

Le principe des moteurs à courant alternatifs réside dans l'utilisation d'un champ magnétique tournant produit par des tensions alternatives. La circulation d'un courant dans une bobine crée un champ magnétique. Ce champ est dans l'axe de la bobine, sa direction et son intensité sont en fonction du courant I .

Dans le cas du moteur triphasé, les trois bobines sont disposées dans le stator à 120° électrique les unes des autres, trois champs magnétiques sont aussi créés. Compte-tenu de la nature du courant sur le réseau triphasé, les trois champs sont déphasés. Le champ magnétique résultant tourne à la même fréquence que le courant. [1]

La figure ci-dessous montre le champ résultant :

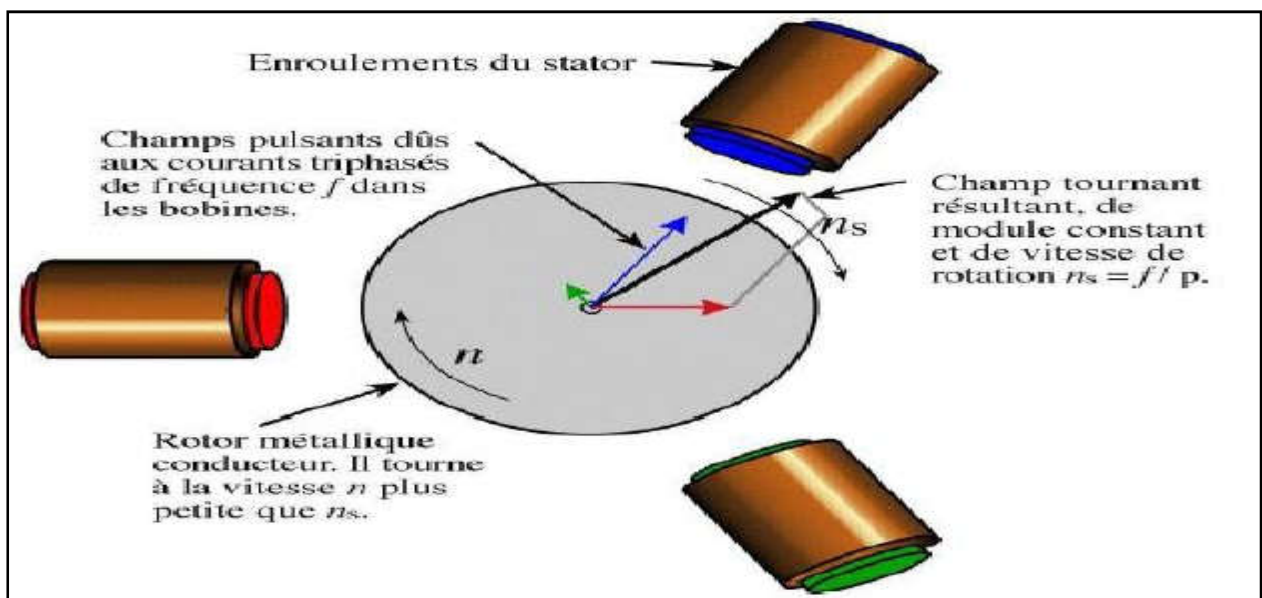


Figure I-7: Champ magnétique résultant dans un MAS triphasé à cage

Les trois enroulements statorique créent donc un champ magnétique tournant, sa fréquence de rotation est nommée fréquence de synchronisme. Si on place une boussole au centre, son aiguille va tourner à cette vitesse de synchronisme N_s [tr/min].

$$N_s = \frac{60f}{p} \quad \text{II-1}$$

Avec:

N_s : La vitesse de synchronisme [tr/min]

f : La fréquence des courants statoriques

p : Nombre de paires de pôles.

Cette cage est balayée par le champ magnétique tournant. Les conducteurs sont alors traversés par des courants induits. Des courants circulent alors dans les anneaux formés par la cage, les forces de Laplace qui en résultent exercent un couple sur le rotor.

D'après la loi de Lorentz les courants induits s'opposent par leurs effets à la cause qui leur a donné naissance. Le rotor tourne alors dans le même sens que le champ mais avec une vitesse légèrement inférieure à la vitesse de synchronisme de ce dernier. Le rotor ne peut pas tourner à la même vitesse que le champ magnétique, si non la cage ne serait plus balayée par le champ tournant et il y aurait disparition des courants induits et donc des forces de Laplace et du couple moteur. Les deux fréquences de rotation ne peuvent donc pas être synchrones d'où le nom de moteur asynchrone. [1]

I-2-4 Le champ tournant

C'est la variation du flux magnétique crée par les courants statoriques, sa fréquence de rotation est imposée par la fréquence des courants du stator. C'est-à-dire que sa vitesse de rotation est proportionnelle à la fréquence d'alimentation électrique.

La vitesse de ce champ tournant est appelée vitesse de synchronisme Ω_s [rad/s]. [1]

$$\Omega_s = \frac{\omega_s}{p} \quad \text{I-2}$$

Ou

$$\Omega_s = \frac{2\pi N_s}{60} \quad \text{I-3}$$

Avec :

Ω_s : La vitesse angulaire de synchronisme [rad/s]

ω_s : Pulsation électrique synchrone du champ tournant [rad/s]

N_s : Vitesse de synchronisme en [tr/min]

p : Nombre de paires de pôles

I-2-5 La vitesse de synchronisme

Pour les moteurs asynchrones, la vitesse de synchronisme dépend de la fréquence d'alimentation et du nombre de paires de pôles p constituant le stator : [1]

$$N_s = \frac{60f}{p} \quad \text{I-4}$$

Avec :

Ω_s : Vitesse de synchronisme [tr/min].

f : Fréquence [Hz].

p : Nombre de paires de pôles.

I-2-6 Le glissement

Il existe une différence de vitesse de rotation entre le champ tournant statorique et la vitesse mécanique du rotor. Cette différence s'appelle le glissement.

C'est la raison pour laquelle un moteur électrique fonctionnant suivant le principe que nous venons de décrire est appelé « moteur asynchrone ». La différence entre la vitesse de synchronisme et celle du rotor est appelée "glissement" et s'exprime en % de la vitesse de synchronisme. [1]

$$g = \frac{\Omega_s - \Omega}{\Omega_s} \cdot 100 \quad \text{I-5}$$

Avec :

g : glissement

Ω_s : La vitesse angulaire de synchronisme [rad/s]

Ω : La vitesse angulaire de la rotation du rotor [rad/s]

I-3 Etude des différents défauts dans la machine asynchrone

Les moteurs asynchrones sont soumis pendant leur fonctionnement à plusieurs contraintes des différentes natures, l'accumulation de ces contraintes provoque des défauts dans les différentes parties, elle peut conduire à une défaillance totale ou vieillissement prématuré.

I-3-1 Les causes des défauts

Les défaillances peuvent être d'origines diverses, électriques, mécaniques ou bien magnétiques. Leurs causes sont multiples, on peut les classer en trois groupes. [3]

- **les générateurs de pannes:** surchauffe du moteur, défaut électrique (court-circuit), 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,... etc
- **Les vices de fabrication :** défauts de fabrication, composants défectueux, protections inadaptées, mauvais dimensionnement de la machine,etc

Pour le stator, les défaillances sont principalement dues à un problème :

- Electrique (diélectrique)
- Résiduel (déformation)
- Environnemental (agression)

Et aussi pour le rotor les défaillances sont essentiellement dues à un problème :

- Electromagnétique
- Résiduel (déformation)
- Dynamique (arbre de transmission)
- Mécanique (roulement)
- Environnemental (agression).

I-3-2 Conséquences des défauts

Les défauts qui surviennent sur les machines asynchrones conduisent à de multiples problèmes qui affectent la rentabilité de l'installation globale et qui peuvent aller jusqu'à l'arrêt total de la machine. [3]

On cite parmi les conséquences des défauts:

- Fluctuations au niveau du couple et de la vitesse.
- Appel supplémentaire de courant.
- Déséquilibre au niveau de la tension et du courant de ligne.
- Augmentations des arrêts non programmés, des pertes de production et par conséquent du rendement global.

I-3-3 Etude statistique des défauts dans la machine asynchrone

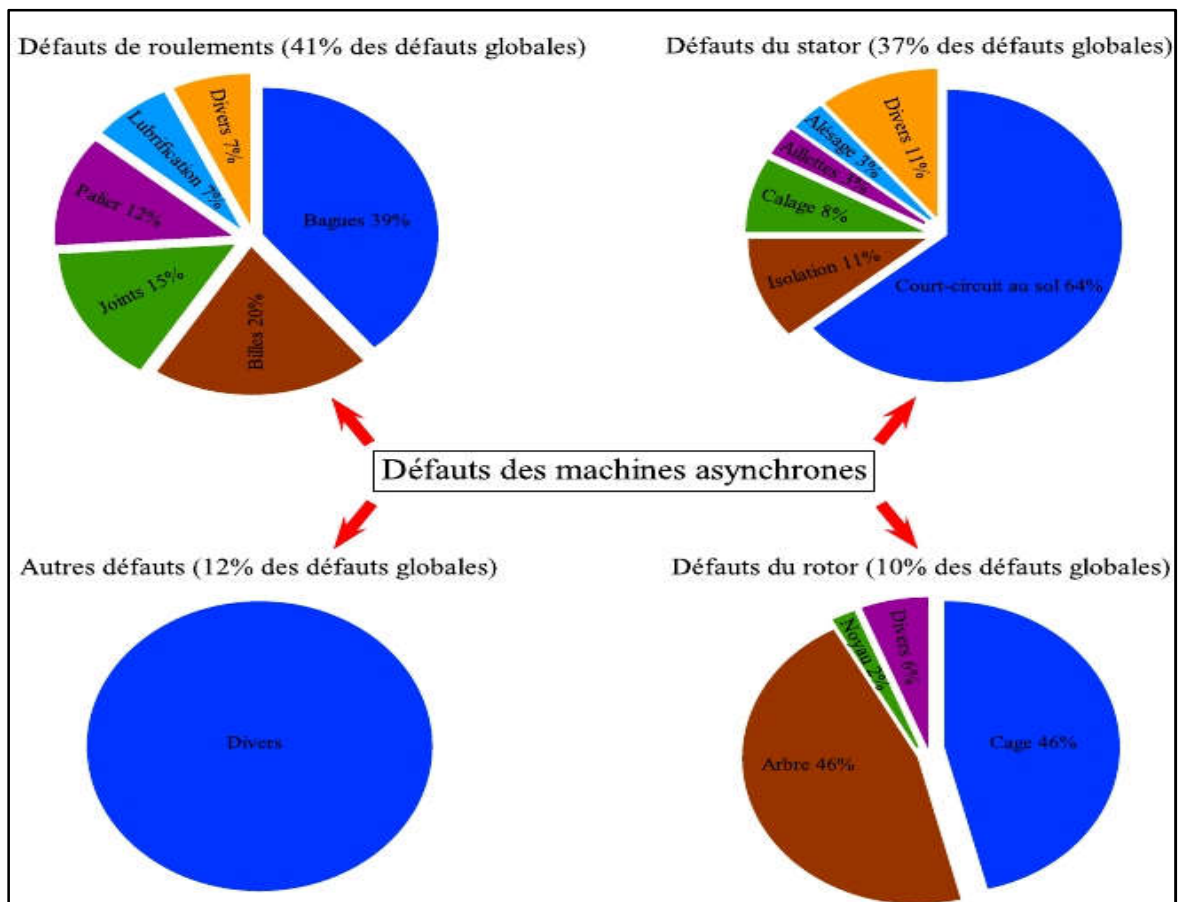


Figure I -8 : Etude statistique des défauts dans la machine asynchrone [4]

I-4 Défauts dans la machine asynchrone

Bien que la machine asynchrone ait la réputation d'être robuste, elle peut présenter comme toute autre machine électrique, des défaillances d'ordre électrique ou mécanique. La détection de ces défauts en cours d'évolution et en cours d'apparition est l'un des objectifs des chercheurs. [5]

I-4-1 Défauts d'ordre électrique

Les défaillances d'origine électrique peuvent dans certain cas être la cause d'un arrêt de la machine, ces défaillances se séparent en deux catégories bien distinctes, on peut citer les défauts qui apparaissent au niveau des circuits électriques statoriques et celle qui apparaissent au niveau des circuits électriques rotoriques.

I-4-1-1 Défauts statoriques

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

On peut clarifier les différents défauts possibles de court-circuit par la Figure I-9

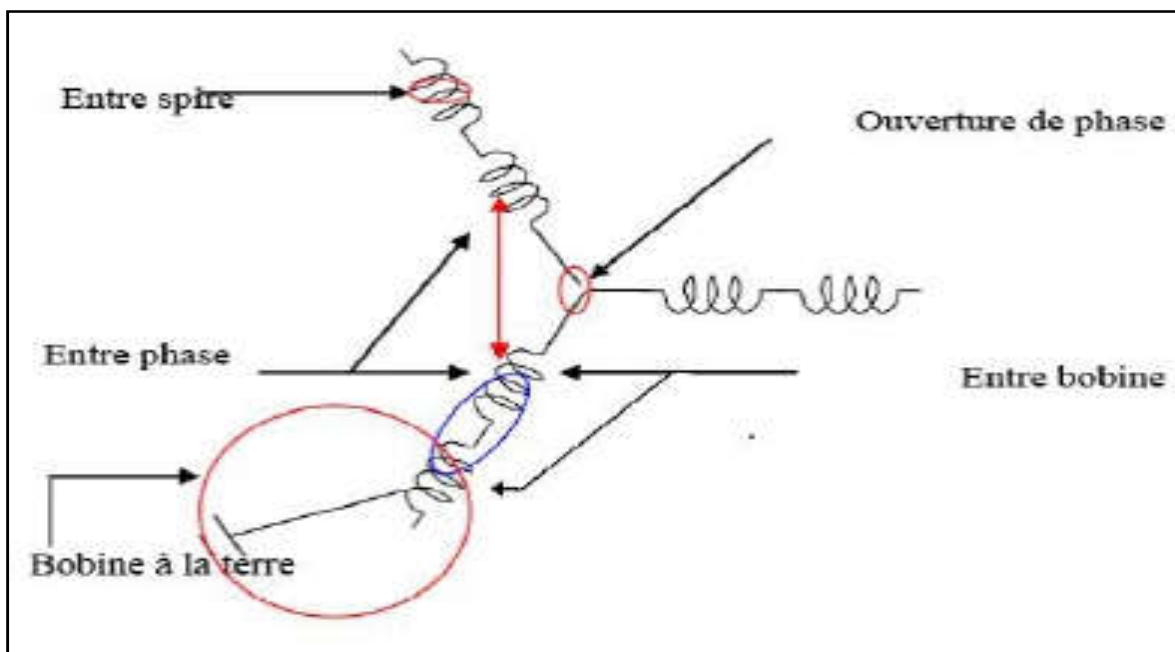


Figure I-9 : Représentation des différents défauts statoriques possibles



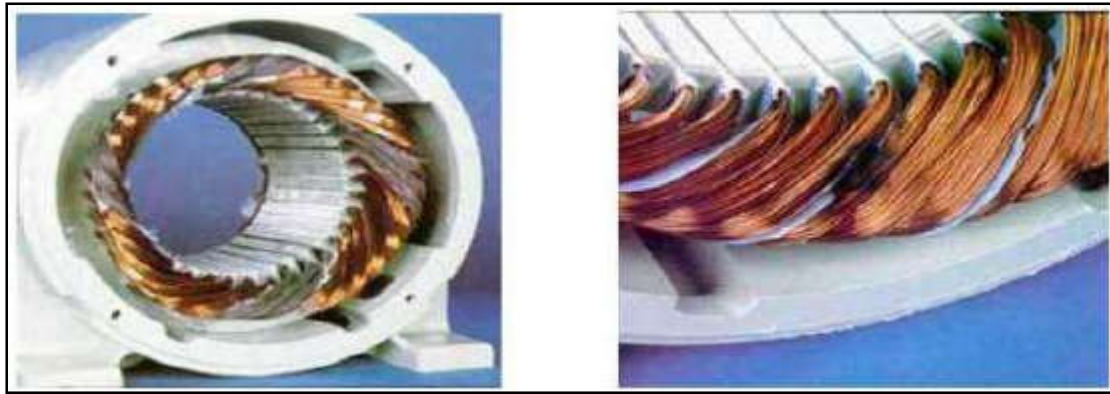
Figure I-10 : Exemples des dégâts dus au défaut de court-circuit statorique

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 et de ce fait une dégradation accélérée des isolants pouvant provoquer ainsi un défaut de court-circuit, en plus du couple électromagnétique délivré par la machine qui reste sensible. [5]

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 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. [6]



Ouverture d'une phase

Court-circuit dans une phase



Déséquilibre de l'alimentation

Damage dû à la surcharge



Masse dans l'encoche

Dégradation causée par une sur tension

Figure I-11 : Différents défauts statoriques [5]

I-4-1-2 Défauts rotoriques

Les défauts qui sont les plus récurrents au niveau du rotor peuvent être définis comme suit :

- Rupture de barres
- Rupture d'une portion d'anneau de court-circuit
- Excentricité statique, dynamique et mixte

A- Ruptures de barres

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. La détérioration des barres réduit la valeur moyenne du couple électromagnétique et augmente l'amplitude des oscillations, qui elles-mêmes provoquent des oscillations de la vitesse de rotation, ce qui engendre des vibrations mécaniques et donc un fonctionnement anormal de la machine. La grande amplitude de ces oscillations accélère la détérioration de la machine. Ainsi, le couple diminue sensiblement avec le nombre de barres cassées induisant un effet cumulatif de la défaillance. L'effet d'une cassure de barre croît rapidement avec le nombre de barres cassées [5].



Figure I-12 : Rupture de barres [9]

B- Ruptures d'anneaux

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. Comme il est difficile de le détecter ce défaut qui est généralement confondu avec la rupture de barres. Ces portions d'anneaux de court-circuit véhiculent des courants plus importants que ceux des barres rotoriques. De ce fait un mauvais dimensionnement des anneaux, une détérioration des conditions de fonctionnement (température, humidité,...) ou une surcharge de couple et de courants, peuvent entraîner leur cassure. La rupture d'une portion d'anneau déséquilibre la répartition des courants dans les barres rotoriques. [7]

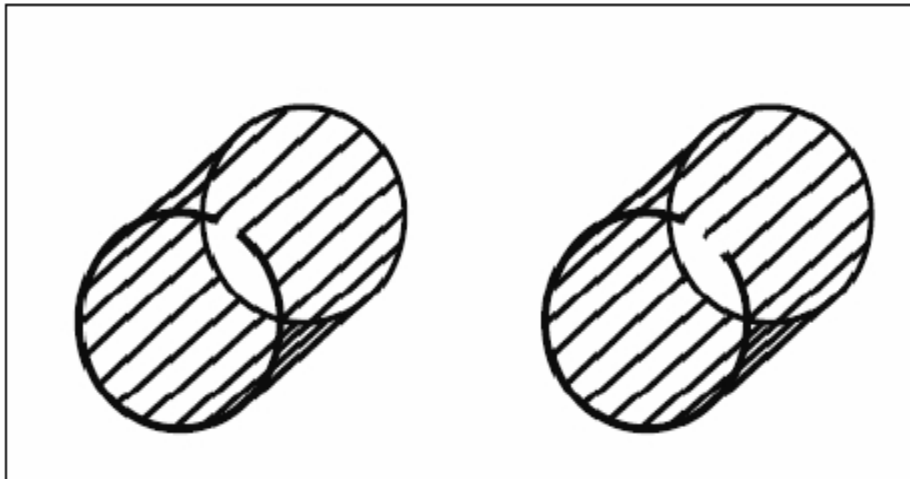


Figure I-13 : Rupture d'une et deux portions adjacentes d'anneau de court-circuit.

C- Excentricité statique, dynamique et mixte

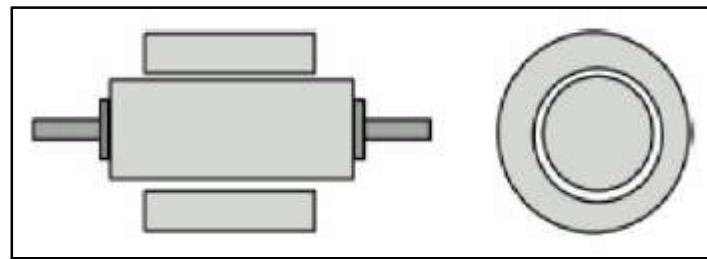
Parfois, la machine électrique peut être soumise à un décentrement du rotor, se traduisant par des oscillations de couple (décalage entre le centre de rotation de l'arbre et le centre du rotor).

Ce phénomène est appelé excentricité (statique, dynamique ou mixte) dont l'origine peut être liée à un positionnement incorrect des paliers lors de l'assemblage, à un défaut de roulement (usure), à un défaut de charge, ou à un défaut de fabrication (usinage).

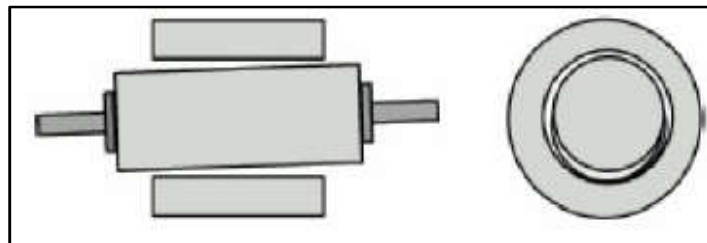
Trois cas d'excentricité sont généralement distingués :

- Excentricité statique : le rotor est déplacé du centre de l'alésage mais tourne toujours autour de son axe.
- Excentricité dynamique : le rotor est positionné au centre de l'alésage mais ne tourne plus autour de son axe.
- Excentricité mixte : il associe les deux cas précédemment cités.

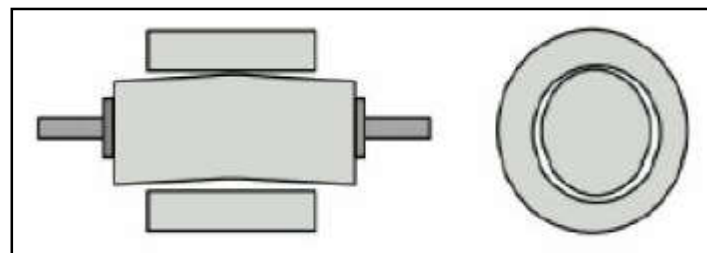
Ce défaut modifie les comportements magnétique et mécanique de la machine. En effet l'augmentation de l'excentricité dans l'entrefer induit une augmentation des forces électromagnétiques qui agissent directement sur le noyau statique ainsi que l'enroulement correspondant, d'une part il engendre une dégradation de son isolation. D'autre part cette augmentation peut avoir comme conséquence des frottements entre le stator et le rotor en raison des forces d'attraction magnétique qui déséquilibrent le système. Ceci donne naissance à des niveaux de vibration considérables dans les enroulements. [5]



(a)



(b)



(c)

Figure I -14 : Types d'excentricité (a)statique, (b) dynamique, (c) mixte

I-4-2 Défauts d'ordre mécanique

I-4-2-1 Défauts aux paliers

A- Défauts de roulements

Les roulements sont constitués généralement de deux bagues intérieure et extérieure entre lesquelles existent un ensemble de billes en acier.

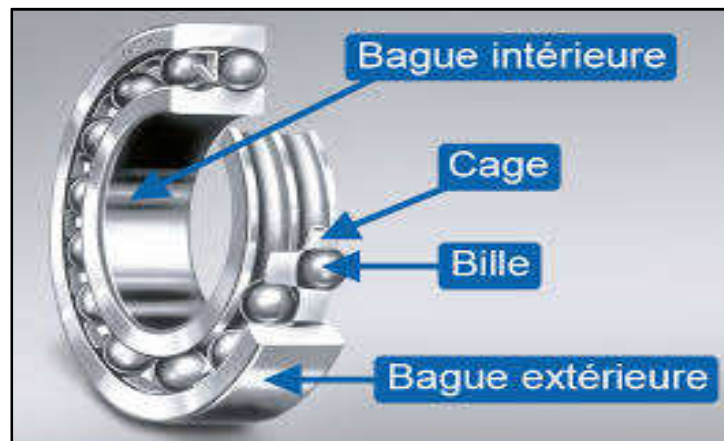


Figure I-15 : Roulement à bille

En outre, ils représentent l'élément de maintien de l'axe de la machine permettant d'assurer une bonne rotation du rotor. Ce type de défaut est le plus fréquent sur les machines de grande puissance. 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 sont : [8]

- 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).
- 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, un jeu entre la bague interne et la bague externe du roulement entraînant des vibrations par les déplacements du rotor autour de l'axe longitudinal de la machine. Dans le cas le plus défavorable la présence d'un roulement défectueux peut amener le blocage du moteur.



Figure I -16 : Les différents défauts dans un roulement [9]

B- Défaut de flasque

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

C- Défaut de l'arbre

L'arbre de la machine peut laisser paraître une fissure due à l'utilisation d'un mauvais matériau lors de sa construction. À court ou à long terme cette fissure peut mener à une fracture nette de l'arbre provoquant ainsi un arrêt irrémédiable de la machine asynchrone. Les milieux corrosifs peuvent aussi affaiblir la robustesse de l'arbre de la machine, Par exemple l'humidité peut provoquer de microfissures et conduire à une destruction complète de la machine.

Une excentricité statique, dynamique ou mixte peut induire des efforts considérables sur l'arbre du moteur amenant ainsi une fatigue supplémentaire. Une analyse vibratoire, une analyse par ultra son une analyse fréquentielle des courants absorbés ou simplement une analyse visuelle de l'arbre de la machine permet de détecter ce type de défaillance [11].

I-5 Conclusion

Après avoir étudié et représenté les différentes parties constituant la machine asynchrone triphasée à cage d'écurieil à savoir (stator, rotor, paliers...etc) et son mode de fonctionnement, nous nous sommes intéressés à énumérer les différents défauts qui peuvent se produire au niveau de la machine asynchrone en mettant l'accent sur leurs causes et conséquences.

Chapitre II
performances de la
machine asynchrone
sans défauts

Chapitre II

Performances de la

Machine Asynchrone

Sans défauts

II-1 Introduction

Les moteurs à induction sont les moteurs les plus utilisés dans l'industrie, ils couvrent presque tous les domaines en raison de leur facilité de production et de leur faible coût et ça malgré leur faible rendement.

Depuis de nombreuses années, les méthodes de conceptions sont bien développées et donc les moteurs sont standardisés. Des développements alors sur l'augmentation de leurs rendements se poursuivent en se basant sur les travaux principalement liés à la science et la production des matériaux améliorés.

Les outils de modélisations informatiques sont utilisés pour analyser les performances des moteurs avant leur production, ils permettent de réaliser de multiples itérations de conception à faible coût, de créer de nouveaux designs et même donner la possibilité de comprendre les dégradations des performances des moteurs en raison de certains défauts .

Les paramètres et les caractéristiques du moteur peuvent être calculés avec précision et prédits en termes de calcul de champ et de résultats d'analyse.

Dans ce chapitre-II le logiciel utilisé est ANSYS Maxwell, ce dernier est utilisé pour créer la géométrie et étudier les performances de la machine asynchrone à cage d'écurieil 2.2KW sans défaut qui se trouve dans le laboratoire de notre faculté.

II-2 Equations de Maxwell

Dans les machines électriques les équations qui régissent le champ électromagnétique sont les équations de Maxwell associées aux relations constitutives du milieu considéré, on les définit comme suit :

II-2-1 L'équation de Maxwell-Faraday

Un champ électrique peut induire un champ magnétique, ce champ induit est utilisé dans de nombreux générateurs électriques. Un aimant permanent en rotation qui crée un champ magnétique en mouvement génère un champ électrique.

Son expression est donnée par la relation suivante: [12], [13]

$$\overrightarrow{rot}\vec{E} = -\frac{\partial\vec{B}}{\partial t} \quad (II.1)$$

Où:

\vec{B} : L'induction magnétique [T]

\vec{E} : Le champ électrique [V/m]

II-2-2 L'équation de Maxwell-Ampere

On génère le champ magnétique \vec{H} de deux manières soit avec la variation d'un champ électrique ou par la variation des courants électriques.[12],[13] La relation liant ces phénomènes est donnée par

$$\text{rot}\vec{H} = \vec{J} + \frac{\partial\vec{D}}{\partial t} \quad (\text{II.2})$$

$$\vec{J} = \vec{J}_d + \vec{J}_c \quad [\text{A/m}^2] \quad (\text{II.3})$$

Avec :

\vec{J}_c : La densité de courant de conduction

\vec{J}_d : La densité de courant de déplacement

\vec{H} : Le champ magnétique [A/m]

$\frac{\partial\vec{D}}{\partial t}$: Densité de courant de déplacement [A/m²]

II -2-3 L'équation de Maxwell-Gauss

Les charges électriques génèrent un champ électrique orienté à partir des charges positives vers les charges négatives dans une surface de Gauss fermée. [12],[13]

- Équation de Gauss électrique

$$\text{div}\vec{D} = \rho \quad (\text{II.4})$$

- Équation de Gauss magnétique

$$\text{div}\vec{B} = 0 \quad (\text{II.5})$$

Avec :

\vec{D} : L'induction électrique[C/m²]

ρ : La densité de charge volumique[C/m³]

\vec{B} : L'induction magnétique [T]

Ces équations sont applicables sur tous les milieux, ce sont des équations locales. Les grandeurs E , D , H , B , et J (respectivement) ne sont pas indépendantes car elles sont liées par les lois du comportement du milieu.

II-3 Lois de comportement du milieu

II-3-1 Relation magnétique

$$\vec{B} = \mu \vec{H} + \vec{B}_r \quad (\text{II.6})$$

Avec :

$$\mu = \mu_0 * \mu_r \quad [\text{H/m}]$$

$$\mu_0 = 4 * \pi * 10^{-7}$$

\vec{B}_r : Le vecteur d'induction magnétique rémanente

μ_r : La perméabilité relative

μ_0 : La perméabilité du vide

Dans le vide

$$\vec{B} = \mu_0 \vec{H} \quad (\text{II.7})$$

II-3-2 Relation diélectrique

$$\vec{D} = \epsilon \vec{E} \quad (\text{II.8})$$

Avec :

$$\epsilon = \epsilon_0 * \epsilon_r$$

$$\epsilon_0 = 1/36 * \pi * 10^9 \quad [\text{F/m}]$$

ϵ_0 : La permittivité absolue du milieu

ϵ_r : La permittivité relative du milieu

II-3-3 Relation électrique (loi d'Ohm)

Quand un conducteur est soumis à un champ électrique, les charges électriques se mettent en mouvement (elles créent un courant électrique).

Son expression est donnée par: [12],[13]

$$\vec{J} = \vec{J}_s + \sigma \cdot \vec{E} + \sigma(\vec{u} \wedge \vec{B}) \quad (\text{II.9})$$

Avec :

\vec{J}_s : La densité de courant de source [A/m²]

$\sigma \cdot \vec{E}$: La densité des courants induits par la variation du champ électrique [A/m²]

$\sigma(\vec{u} \wedge \vec{B})$: La densité des courants induits par mouvement [A/m²]

\vec{u} : Vecteur des pièces conductrices susceptibles de se déplacer [m/s]

σ : la conductivité électrique [S/m]

Dans les milieux homogènes et isotropes, on admet :

$$\vec{J} = \sigma \cdot \vec{E} \quad (\text{II.10})$$

II-4 Conditions aux limites

Elles sont imposées sur les frontières d'un dispositif qui délimite un système électromagnétique, ces conditions seront imposées soit dans les frontières externes ou sur les frontières interfaces entre matériaux des propriétés différentes, on distingue 2 types de condition aux limites. [12], [13]

II-4-1 Condition Dirichlet

L'inconnu prend des valeurs données sur les bords du domaine on distingue deux types :

II-4-1-1 Dirichlet homogène

Où l'inconnu de l'équation est fixé sur la limite est considéré égale à zéro (A=0)

II-4-1-2 Dirichlet non homogène

Où l'inconnu est fixé sur la limite et sa valeur est non nulle $A \neq 0$

II-4-2 Condition Neumann

La valeur du gradient est connue sur les bords du domaine de résolution on distingue deux types :

II-4-2-1 Condition Neumann homogène

La dérivée par rapport à la normale de l'inconnu est nulle, car les lignes iso-valeurs de l'inconnu sont perpendiculaires à la limite $\frac{\partial A}{\partial n} = 0$.

II-4-2-2 Condition Neumann non homogène

Dans ce cas les lignes iso-valeur ne sont pas perpendiculaires à la limite elles forment un angle avec cette dernière $\frac{\partial \vec{A}}{\partial n} \neq 0$

Avec :

\vec{A} : Potentiel vecteur magnétique

II-5 ANSYS Maxwell

II-5-1 Editeur du logiciel

John A, Swanson est un ingénieur, entrepreneur et philanthrope américain. Il est le fondateur de la société ANSYS créée en 1970, il a reçu la médaille John Fritz et il est membre de l'académie nationale d'ingénierie américaine il est internationalement connu et considéré comme un des pionniers de la méthode des éléments finis dans l'ingénierie. [14]

II-5-2 Présentation du logiciel

ANSYS Maxwell est le logiciel de simulation des champs électromagnétiques leader de l'industrie pour la conception et l'analyse des moteurs électriques, actionneurs, capteurs, transformateurs et autres dispositifs électromagnétiques et électromécaniques. Avec Maxwell, vous pouvez caractériser avec précision le mouvement transitoire non linéaire des composants électromécaniques et leurs effets sur la conception du circuit d'entraînement et du système de commande.

Grace aux solveurs des champs électromagnétiques avancés de Maxwell reliés aux outils de simulation de circuits intégrés et de systèmes, vous pouvez comprendre la performance des systèmes électromécaniques bien avant de fabriquer le prototype physique. Ce laboratoire électromagnétique virtuel nous donne un avantage concurrentiel important: commercialisation plus rapide, réduction des coûts et amélioration de la performance du système. [15]

II-5-3 Solveurs du logiciel Maxwell 14.0

- Magnétique transitoire (dynamique)
- Électromagnétique fréquentiel
- Magnétostatique
- Electrostatique
- DC conduction
- Transitoire électrique

II-5-4 RMXprt

Le système RMXprt est un système récemment ajouté au logiciel Maxwell14.0 son rôle principal c'est la facilitation du travail et le gain de temps de simulation, cette amélioration consiste à ajouter des modèles ou des exemples prédéfinies auparavant dans une bibliothèque regroupant des centaines d'exemples, ces derniers permettent à l'utilisateur du logiciel de présenter une géométrie similaire à son besoin ou bien des fois identique, donc l'utilisateur a juste pour rôle d'apporter quelques modifications des paramètres spécifiques à sa machine à étudier et de commencer la simulation.

II-5-5 Etapes de conception et d'analyse d'un modèle de la machine asynchrone

Le logiciel Maxwell permet de résoudre des problèmes magnétiques et électriques, dans notre cas on a préféré créer un nouveau modèle dans RMXprt et non pas un exemple prédéfini de la bibliothèque. Dans le but de bien maîtriser le logiciel et de pouvoir insérer tous les paramètres concernant notre machine.

Pour créer puis étudier un dispositif avec ce logiciel on doit suivre les étapes suivantes:

1- On clique sur l'icône suivante:

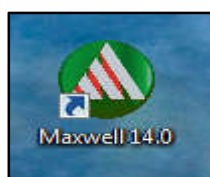


Figure II-1 : Icône du programme

Après avoir lancé le programme, une fenêtre par défaut s'affiche.

2- On clique sur "Insert RMXprt Design".

Une fenêtre pour le choix du type de la machine s'affiche, on choisit la machine " Three phase Induction Motor " on appuie sur ok, il va nous créer un modèle intitulé "RMxprt Design " "Three Phase Induction Motor" qu'on va enfin renommer à notre manière.

3- On insère les différents paramètres des composants essentiels de la machine (rotor, stator et l'arbre) cités ci-dessous.



a) **Machine:** (nombre de pôles, vitesse de référence, pertes mécaniques et pertes joules...etc).

- **Stator :**(diamètres extérieur et intérieur, nombre d'encoche et sont type, la longueur et le type du matériau avec le quel il est conçu).

- **Rotor :** (diamètres extérieur et intérieur, nombre d'encoche et son type, la longueur et le type du matériau avec le quel il est conçu).


- **Arbre :** on choisit seulement le matériau avec le quel il est conçu

b) **"Analysis" :** Setup (type de la machine (moteur ou générateur), la puissance Nominale, Tension, Vitesse....etc)



4- On valide notre" modèle"  puis on analyse avec "Analyse all " .

5- On appuie sur "Setup" puis sur "Create MaxwellDesign", une fenêtre s'affiche on sélectionne "Maxwell 2D design" puis sur OK.

6- On sélectionne "Maxwell2D" puis on appuie sur "Solution type", une fenêtre apparait puis on définit le type de la solution dans notre cas "Magnetic transient" (Magnétique transitoire).

7- Le logiciel crée un modèle 2D à partir de "RMxprt" puis on change le pas et le temps de simulation dans "Solution Setup" .

On appuie sur "Modele" puis "Motion Setup" enfin sur "Mechanical" puis on insère les paramètres mécaniques (couple résistant et moment d'inertie).

8- On valide notre "modèle"  puis on lance analyse avec "Analyse all" .

NB: Les conditions aux limites sont imposées automatiquement par le logiciel.

II-6 Conception et analyse des performances d'un moteur à cage d'écureuil avec RMxprt

Dans notre travail on a choisi un moteur existant dans le laboratoire, d'où on a exploré son cahier des charges et ses paramètres pour enfin les insérer dans notre logiciel afin de concevoir un modèle adéquat avec des résultats similaires à ceux du moteur à cage d'écureuil sain du laboratoire.

Ce moteur asynchrone est caractérisé par les grandeurs nominales présentées dans le tableau suivant :

Tableau II-1 Paramètres nominaux de la machine

Nom	Valeur	Unité
Puissance	2200	W
Tension	380	V
Vitesse	1410	tr/min
Fréquence	50	Hz
Température de fonctionnement	75	°C
Courant	5.2	A
Cos φ	0.83	–
Rendement	78	%
Branchement des bobines	Triangle	–

II-6-1 Différents paramètres du moteur sous RMxprt

Les paramètres du moteur sont présentés dans le tableau (II-2) ci-dessous

Tableau II-2 : Paramètres généraux du moteur

Nom		Valeur	Unité
Machine Type	Type de la machine électrique	Triphasée	–
Number of poles	Nombre de pôles	4	–
Stray loss factor	Coefficient de perte supplémentaire	0.023	–
Frictional loss	Pertes par frottement (mécanique)	48	W
Windage loss	Pertes par ventilation	151	W
Référence Speed	Vitesse de référence	1496	tr/min

Les paramètres généraux du stator sont présentés dans le tableau (II-3) ci-dessous

Tableau II-3 : Paramètres généraux du stator

Nom		Valeur	Unité
Outer Diameter	Diamètre extérieur	145	mm
Inner Diameter	Diamètre intérieur	88.5	mm
Lenght	Longueur de stator	110	mm
Stacking Factor	Facteur d'empilement	0.95	–
Steel Type	Type d'acier	METALS M800-50A	–
Number of Slots	Le nombre d'encoches du stator	36	–
Slot type	Type de l'encoche	2	–
Lamination Sectors	Nombre de secteurs	0	–
Press Board Thicknes	Ecart entre les plaques	0	mm
Skew Width	Différence de l'obliquité des encoches	0	–

Les paramètres des encoches statoriques sont présentés dans le tableau (II-4) ci-dessous

Tableau II-4 : Paramètres généraux des encoches du stator

Nom	Valeur	Unité
Hs0	1.05	mm
Hs1	0.8	mm
Hs2	10.585	mm
Bs0	2.8	mm
Bs1	4	mm
Bs2	6.16	mm

La figure ci-dessous représente le type d'encoches du stator

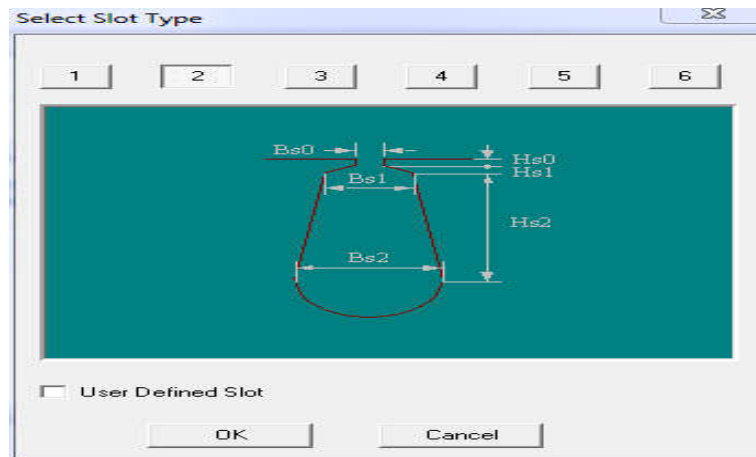


Figure II-2 : Type d'encoche du stator

Les paramètres de l'enroulement statorique sont présentés dans le tableau (II-3) ci-dessous

Tableau II-5 : Paramètres généraux de l'enroulement du stator

Nom	Valeur	Unité
Winding Layers	Nombre de couche	1
Winding Type	Type d'enroulement	Imbriqué
Parallel Branches	Nombre de branches parallèles	1
Conductors per slot	Nombre de conducteurs par encoche	64

Number of strands	Nombre de brins	1	–
Wire Wrap	épaisseur de l'isolant	0.043	mm
Wire Size	Diamètre du fil nu	0.71	mm

Après insertion des paramètres du stator on a obtenu la géométrie suivante

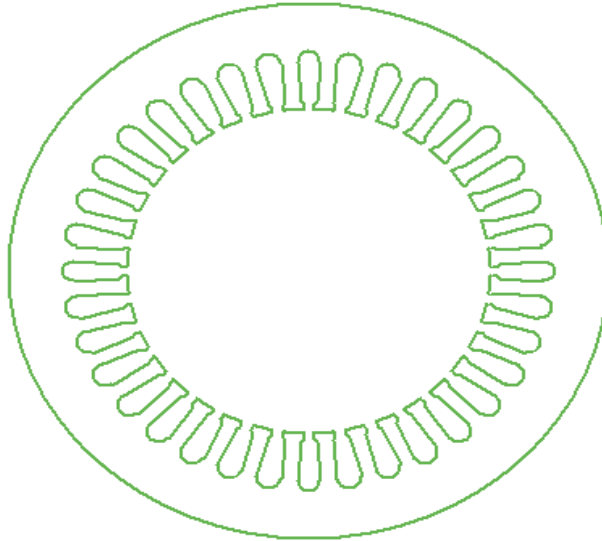


Figure II-3 : Géométrie du stator

Les paramètres généraux du rotor sont présentés dans le tableau (II-6) ci-dessous

Tableau II-6 : Paramètres généraux du rotor

Nom		Valeur	Unité
Stacking Factor	Facteur d'empilement	0.95	–
Number of Slots	Nombre d'encoches	28	–
Slot Type	Type d'encoches	1	–
Outer Diameter	Diamètre extérieur	88	mm
Inner Diameter	Diamètre intérieur	37	mm
Length	Longueur	110	mm
Steel Type	Type du matériau	METALS M800-50A	–
Skew Width	Inclinaison des encoches	0	–

Les paramètres des encoches rotoriques sont présentés dans le tableau (II-7) ci-dessous

Tableau II-7 : Paramètres généraux des encoches du rotor

Nom	Valeur	Unité
Hs0	0.315	mm
Hs01	0	mm
Hs2	11.7	mm
Bs0	1	mm
Bs1	4.42	mm
Bs2	1.8	mm

La figure ci-dessous représente le type d'encoches rotoriques

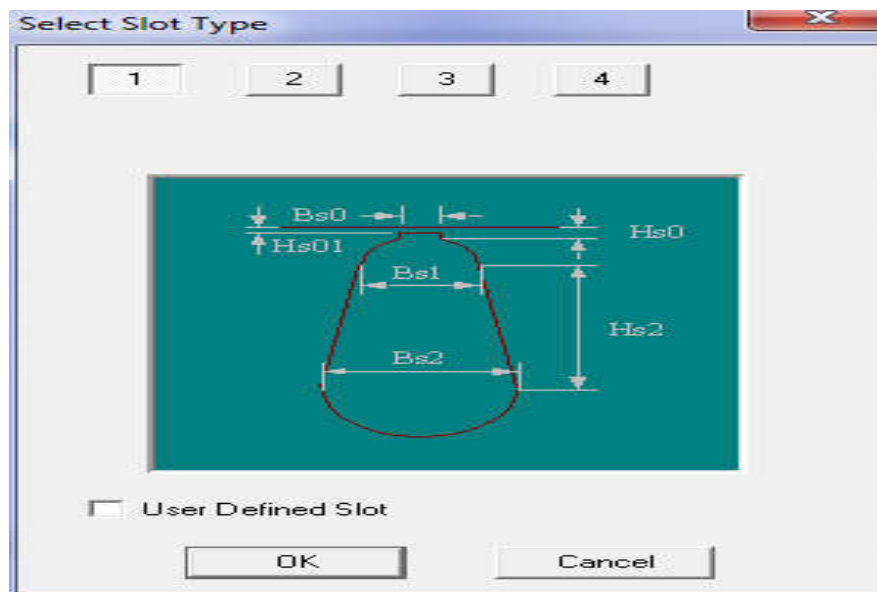


Figure II-4 : Type d'encoche du rotor

Les paramètres généraux des barres rotoriques sont présentés dans le tableau (II-8) ci-dessous

Tableau II -8 : Paramètres généraux des barres rotoriques

Nom	Valeur	Unité
Bar Conductor Type	Matériau des barres	Aluminium
End Length	Longueur de l'extrémité de la barre	7 mm

End Ring Width	Largeur de l'extrémité de l'anneau	13	mm
End Ring Height	Hauteur de l'extrémité de l'anneau	19.25	mm
End Ring Conductor Type	Matériau de l'anneau	Aluminium	–

Après insertion des paramètres du rotor on a obtenu la géométrie suivante

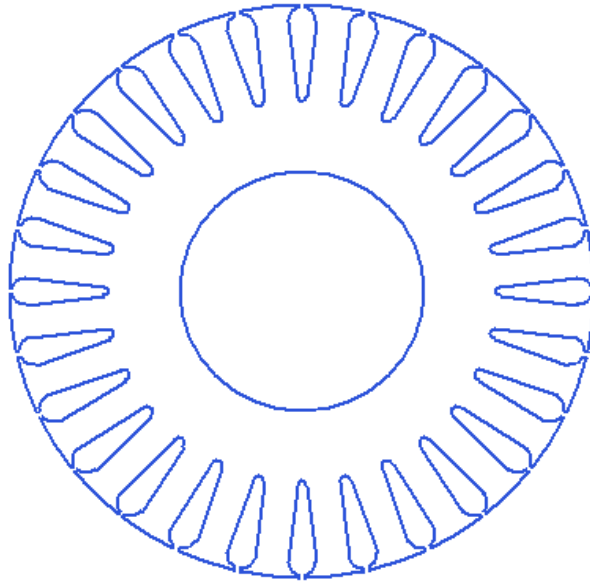


Figure II-5 : Géométrie du rotor

Le matériau constituant le circuit magnétique du moteur (stator et rotor) est un matériau ferromagnétique doux commercialisé sous le nom METALS M800 -50A, il est caractérisé par la courbe de magnétisation expérimentale donnée par la figure II-6

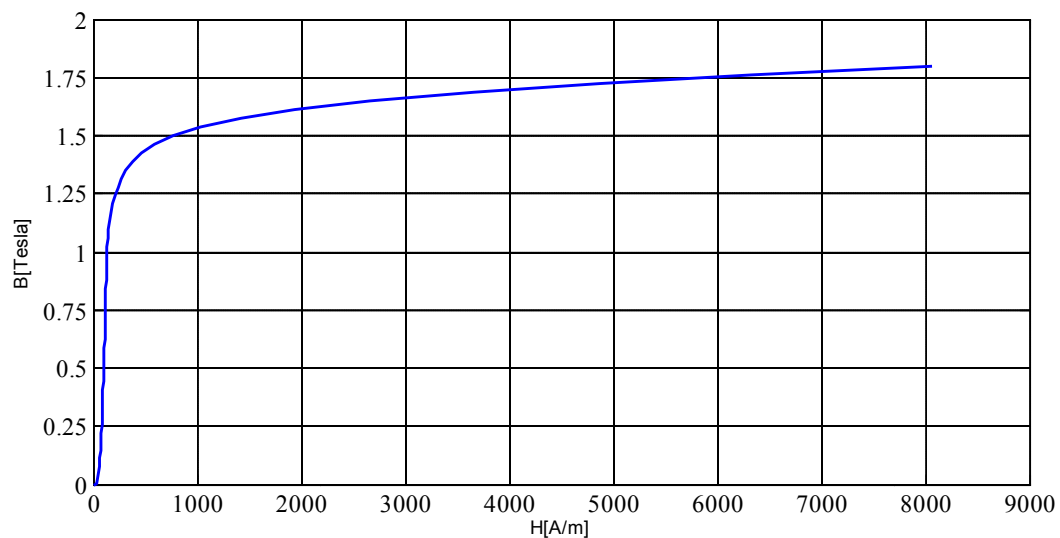


Figure II-6: Courbe de magnétisation du matériau**II-6-2 : Résultats d'analyse avec RMxprt**

Après insertion des paramètres généraux et simulation du modèle dans RMxprt on a obtenu des résultats numériques qui sont représentés dans le Tableau II-9 et d'autres représentés sous formes de courbes.

Le tableau (II-9) ci-dessous donne certains paramètres et performances du moteur

Tableau II-9 : Résultats obtenus en simulant avec RMxprt. [17]

Nom	Valeur	Unité
Vitesse de rotation	1450.53	tr/min
Courant de phase du stator	3.2022	A
Couple maximal	59.5478	Nm
Résistance du stator	8.51345	Ohm
Pertes totales	659.003	W
Puissance utile	2263.24	W
Cos φ	0.7866	–
Rendement	77.4487	%
Couple utile	14.8996	Nm

Les figures (II-7), (II-8), (II-9) et (II-10) représentent les performances du moteur sous forme graphique

La figure II-7 représente le couple en fonction de la vitesse

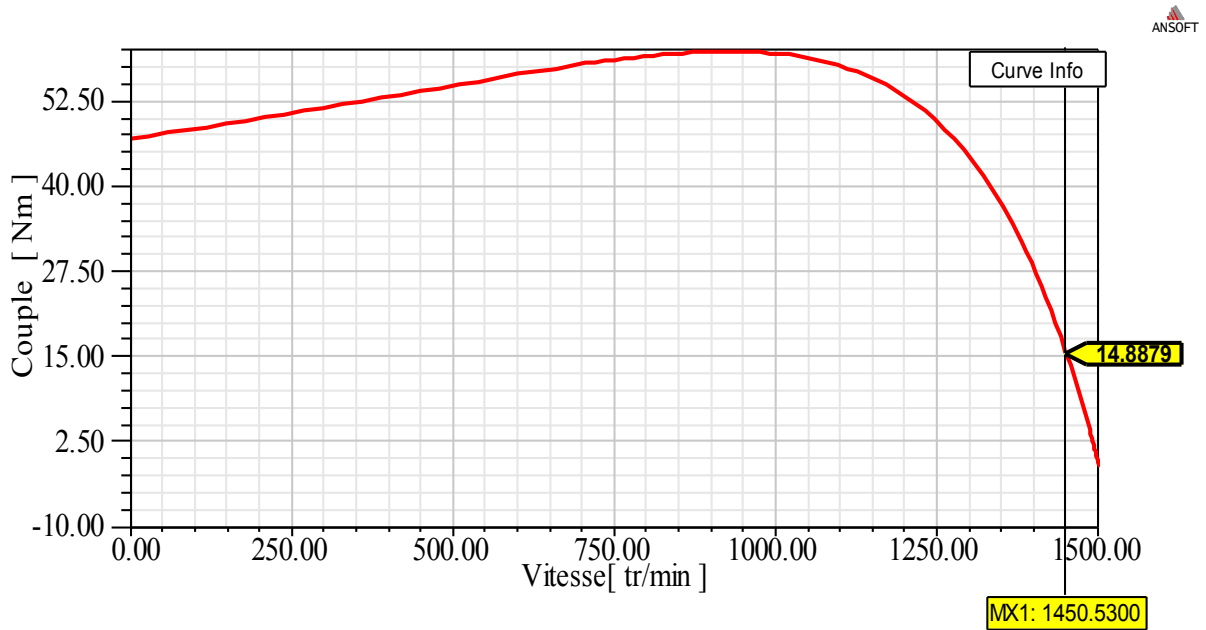


Figure II-7: Couple en fonction de la vitesse

La figure II-8 représente le courant en fonction de la vitesse

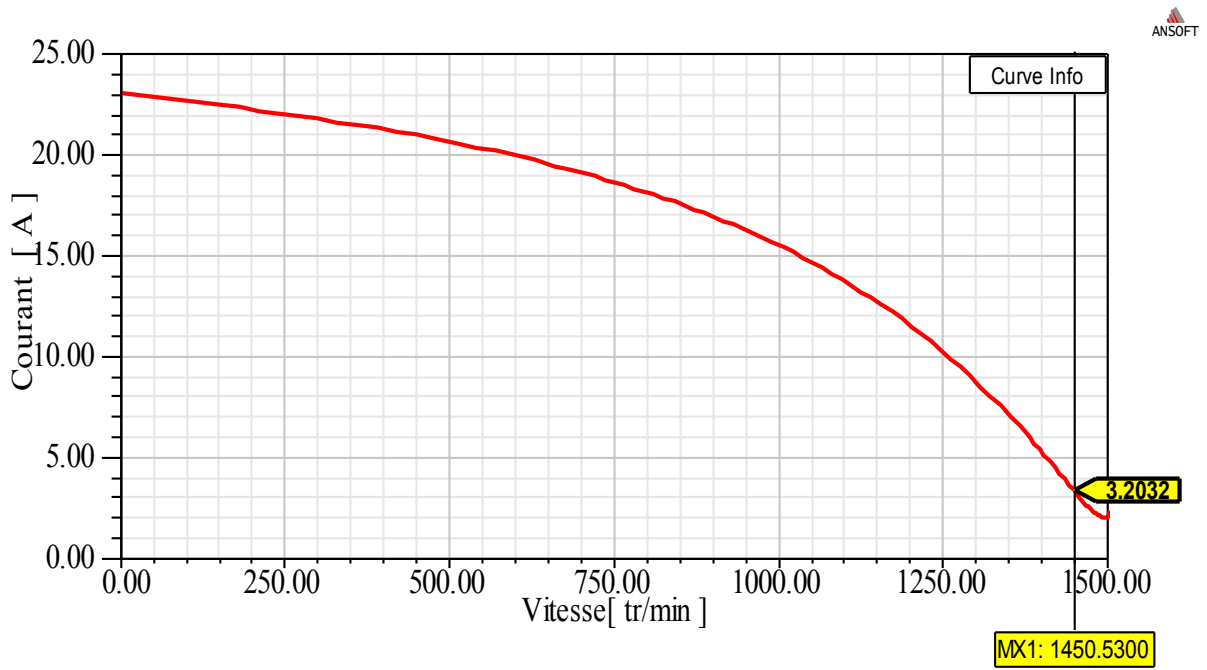


Figure II-8 : Courant en fonction de la vitesse

La figure II-9 représente le rendement en fonction de la puissance utile

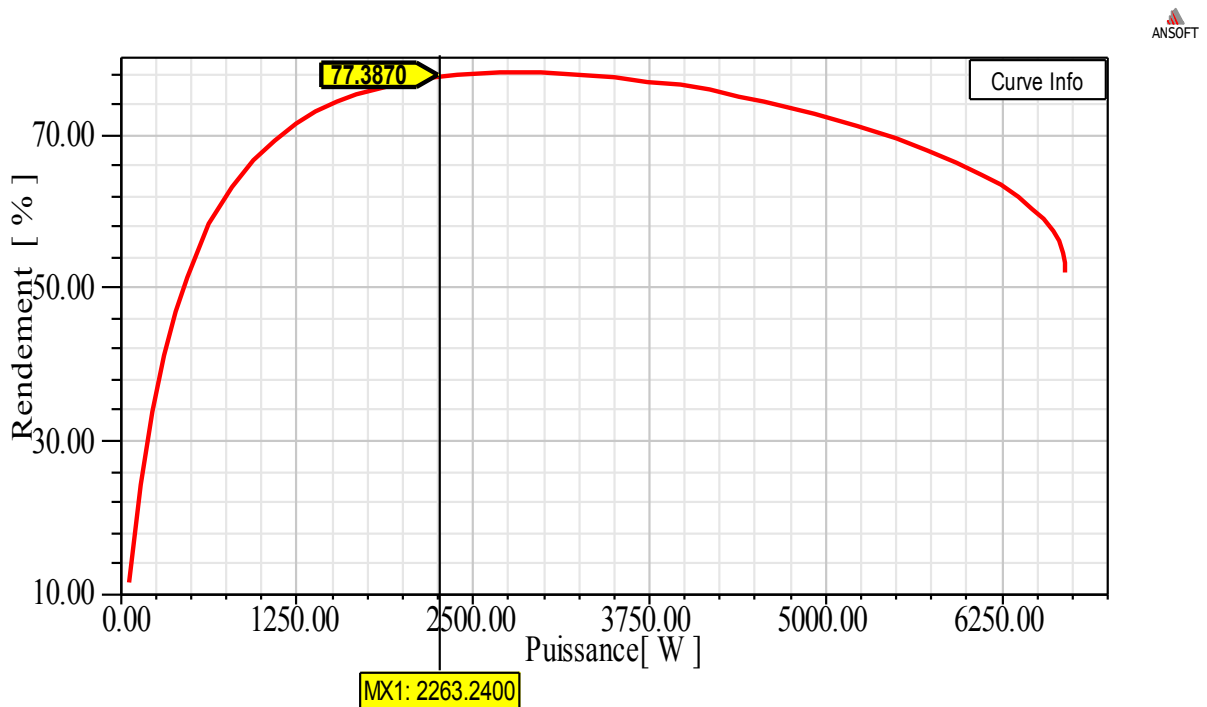


Figure II-9 : Rendement en fonction de la puissance utile

La figure II-10 représente la puissance utile en fonction de la vitesse.

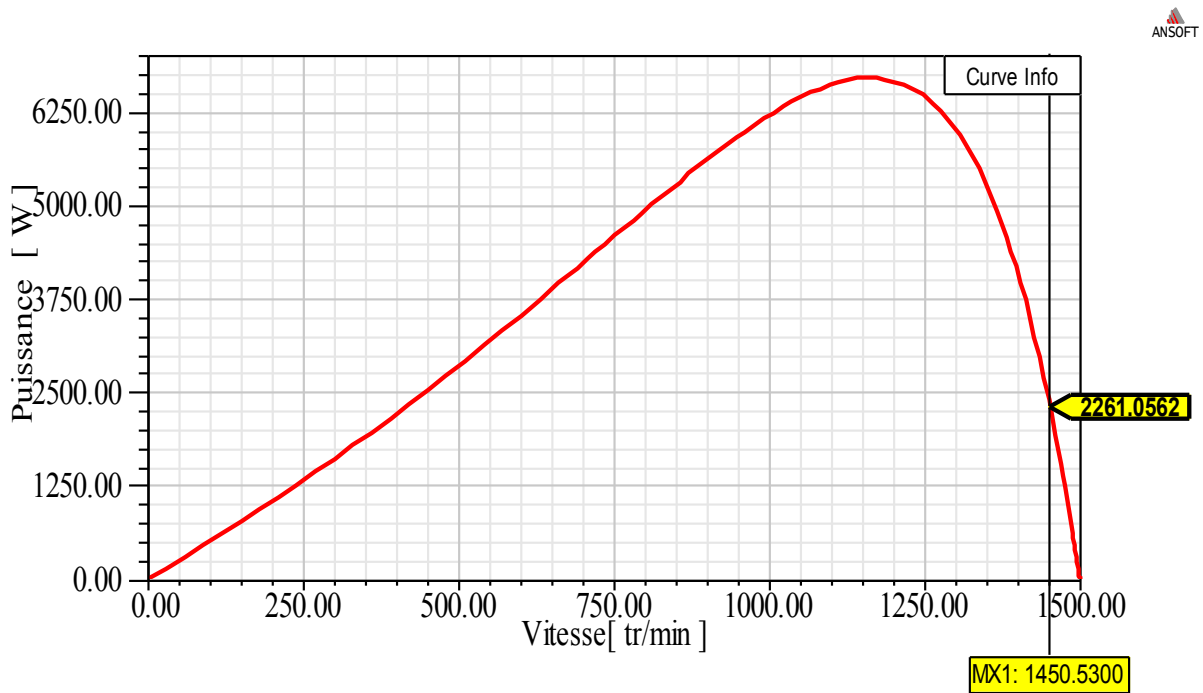


Figure II-10 : Puissance utile en fonction de la vitesse

II-6-3 Interprétation des Résultats d'analyse par RMxprt

II-6-3-1 Courbe de l'évolution du couple en fonction de la vitesse

On constate que pour une vitesse de rotation nulle, le couple existe et correspond au couple de démarrage qui est important, lorsque la vitesse augmente le couple augmente, ce couple correspond au couple résistant de la machine, ce couple passe par un point maximal puis décroît jusqu'à atteindre une valeur nulle à la vitesse de synchronisme, alors le glissement $g=0$ le rotor ne verra plus de variation de flux, pas de courants induits et donc pas de couple.

NB: En passant du couple maximal au couple minimal aux vitesses proches du synchronisme le couple passe par un point qu'on appelle point de fonctionnement nominal qui correspond à l'intersection de la vitesse nominale et le couple utile cités dans le Tableau II-9

II-6-3-2 Courbe de l'évolution du Courant en fonction de la vitesse

On constate que le courant de démarrage est 3 à 5 fois plus grand que le courant nominal et ça est dû au couple de démarrage qui est important, cette caractéristique on la retrouve sur la plaque signalétique d'un moteur asynchrone et qu'on appelle courant d'appel, il

est utilisé pour vaincre le couple résistant dû aux frottements et le couple résistant de l'inertie de la machine. Par la suite le courant est d'autant plus petit que la vitesse est plus grande.

II-6-3-3 Courbe du rendement en fonction de la puissance utile

On constate que le rendement de la machine asynchrone à cage est en nette amélioration et ça jusqu'au point correspondant à la valeur maximale au-delà le rendement diminue.

NB : on constate aussi que pour la valeur de la puissance $P=2263.24W$ on a la valeur du rendement $\eta=77.4487$ donnée par le Tableau II-9, cette valeur du rendement est très proche de celle du fonctionnement nominal pour la machine réelle.

II-6-3-4 Courbe de la puissance en fonction de la vitesse

On constate que si on fait une projection directe de la puissance $P=2263.24W$ sur l'axe des vitesses, on peut lire directement qu'elle se rapproche de la vitesse obtenue par la simulation $N=1450.53$ tr/min après simulation avec RMxpert, Donc c'est une validation des résultats obtenus qui sont résumés dans le Tableau II-9.

II-7 Conception et analyse des performances du moteur à cage d'écureuil avec Maxwell 2D

Tout au long de la première partie du travail, on a utilisé le modèle RMxpert pour vérifier les performances de la machine asynchrone sans défaut, mais cette étude reste incomplète vue qu'il y'a des performances importantes qu'on a pas cité, et pour cela on a créer un modèle Maxwell 2D à partir de RMxpert pour pouvoir étudier et évaluer les performances de la machine en question avec la méthode des éléments finis en régime dynamique.

La figure ci-dessous représente la géométrie d'un quart du modèle en 2D de la machine

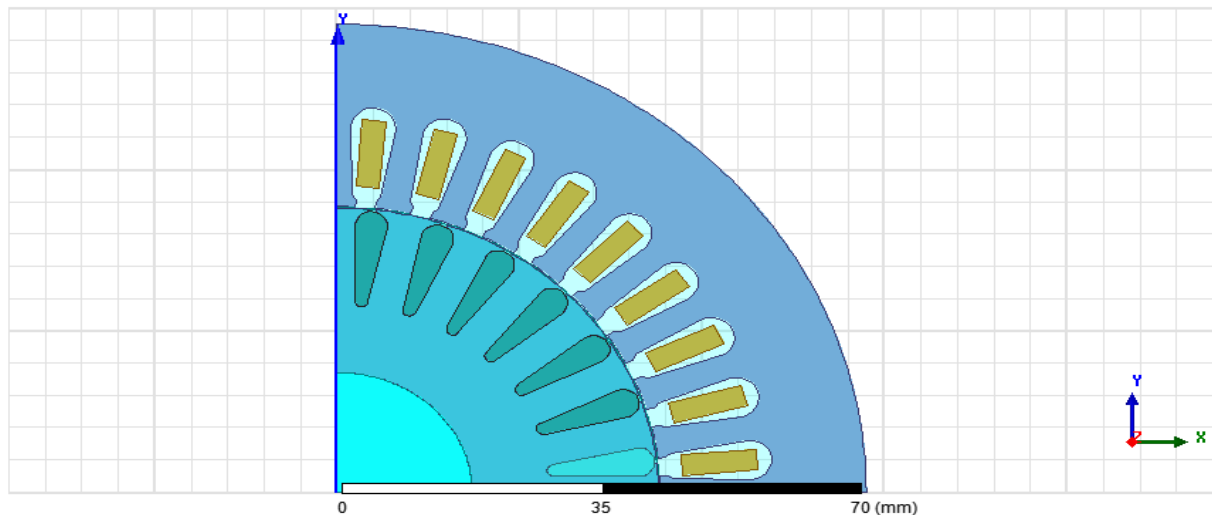


Figure II-11 : Géométrie d'un quart du modèle en 2D de la machine

II- 7-1 Fonctionnement à vide

Le tableau ci-dessous donne les paramètres mécaniques du moteur sous Maxwell-2D

Tableau II-10 : Paramètres mécaniques du moteur sous Maxwell2D à vide

Nom	Valeur	Unité
Vitesse initiale	0	tr/min
Moment d'inertie	0.0015	Kg m ²
Amortissement	0.003	N-m-sec/rad
Couple de charge	0	Nm

II- 7-1-1 Résultats de simulation du modèle 2D à vide

Après insertion des paramètres de la machine à vide et simulation du modèle 2D, on a fixé le temps de simulation à 200ms et on a obtenu les résultats suivants :

La figure ci-dessous représente le maillage à vide

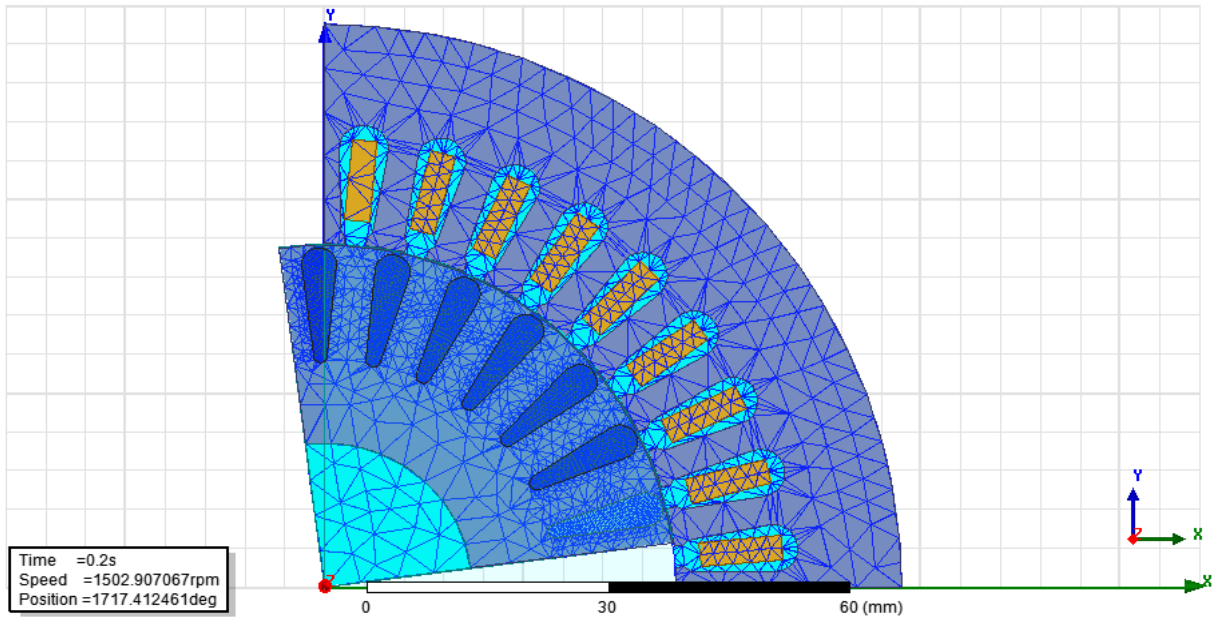


Figure II-12 : Maillage à vide

La figure ci-dessous représente les lignes de flux à vide

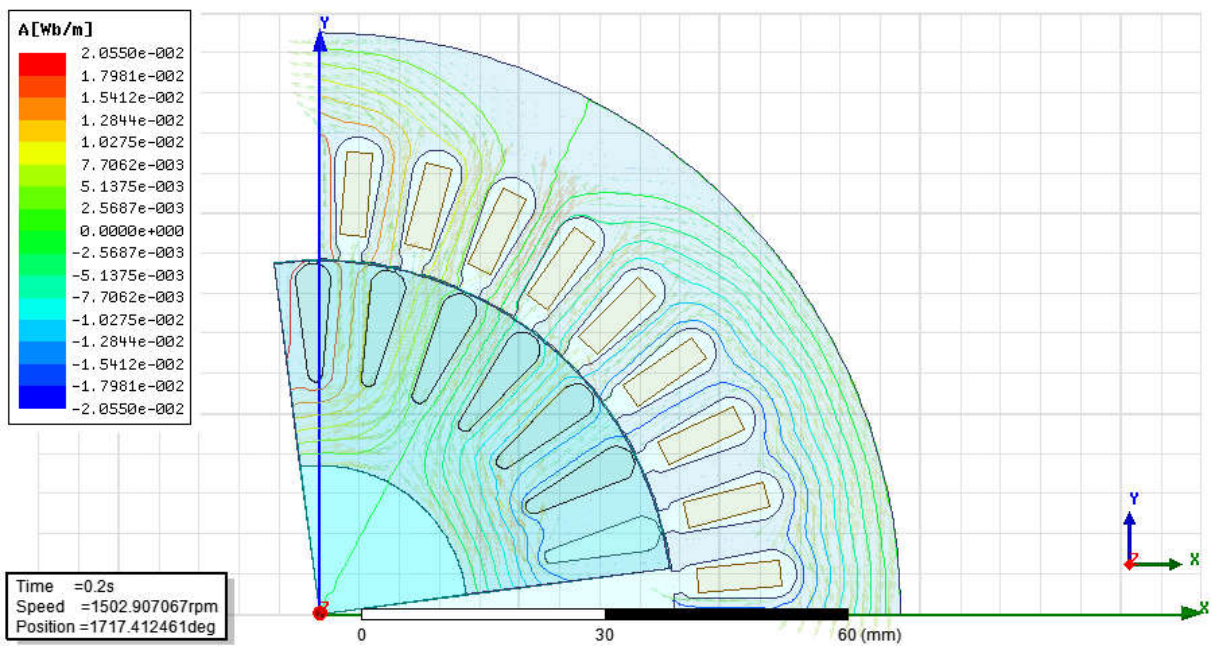


Figure II-13 : Lignes de flux à vide

La figure ci-dessous représente l'induction magnétique à vide

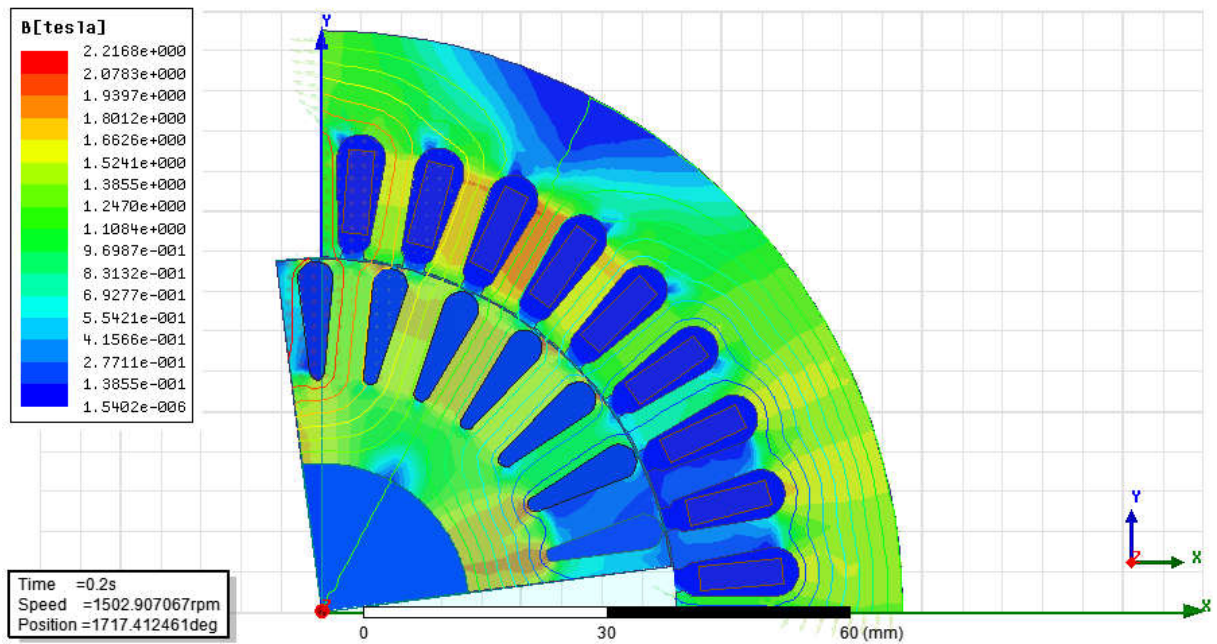


Figure II-14 : Induction magnétique à vide

La figure ci-dessous représente le couple en fonction du temps à vide

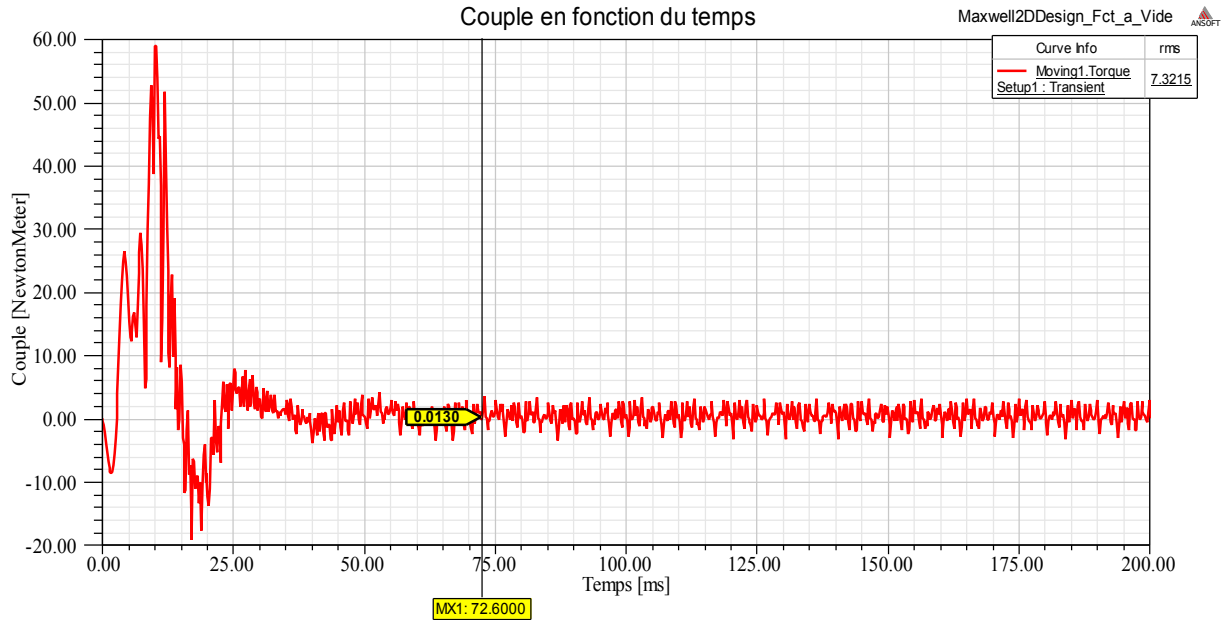


Figure II-15 : Couple utile en fonction du temps à vide

La figure ci-dessous représente la vitesse en fonction du temps à vide.

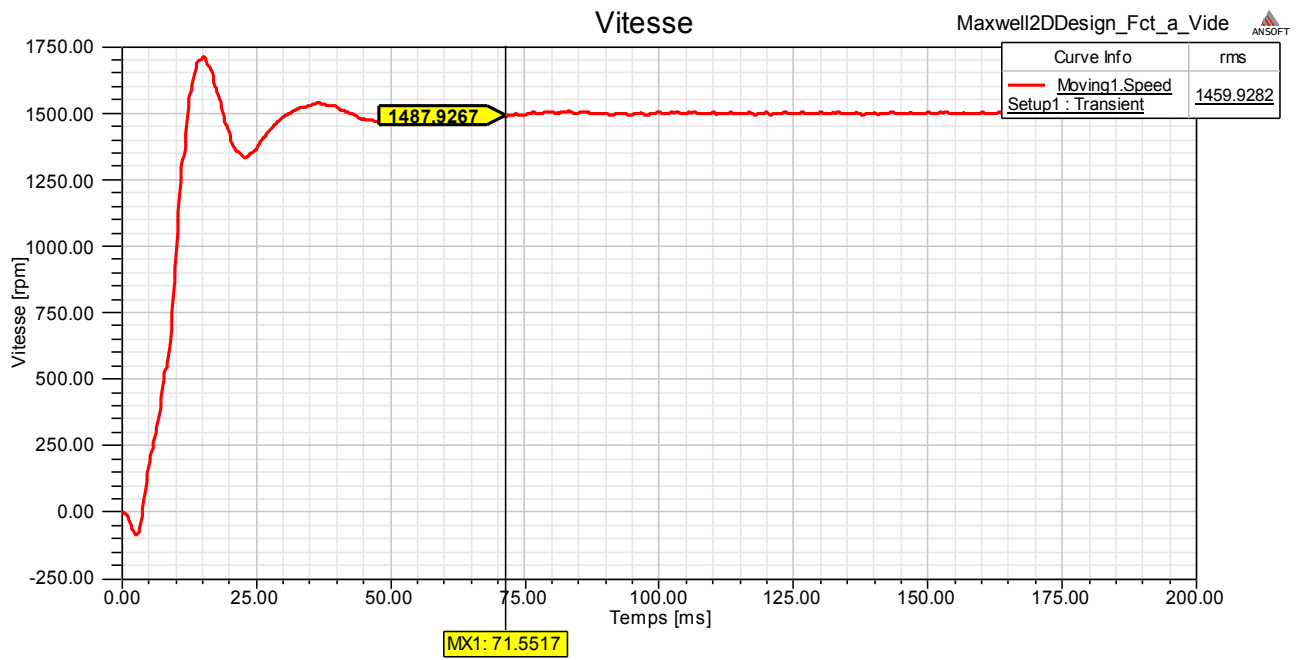


Figure II-16 : Vitesse en fonction du temps à vide.

La figure ci-dessous représente les courants en fonction du temps à vide avec le régime transitoire inclus

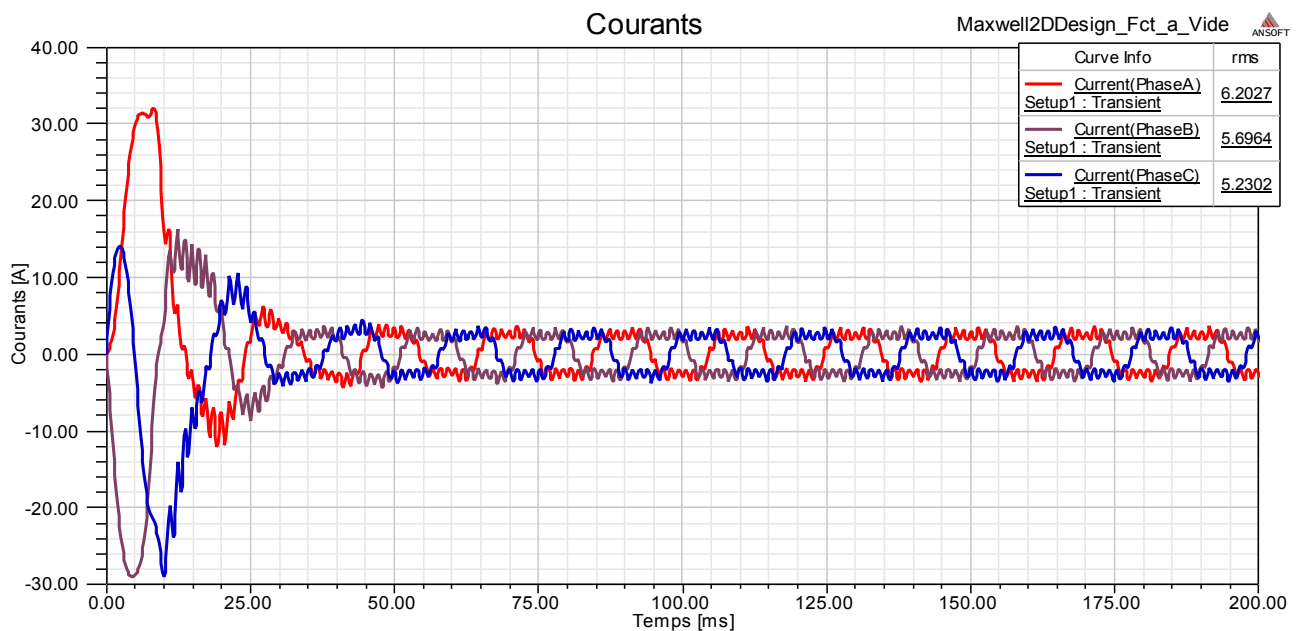


Figure II-17 : Courants statoriques en fonction du temps à vide

II- 7-1-2 Interprétation des résultats de simulation du modèle 2D à vide

- **Les lignes de flux**

On constate de la Figure II-13 que les lignes de flux cernent essentiellement les pôles de la machine et elles passent par l'entrefer pour arriver jusqu'au rotor, la majorité de ces lignes passent par le fer et non pas par les encoches car le fer présente une perméabilité très élevée contrairement à celle des encoches (celle de l'air).

On remarque aussi qu'il n'y a pas de lignes de flux au niveau des encoches statoriques, des barres rotoriques et de l'arbre.

- **L'induction magnétique B**

On constate de la Figure II-14 que l'induction magnétique B est concentrée au niveau de la culasse et des dents statoriques et rotoriques. Ça est dû à la perméabilité qui est grande dans les régions citées, Cette induction magnétique est moins grande voir nulle dans les encoches statoriques, les barres rotorique et dans l'arbre et ça est dû à sa faible perméabilité (milieux non magnétique).

L'induction magnétique est plus concentrée au niveau des surfaces réduites par exemple au niveau des dents statoriques et rotoriques et elle est moins concentrée dans les grandes surfaces par exemple dans la culasse vue la fonction $B = \frac{\phi}{S}$.

- **Couple utile en fonction du temps**

On constate de la Figure II-15 de l'évolution du couple utile en fonction du temps pour le fonctionnement à vide au régime transitoire que le couple est très grand et ça est dû au couple de démarrage du moteur ou ce dernier doit vaincre le couple résistant dû aux frottements et celui dû à l'inertie. Au-delà de ce régime à $t=60\text{ms}$ on atteint le régime permanent, où le couple se stabilise et se rapproche de zéro à ($t=72.6\text{ms}$ le couple= 0.013Nm) et ça est dû au manque de la charge (fonctionnement à vide) donc le moteur développe un couple qui correspond au couple de pertes pour vaincre le couple de frottement et le couple d'inertie de la machine $C_u - C_r = 0$.

- **Vitesse en fonction du temps**

On constate de la Figure II-16 de l'évolution de la vitesse en fonction du temps à vide que la vitesse passe par un régime transitoire variable [0-70] ms. Au-delà, la vitesse atteint son régime permanent à vide caractérisé par une vitesse proche du synchronisme à ($t=71.55$ ms la vitesse $N=1487.92$ tr/min) et ça est dû au glissement qui est très faible.

$$g = \frac{N_s - N}{N_s} = \frac{1500 - 1455.03}{1500} = 0.03298$$

- **Courant statorique en fonction du temps à vide**

On constate de la Figure II-17 de l'évolution des courants en fonction du temps à vide qu'au démarrage on enregistre de forts courants pour les trois phases et ça est dû au couple de démarrage de la machine ou cette dernière fait appel à des courants supplémentaires (courants d'appel), c'est le régime transitoire. Au-delà les courants diminuent jusqu'à ce qu'ils se stabilisent à des valeurs proches des résultats trouvés par RMxpert dans le tableau II-9.

NB : On remarque que les valeurs efficaces (rms) des courants sont légèrement en hausses à cause du régime transitoire qui est inclus lors des calculs.

II- 7-2 Fonctionnement en charge

Le tableau ci-dessous nous montre quelques paramètres mécaniques modifiés pour le fonctionnement en charge du moteur sous Maxwell-2D

Tableau II- 11: Paramètres mécaniques du moteur sous Maxwell-2D en charge

Nom	Valeur	Unité
Vitesse initiale	0	tr/min
Moment d'inertie	0.0015	Kg m ²
Amortissement	0.003	N-m-sec/rad
Couple de charge	14.8996	Nm

II- 7-2-1 Résultats de simulation du modèle 2D en charge

Après insertion des paramètres de la machine en charge et simulation du modèle 2D on a obtenu les résultats suivants :

La figure ci-dessous représente le maillage en charge

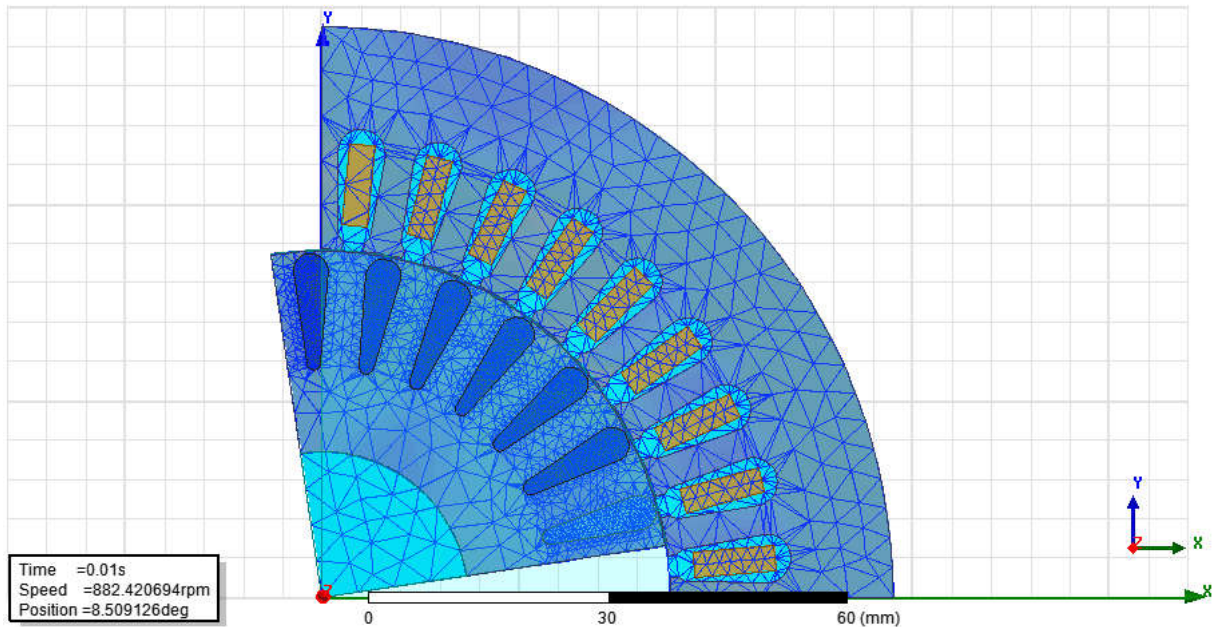


Figure II-18 : Maillage en charge

La figure ci-dessous représente les lignes de flux en charge

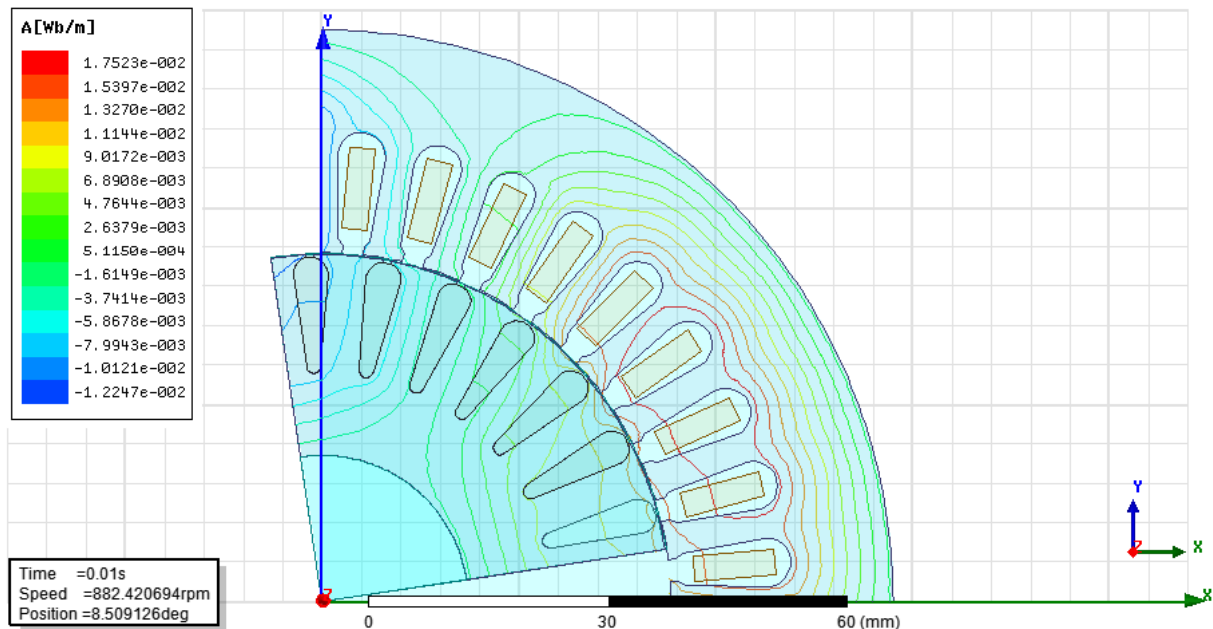


Figure II-19 : Lignes de flux en charge

La figure ci-dessous représente l'induction magnétique en charge

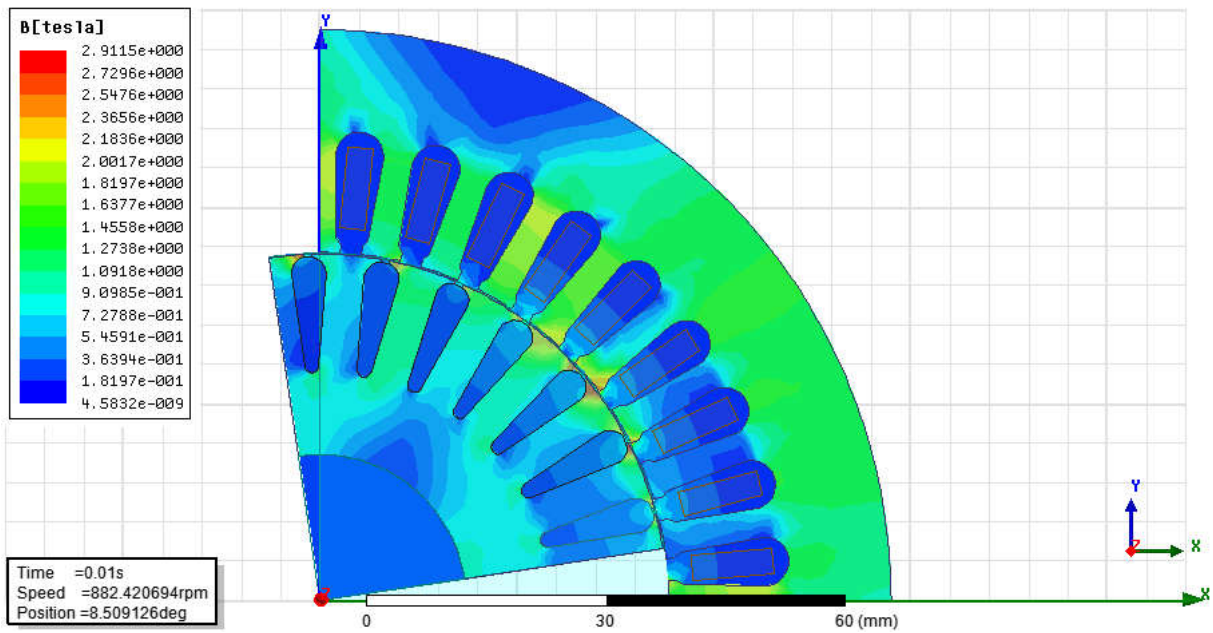


Figure II-20 : Induction magnétique en charge

La figure II-21 représente le couple utile en fonction du temps en charge

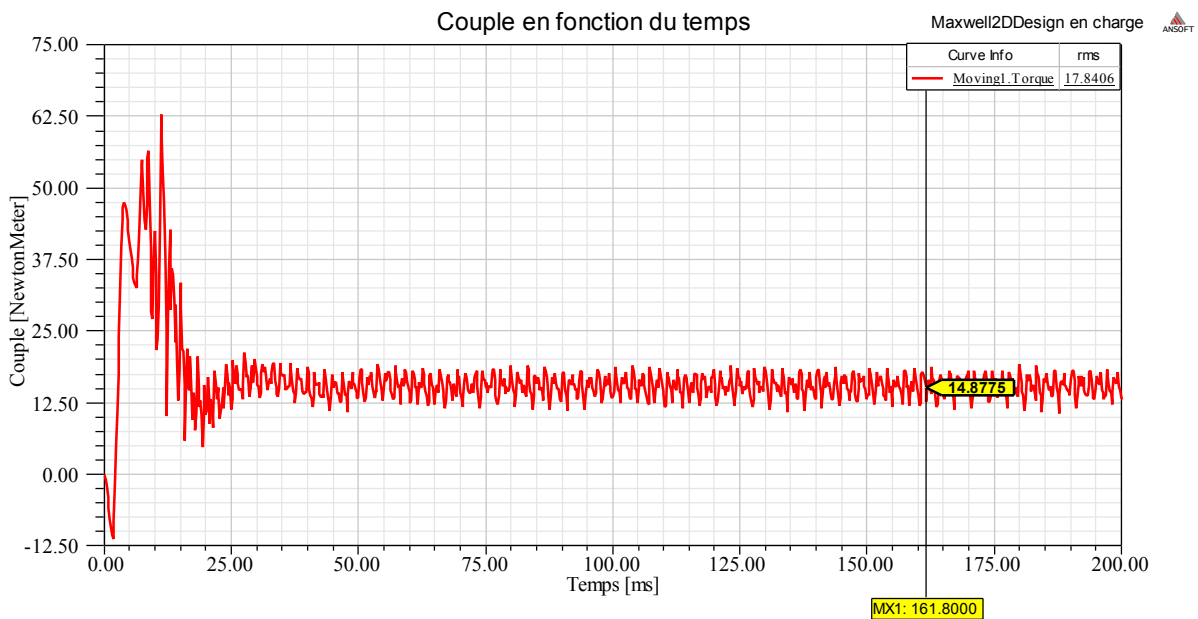


Figure II-21 : Couple utile en fonction du temps en charge

La figure II-22 représente la vitesse en fonction du temps en charge

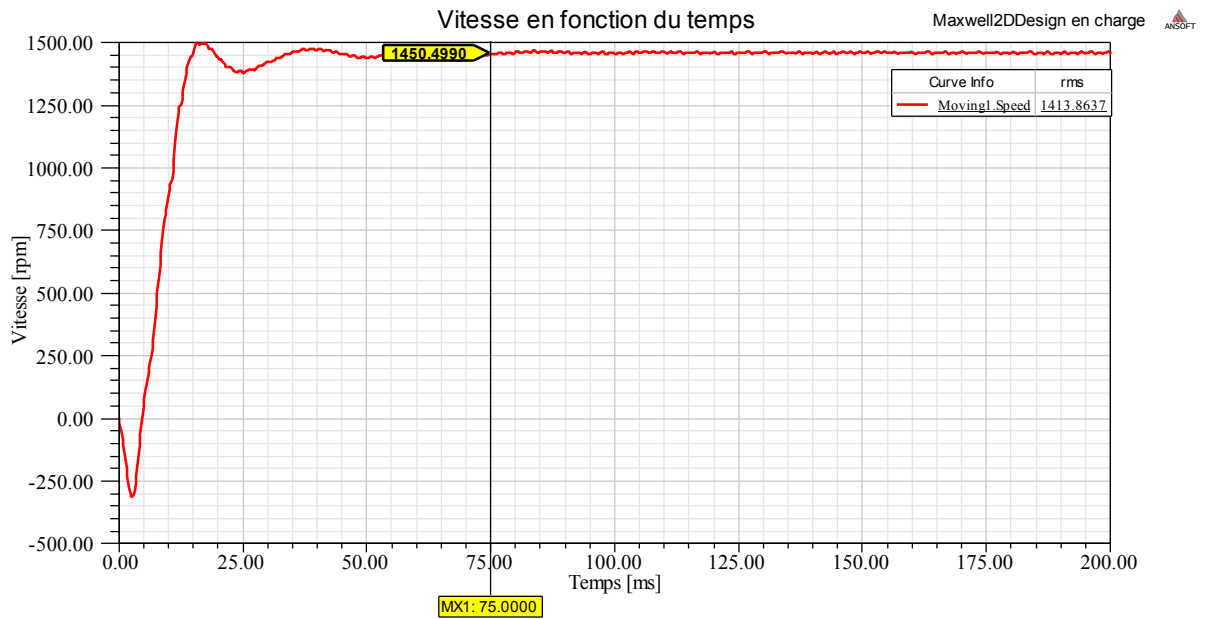


Figure II-22 : Vitesse en fonction du temps en charge

La figure II-23 représente les courants en fonction du temps en charge

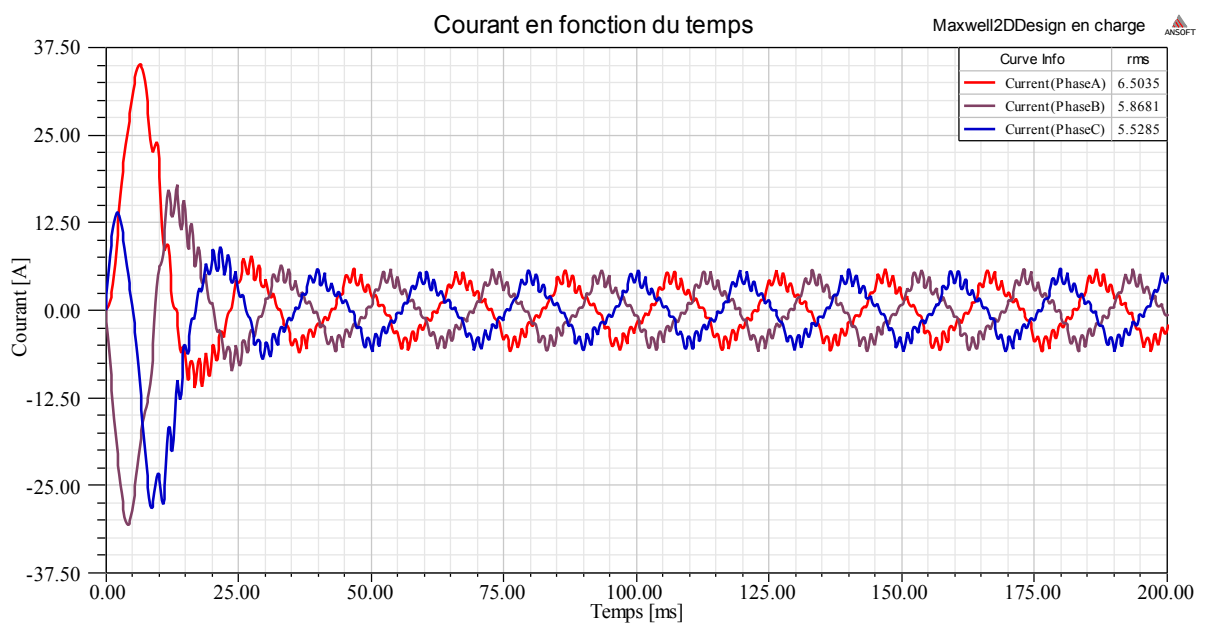


Figure II-23 : Courants en fonction du temps en charge

En régime permanent

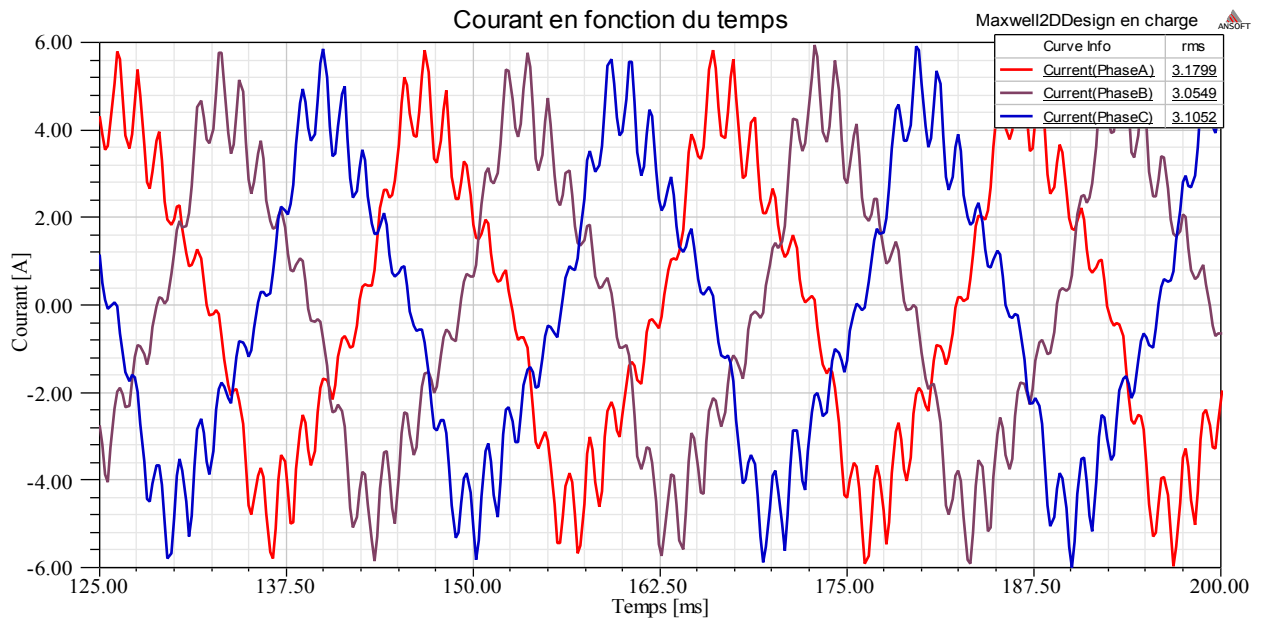


Figure II-24 : Courants en fonction du temps en charge et en régime permanent

II-7-2-2 Interprétation des résultats de simulation du modèle 2D en charge

- **Lignes de flux**

On constate de la Figure II-19 que les lignes de flux cernent essentiellement les pôles de la machine et elles passent par l'entrefer pour arriver jusqu'au stator, la majorité de ces lignes passent par le fer et non pas par les encoches car le fer présente une perméabilité très élevée contrairement à celle des encoches (celle de l'air).

On remarque aussi qu'il n'y a pas de lignes de flux au niveau des encoches statoriques et des barres rotoriques et que la densité de flux est légèrement inférieure à celle du fonctionnement à vide.

- **Induction magnétique B**

On constate de la Figure II-20 que l'induction magnétique B est concentrée au niveau de la culasse et des dents statoriques et rotoriques. Ça est dû à la perméabilité qui est grande dans les régions citées, Cette induction magnétique est moins grande voir nulle dans les encoches statoriques, dans les barres rotoriques et dans l'arbre et ça est dû à sa faible perméabilité, et que l'induction magnétique B est plus grande en charge que celle à vide (saturation de la machine).

L'induction magnétique est plus concentrée au niveau des surfaces réduites par exemple au niveau des dents statoriques et rotoriques et elle est moins concentrées dans les grandes surfaces par exemple dans la culasse vue la fonction $B = \frac{\phi}{S}$.

- **Couple utile en fonction du temps en charge**

On constate de la Figure II-21 de l'évolution du couple utile en fonction du temps pour le fonctionnement en charge au régime transitoire de $t=[0- 50]$ ms que le couple est très grand et ça est dû au couple de démarrage du moteur où ce dernier doit vaincre le couple résistant dû aux frottements et celui dû à l'inertie. Au-delà de ce régime le moteur atteint son régime permanent où le couple se stabilise et se rapproche du couple de charge $C_u=14.8996\text{Nm}$, c'est l'équilibre entre la charge et le couple moteur.

Par exemple pour $t=161.8\text{ms}$ le couple $C_u=14.8775\text{Nm}$

- **Vitesse en fonction du temps en charge**

On constate de la Figure II-22 de l'évolution de la vitesse en fonction du temps en charge que la vitesse passe par un régime transitoire de $t= [0-70]$ ms . Au-delà, la vitesse atteint la vitesse de rotation enregistrée en simulant avec RMXprt qui est citée dans le tableau II-9 et c'est le régime permanent.

Par exemple, pour $t=75\text{ms}$ la vitesse $N=1450.499\text{tr/min}$

- **Courant en fonction du temps en charge**

On constate de la Figure II-23 de l'évolution des courants en fonction du temps en charge qu'au démarrage on enregistre des forts courants pour les trois phases et ça est dû au couple de démarrage de la machine ou cette dernière fait appel à des courants supplémentaires (courants d'appel) c'est le régime transitoire. Au-delà les courants diminuent jusqu'à ce qu'ils se stabilisent à des valeurs efficaces proches du courant nominal $I_n= 5.2\text{A}$ et c'est ce qui confirme les résultats trouvés dans le tableau II-9 des résultats RMXprt et c'est le régime permanent.

II-8 Conclusion

Dans ce chapitre on a pu se familiariser avec le logiciel Maxwell14.0. En premier lieu on a utilisé l'application RMXprt du logiciel pour définir la géométrie de notre machine puis on a déterminé par simulation les performances de la machine Asynchrone à cage d'écurueil 2.2 kW à l'état sain. Les résultats obtenus par RMXprt sont proches des résultats obtenus en charge et les résultats expérimentaux de la machine étudiée.

Dans le but d'étudier certaines performances de la machine en régime dynamique (transitoire) on a créé un modèle 2D à partir de RMXprt où on a simulé le moteur à vide puis en charge. Les résultats obtenus montrent l'efficacité du logiciel Maxwell 2D à déterminer et analyser les performances de la machine asynchrone par la méthode des éléments finis.

Chapitre III
performances de la
machine asynchrone
sous défauts

Chapitre III

Performances de la machine Asynchrone sous défauts

III-1 Introduction

Lorsque trois tensions d'alimentations ne sont pas identiques en amplitudes ou ne sont pas décalées d'un angle de 120° les unes des autres, on parlera de déséquilibre du système triphasé. Dans ce chapitre en utilisant toujours le logiciel Maxwell14.0, on étudiera les performances du même moteur asynchrone à cage d'écureuil 2.2 KW en charge et en présence de défauts.

Dans notre travail on s'intéressera juste à un déséquilibre des phases d'alimentation d'où on analysera les performances en régime permanent. Pour se faire nous avons insérer le défaut dans la phase B en injectant des tensions moindres de 5% et 10% à la tension nominale.

III-2 Sources du déséquilibre

Le déséquilibre de tension est principalement dû aux :

- Courant de charge déséquilibré: Ceci est fréquent pour les récepteurs triphasés basse tension, et pour les récepteurs monophasés hautes tensions comme la machine à souder, fours à arcs et la traction ferroviaire.
- Courant circulant dans des impédances déséquilibrées : Comme les impédances des réseaux électriques (inductance et capacité), les enroulements des transformateurs triphasés et des machines tournantes dûs à une conception erronée.

III-3 Paramètres des phases d'alimentation sous défaut

Dans cette étape on donne les paramètres qu'on doit changer pour aboutir au déséquilibre de la phase B puis on lance la simulation pour enfin pouvoir analyser les résultats et les performances de la machine à cage d'écureuil sous ce défaut.

Le tableau III-1 représente les valeurs des tensions d'alimentation des trois phases avec 5% et 10% de chute de tension dans la phase B respectivement.

Tableau III-1 : Paramètres d'excitation des phases

Phase	Valeur	Unité
Phase A	380	V
Phase B	361/342	V
Phase C	380	V

III-4 Résultats de simulation du modèle 2D sous défaut

III-4-1 Résultats de simulation avec 5% de chute de tension dans la phase B

Après avoir insérer les valeurs des tensions d'alimentation pour les trois phases avec 5% de chute de tension dans la phase B et simulation du modèle 2D, nous avons obtenu les résultats suivants :

La figure ci-dessous représente le maillage avec 5% de chute de tension dans la phase B

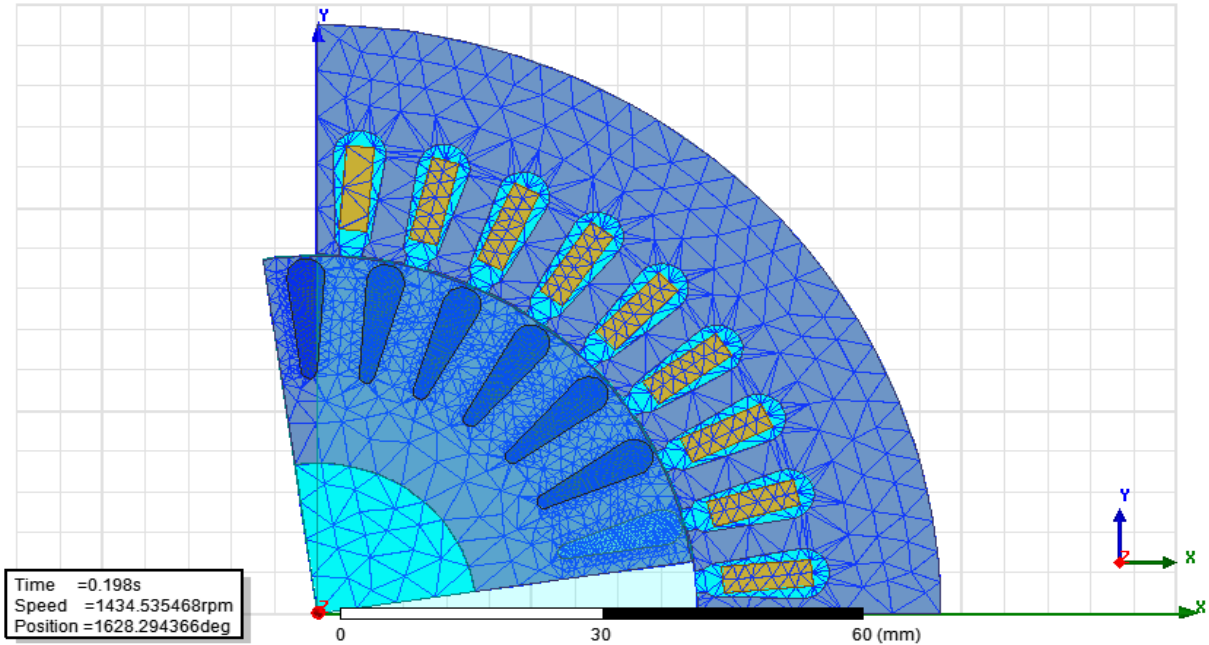


Figure III-1 : Maillage avec 5% de chute de tension

La figure ci-dessous représente les lignes de flux avec 5% de chute de tension dans la phase B

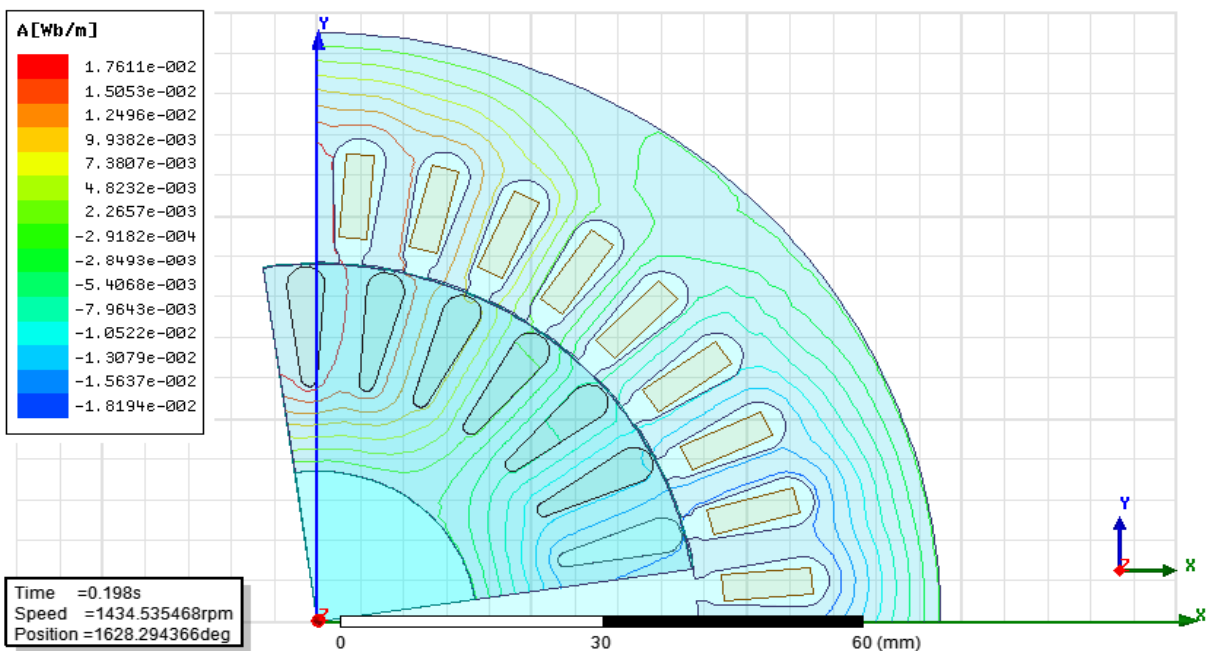


Figure III-2 : Lignes de flux avec 5% de chute de tension

La figure ci-dessous représente l'induction magnétique B avec 5% de chute de tension dans la phase B

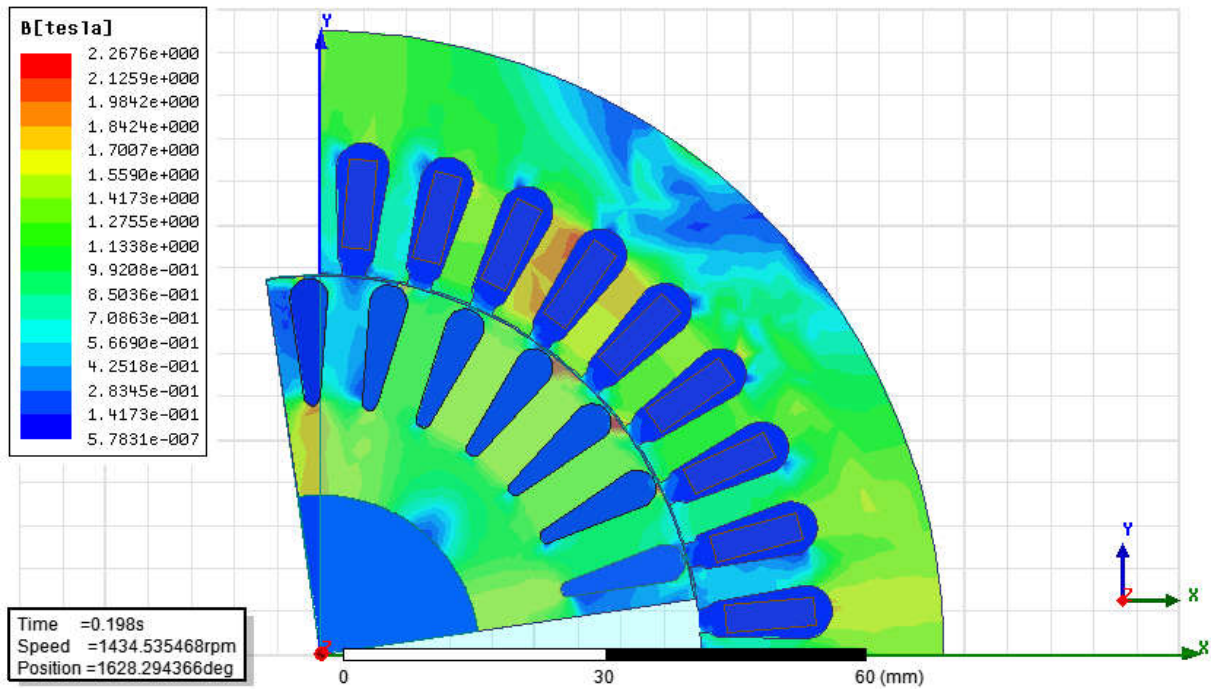


Figure III-3 : Induction magnétique avec 5% de chute de tension

Les figures ci-dessous représentent le couple en fonction du temps avec 5% de chute de tension dans la phase B

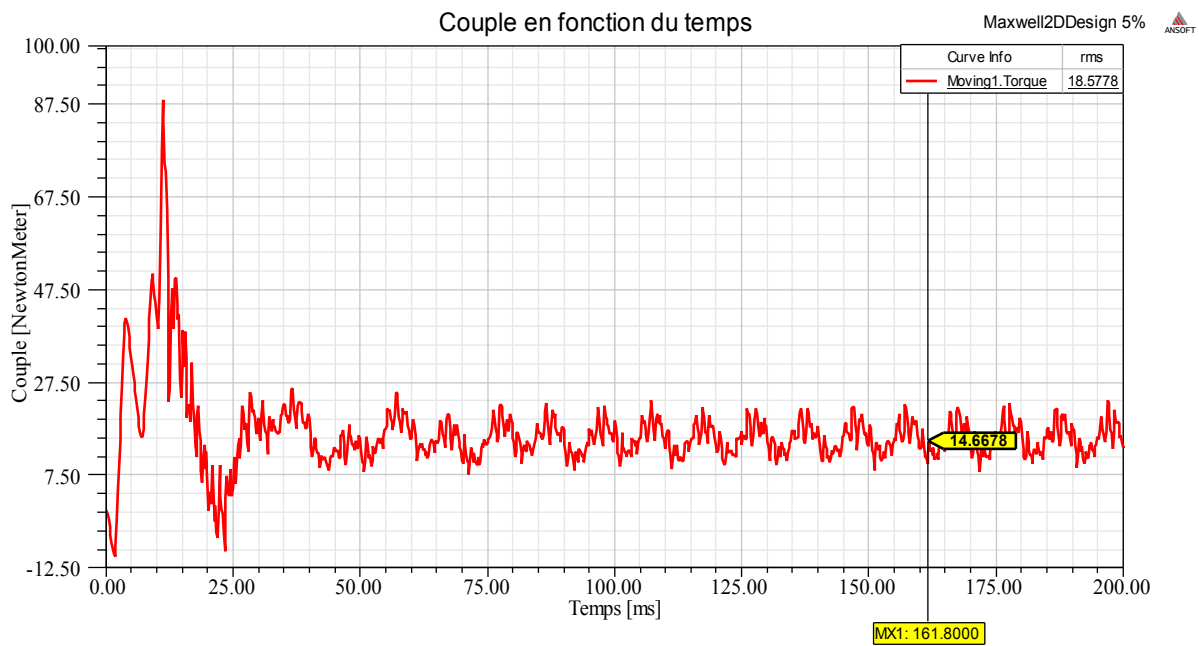


Figure III-4 : Couple utile en fonction du temps avec 5% de chute de tension

En régime permanent

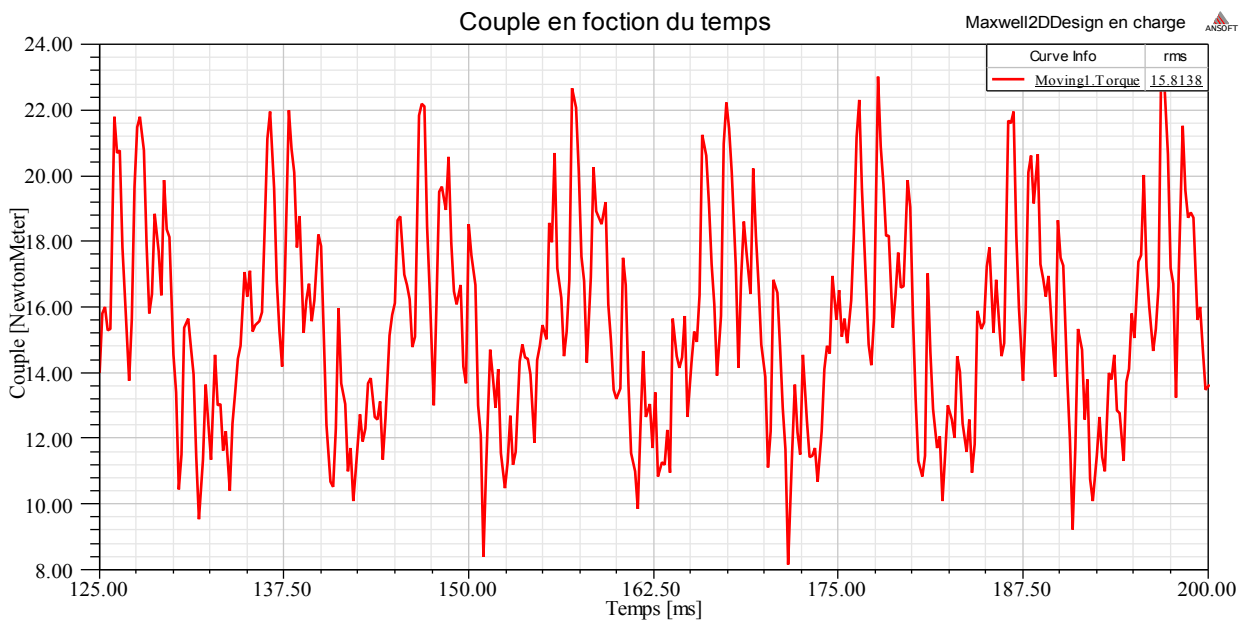


Figure III-5 : Couple utile en fonction du temps avec 5% de chute de tension en régime permanent

Les figures ci-dessous représentent la vitesse en fonction du temps avec 5% de chute de tension dans la phase B

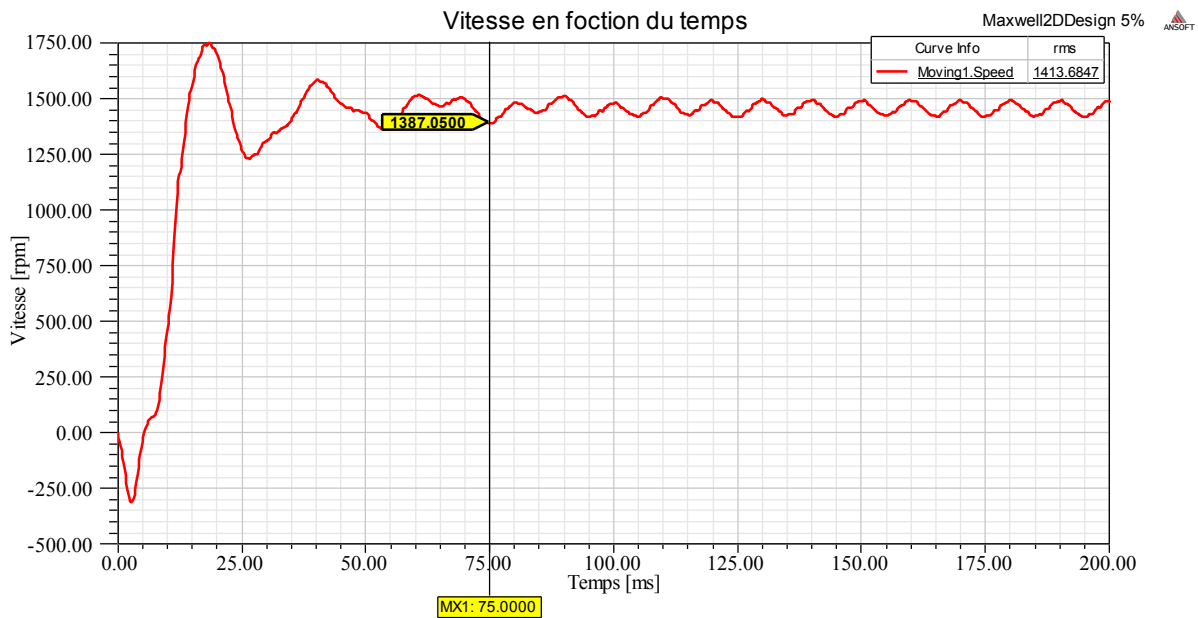


Figure III-6 : Vitesse en fonction du temps avec 5% de chute de tension

En régime permanent

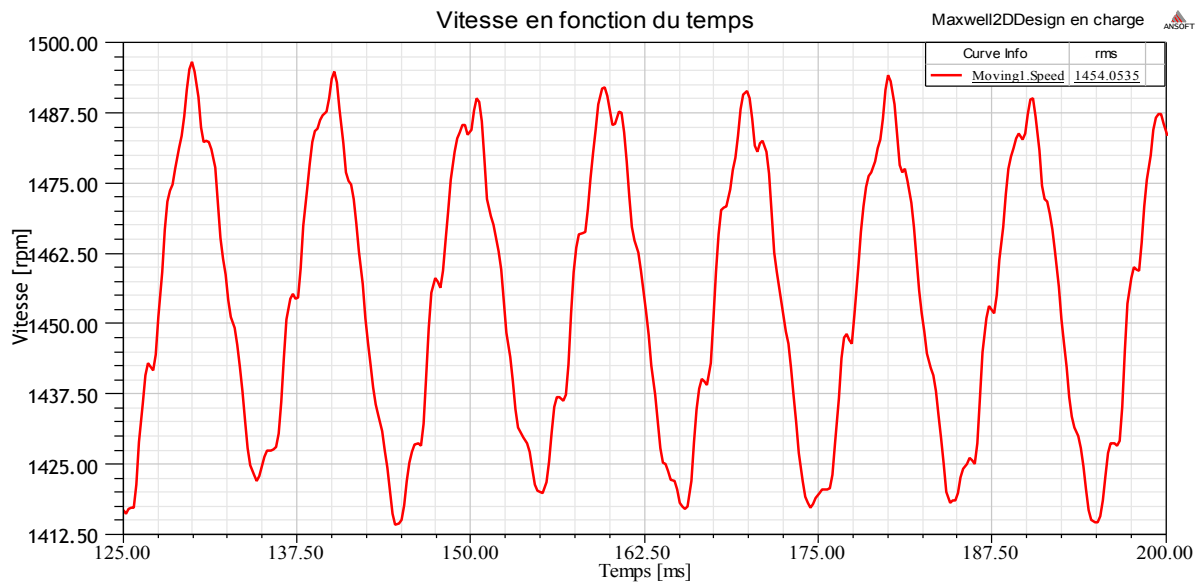


Figure III-7 : Vitesse en fonction du temps avec 5% de chute de tension en régime permanent

Les figures ci-dessous représentent les courants en fonction du temps avec 5% de chute de tension dans la phase B

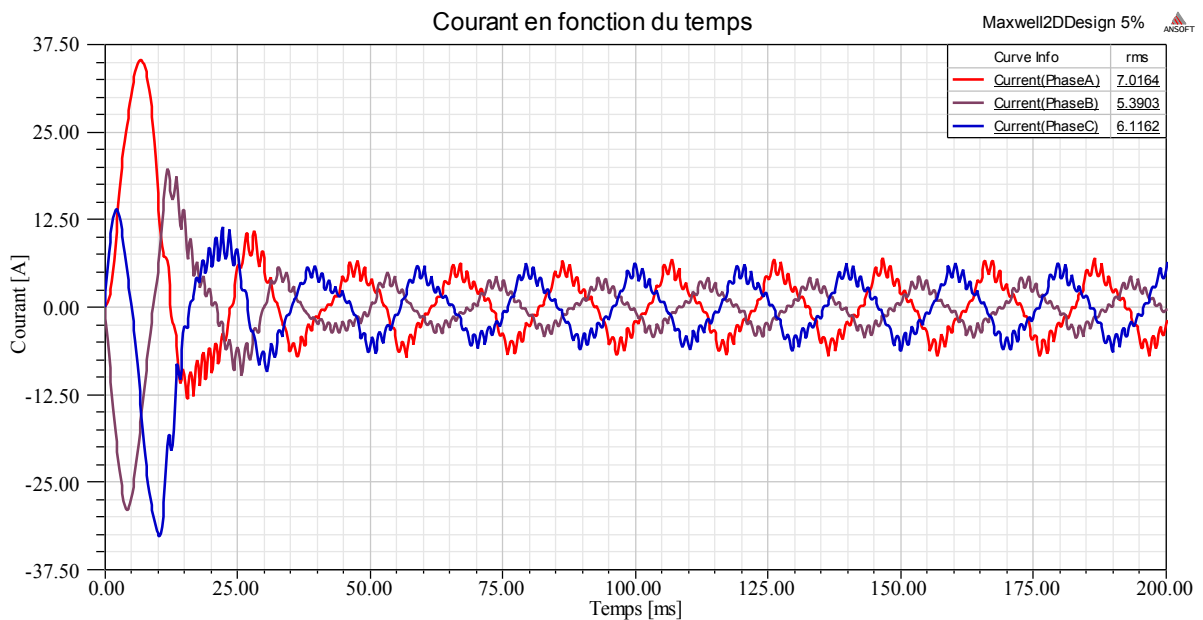


Figure III- 8 : Courants en fonction du temps avec 5% de chute de tension

En régime permanent

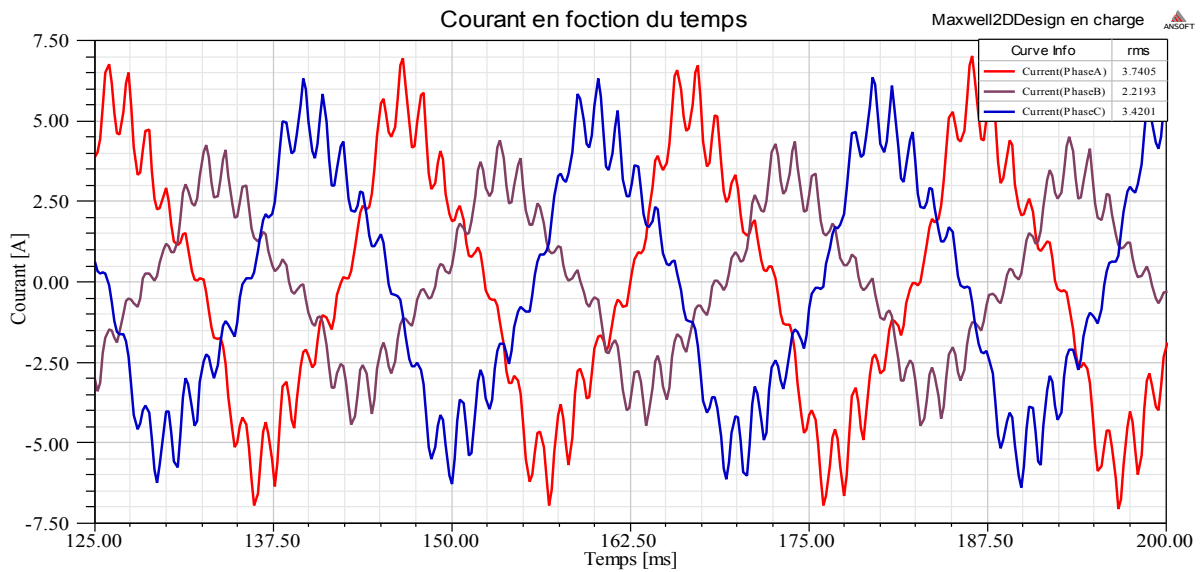


Figure III- 9 : Courants en fonction du temps avec 5% de chute de tension en régime permanent

III-4-2 Résultats de simulation avec 10% de chute de tension dans la phase B

Après avoir insérer les valeurs des tensions d'alimentation pour les trois phases avec 10% de chute de tension dans la phase B et simulation du modèle 2D, nous avons obtenu les résultats suivants :

La figure ci-dessous représente le maillage avec 10% de chute de tension dans la phase B

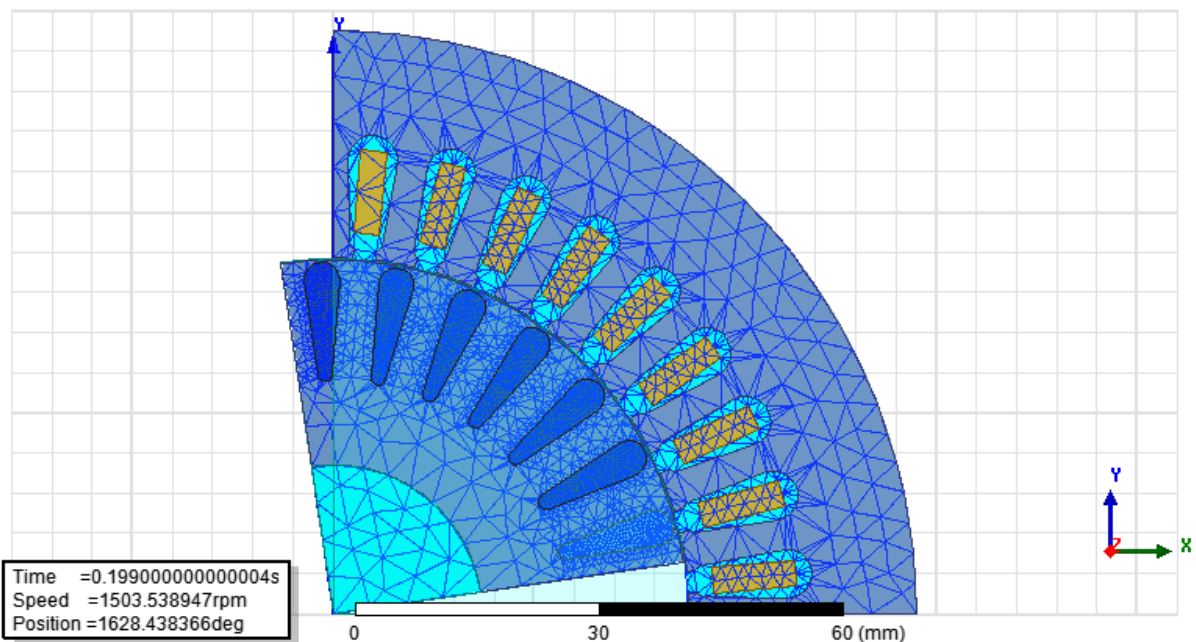


Figure III-10 : Maillage avec 10% de chute de tension

La figure ci-dessous représente les lignes de flux avec 10% de chute de tension dans la phase B

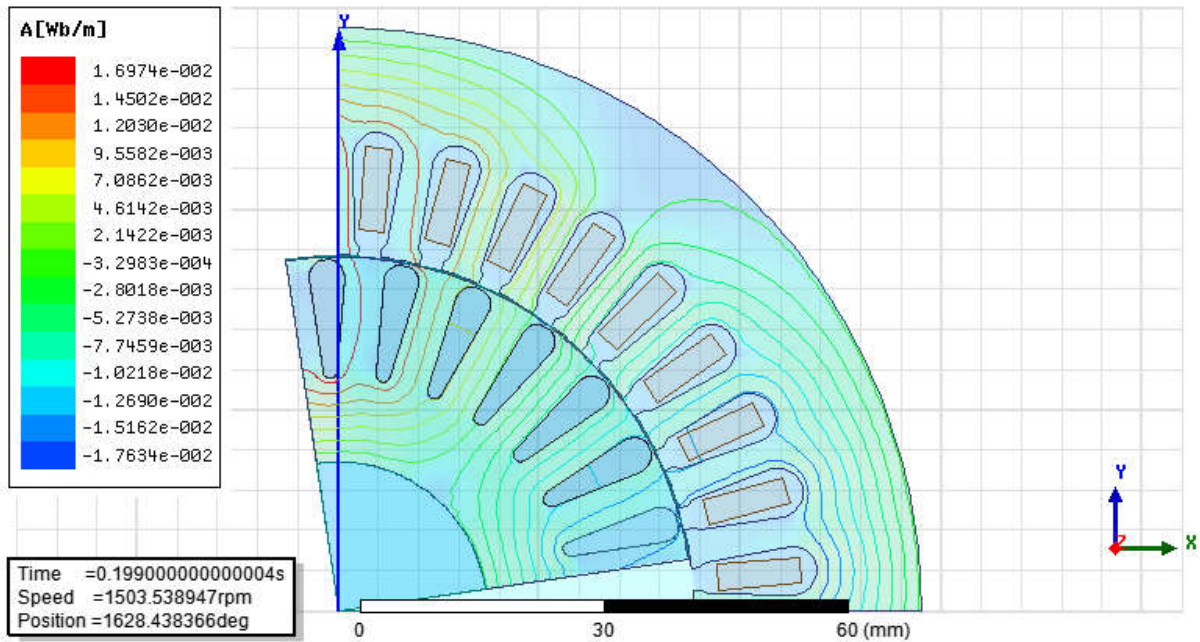


Figure III-11 : Lignes de flux avec 10 % de chute de tension

La figure ci-dessous représente l'induction magnétique B avec 10% de chute de tension dans la phase B

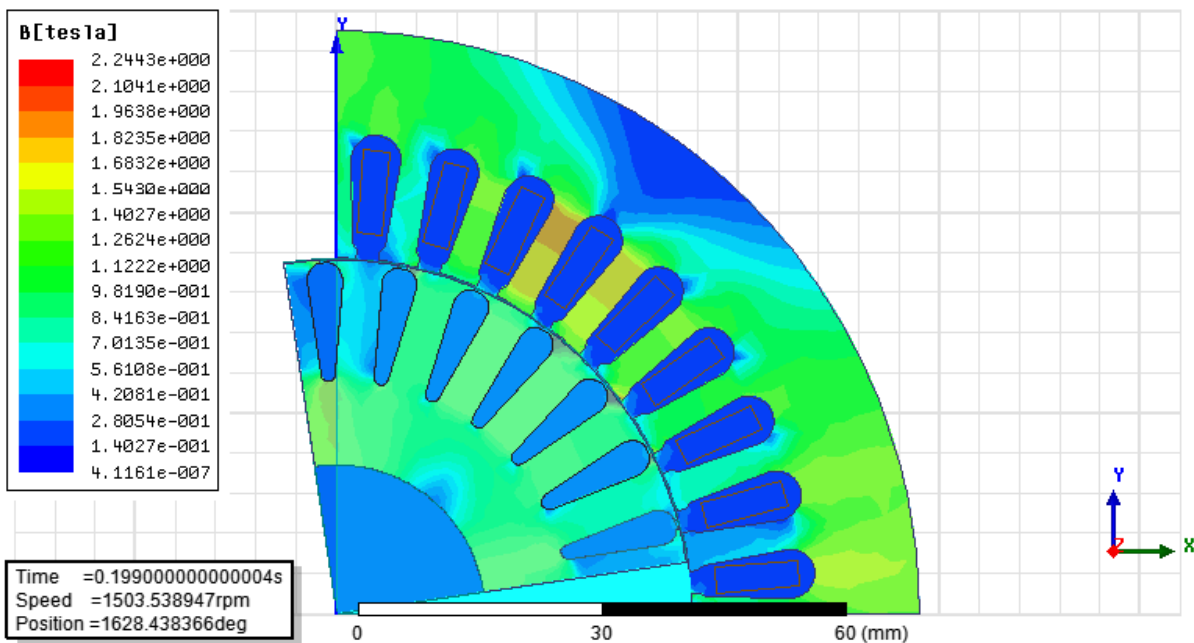


Figure III-12 : Induction magnétique avec 10% de chute de tension

Les figures ci-dessous représentent le couple en fonction du temps avec 10 % de chute de tension dans la phase B

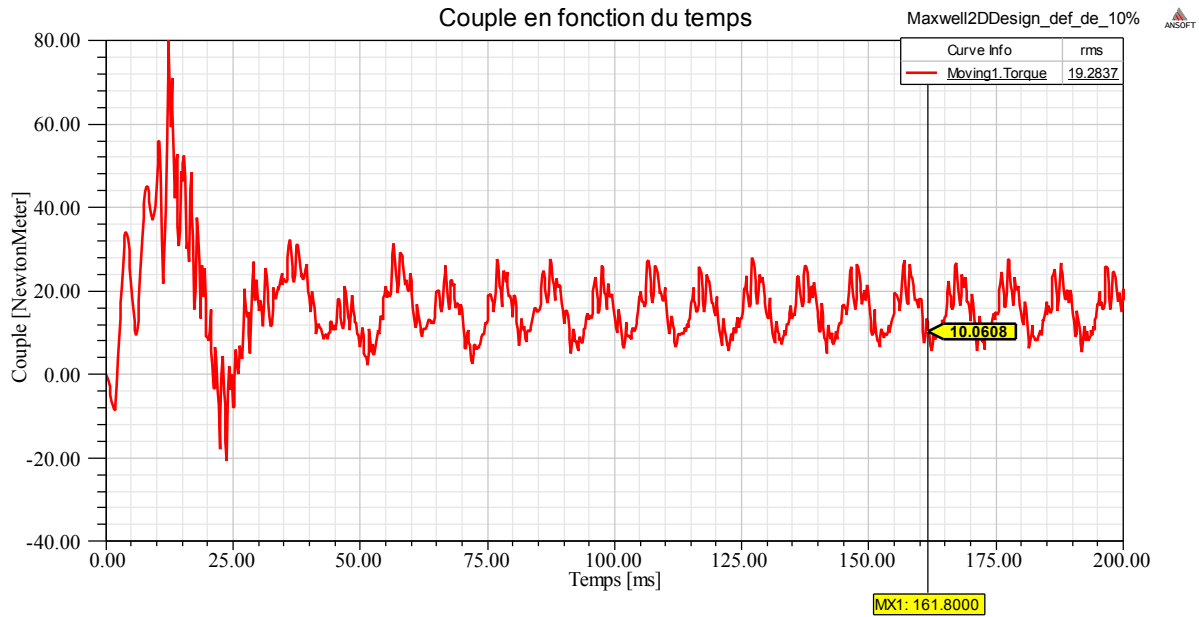


Figure III-13 : Couple utile en fonction du temps avec 10 % de chute de tension

En régime permanent

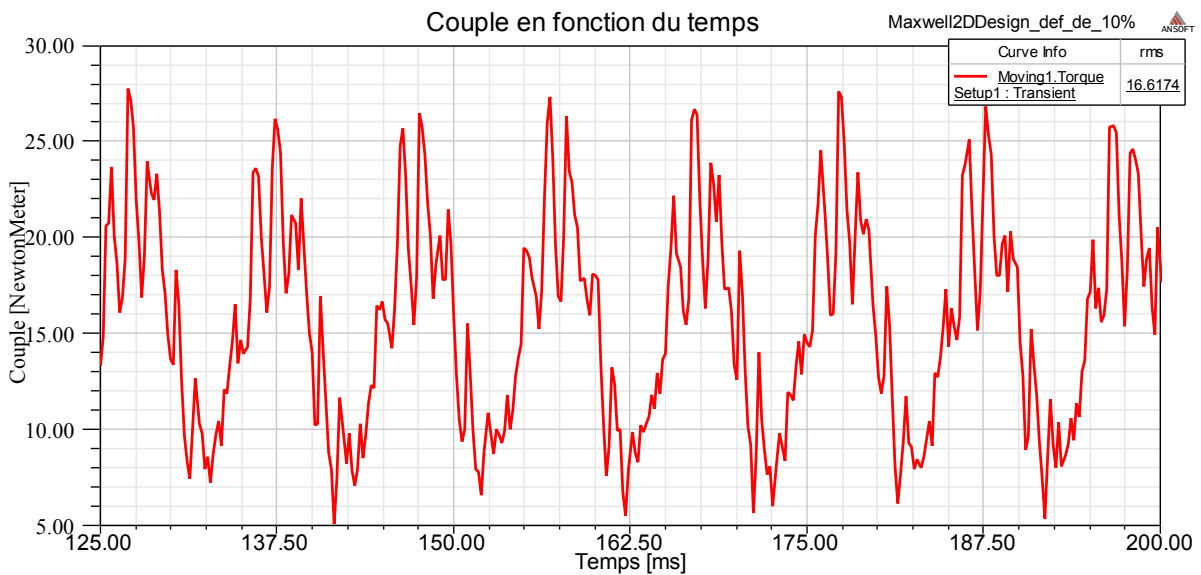


Figure III-14 : Couple utile en fonction du temps avec 10% de chute de tension en régime permanent

Les figures ci-dessous représentent la vitesse en fonction du temps avec 10 % de chute de tension dans la phase B

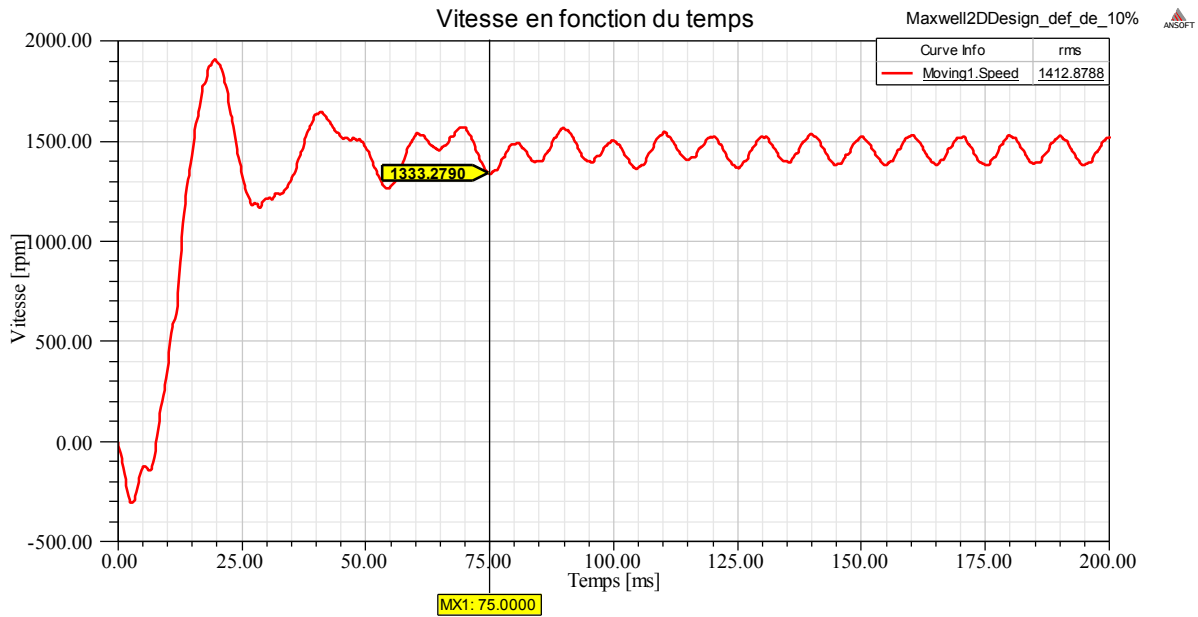


Figure III-15 : Vitesse en fonction du temps avec 10 % de chute de tension

En régime permanent

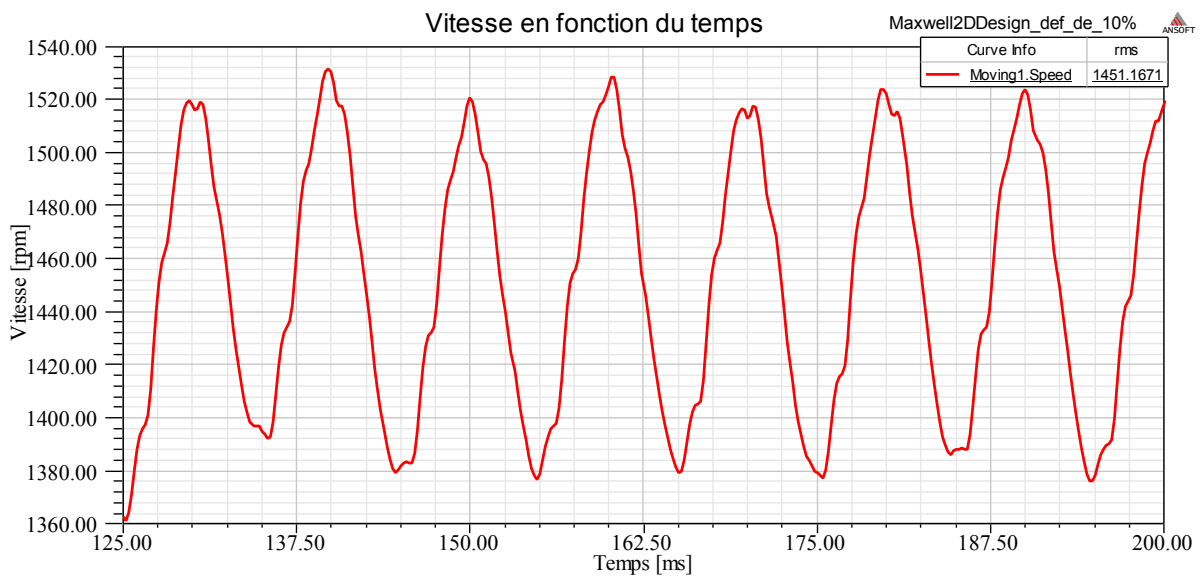


Figure III-16 : Vitesse en fonction du temps avec 10% de chute de tension en régime permanent

Les figures ci-dessous représentent les courants en fonction du temps avec 10 % de chute de tension dans la phase B

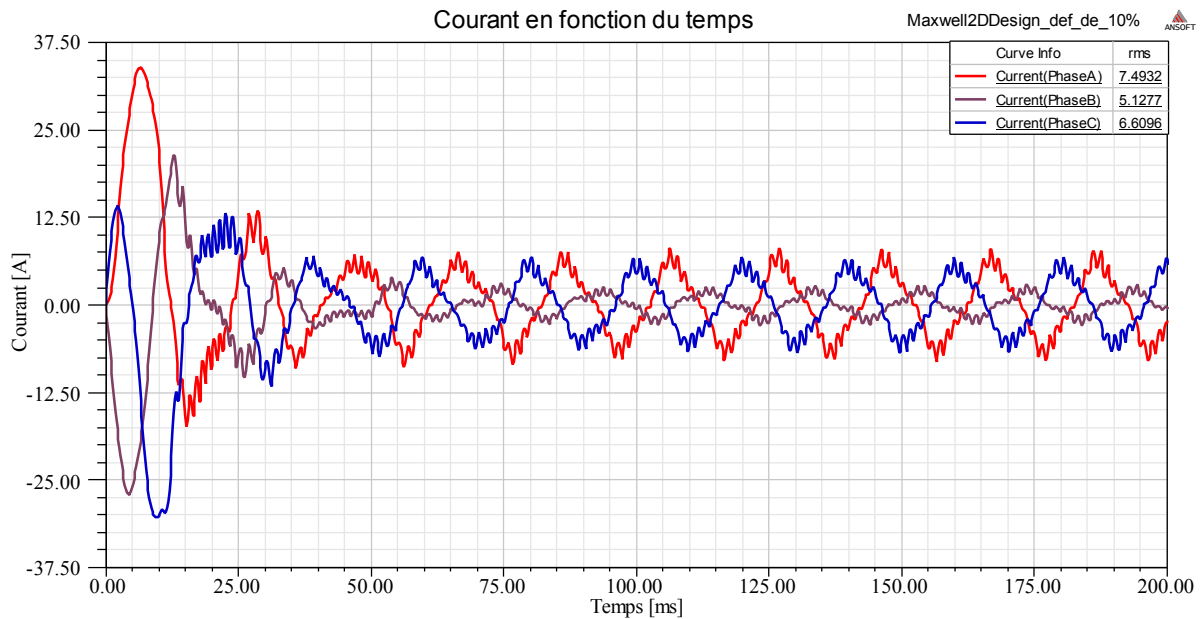


Figure III- 17 : Courants en fonction du temps avec 10 % de chute de tension

En régime permanent

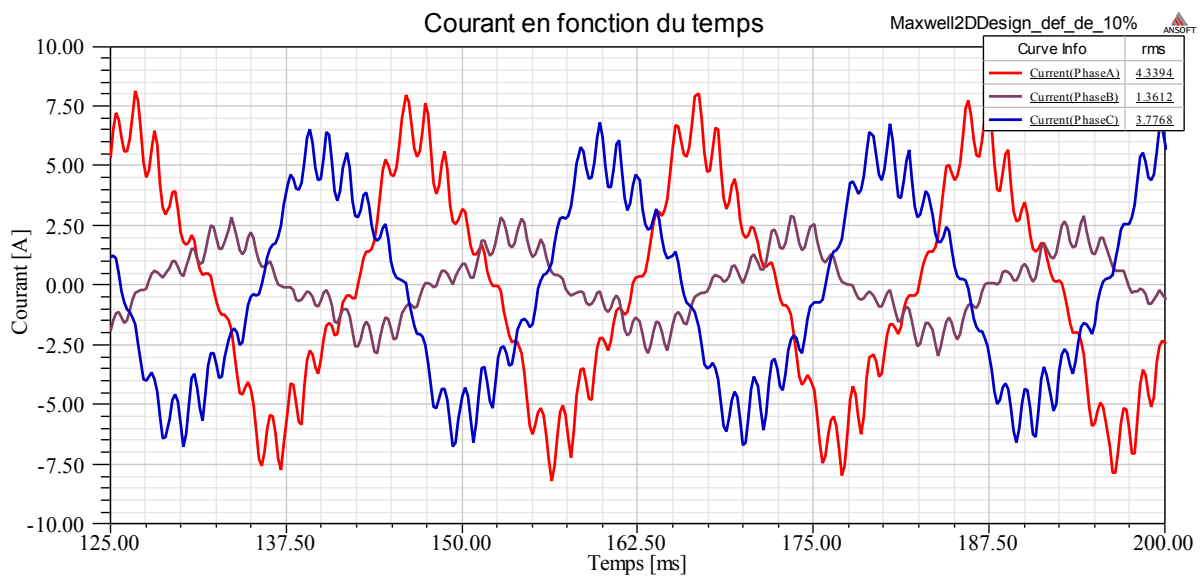


Figure III- 18 : Courants en fonction du temps avec 10 % de chute de tension en régime permanent

III-5 Interprétation des résultats de simulation du modèle 2D sous défaut

- Lignes de flux

On comparant la figure III-2, III-11 représentant la distribution des lignes de flux pour des chutes de tensions de 5% et 10% avec la figure II-19 représentant la distribution des lignes de flux en charge et sans défaut que la densité de flux est d'autant plus petite que la chute de tension est grande, leurs valeurs respectives sont représentées dans le tableau ci-dessous.

Tableau III-3 : Valeurs des densités de flux

	Sans défaut	5% chute de tension	10% chute de tension
Densité de flux [wb/m]	$1.3270 e^{-2}$	$1.2496 e^{-2}$	$1.2030 e^{-2}$

- Induction magnétique B

On comparant la figure III-3, III-12 représentant l'induction magnétique pour des chutes de tensions de 5% et 10% avec la figure II-20 représentant l'induction magnétique en charge et sans défaut que l'induction magnétique est d'autant plus petite que la chute de tension est grande, leurs valeurs respectives sont représentées dans le tableau ci-dessous.

Tableau III-4 : Valeurs des inductions magnétiques

	Sans défaut	5% chute de tension	10% chute de tension
Induction magnétique [T]	2.5476	1.9842	1.9638

- Couple utile en fonction du temps

En comparant les figures III-4 et III-13 du fonctionnement de la machine sous défaut de 5% et 10% de chute de tension dans la phase B en régime permanent avec la figure II-21 du fonctionnement de la machine en charge sans défaut pour le régime permanent et à $t=161.8\text{ms}$ par exemple on constate que les couples valent ($C_u=14.6678\text{Nm}$, $C_u=10.0608\text{Nm}$) pour le fonctionnement de la machine sous défaut de 5% et de 10% chute de tension dans la phase B et pour le fonctionnement en charge sans défaut le couple utile $C_u=14.8775\text{Nm}$

La valeur du couple pour le cas de 5% de chute de tension dans la phase B est presque identique à celle du couple sans défaut en charge et ça est dû à la chute de tension de 5% qu'on a imposé à la phase B qui est légèrement admissible par le moteur donc le moteur tolère une tension de 361V dans une de ses phases, et pour le cas de 10% de chute de tension dans la phase B, le couple est très inférieure à celui de sans défaut en charge et ça est dû à la chute de tension de 10% dans la phase B qui est très grande et qui influence sur les performances du moteur.

- Vitesse en fonction du temps

En comparant les figures III-6 et III-15 du fonctionnement de la machine sous défaut de 5% et 10% de chute de tension dans la phase B en régime permanent avec la figure II-22 du fonctionnement de la machine en charge sans défaut pour le régime permanent et à $t=75\text{ms}$ par exemple, on constate que les vitesses valent [$N=1387.05\text{tr/min}$ - $N=1333.2790\text{tr/min}$] pour le fonctionnement de la machine sous défaut de 5% et de 10% de chute de tension dans la phase B et pour le fonctionnement en charge sans défaut la vitesse $N=1450.4990\text{tr/min}$

Les valeurs des vitesses pour les cas de 5% et 10% de chute de tension dans la phase B sont très inférieures à la vitesse sans défaut en charge et ça est dû à la chute de tension dans la phase B qui influence sur les performances du moteur.

- Courant en fonction du temps

En analysant les figures III-9 et III-18 du fonctionnement de la machine sous défaut de 5% et 10% de chute de tension dans la phase B en régime permanent et la figure II-24 du fonctionnement de la machine en charge sans défaut pour le régime permanent, on a pu résumer les valeurs efficaces [rms] des courants dans le Tableau ci-dessous

Le tableau III-2 : Valeurs efficaces des courants [rms]

Phase	Sans défaut	5% chute de tension	10% chute de tension
Phase A	3.1799 [A]	3.7405 [A]	4.3994 [A]
Phase C	3.1052 [A]	3.4201 [A]	3.7768 [A]
Phase B	3.0549 [A]	2.2193 [A]	1.3612 [A]

On voit que pour la phase B les valeurs efficaces des courants diminuent de manière remarquable en augmentant la chute de tension et que pour les phases A et C les valeurs efficaces des courants augmentent pour essayer de compenser la chute de courant dans la phase B pour enfin essayer de maintenir l'équilibre des courants des phases.

III-6 Conclusion

Dans ce chapitre nous avons étudié les performances du moteur asynchrone triphasé sous défaut de déséquilibre des phases dû à une chute de tension de 5% puis de 10% dans la phase B, on a constaté que les performances de la machines ont diminué (induction magnétique, densité de flux, couple utile, vitesse et le courant dans la phase B) on a conclu aussi que 5% de chute de tension est admissible par le moteur par contre 10% de chute de tension affecte les performances du moteur.

Conclusion générale

Conclusion générale

Le travail qui a été présenté s'inscrit dans le cadre de la maîtrise du logiciel Maxwell 2D basé sur la méthode des éléments finis pour la conception, la simulation et l'analyse des systèmes électromagnétiques où on a conçu, modélisé et analysé les performances d'une machine asynchrone à cage d'écureuil 2.2 kW. La conception et l'analyse ont été effectuées en utilisant l'outil RMXprt et Maxwell 2D 14.0.

L'application RMXprt du logiciel a été utilisée pour avoir la géométrie et les paramètres de notre machine. Les caractéristiques et les paramètres de fonctionnement obtenus par RMXprt sont proches de ceux obtenus à partir de la plaque signalétique et les mesures expérimentales déjà effectuées sur la machine étudiée, pour cela on les a pris comme références. A partir du modèle RMXprt on a créé un modèle dans Maxwell 2D du moteur pour la simulation et l'analyse par éléments finis des performances de la machine en régime dynamique, telles que la distribution de l'induction magnétique, la distribution des lignes de flux ainsi que le couple, la vitesse et les courants statoriques. Ces performances ont été obtenues pour deux régimes de fonctionnement, à vide et en charge nominale. Les résultats d'analyse par éléments finis du modèle 2D obtenus sont proches à ceux obtenus par RMXprt en régime permanent.

Pour étudier les performances du moteur asynchrone triphasé sous défaut, on a effectué une deuxième analyse du moteur en présence d'un défaut de déséquilibre de phases dû à une chute de tension de 5% puis de 10% dans la phase B. Les résultats obtenus ont montré que les performances de la machine ont diminué à savoir l'induction magnétique, la densité de flux, le couple utile, la vitesse et le courant dans la phase B, ainsi que l'apparition d'un taux de vibration important au niveau du couple et de la vitesse. Ces résultats ont montré que 5% de chute de tension est admissible par le moteur par contre 10% de chute de tension affecte les performances du bon fonctionnement du moteur.

Le travail effectué a montré l'efficacité du logiciel à prévoir le comportement et les performances de la machine dans les différents régimes de fonctionnement.

Ce travail peut être amélioré par l'étude et l'analyse du moteur en présence d'autres types de défaut comme la rupture des barres rotoriques ou défaut d'excentricité du rotor.

Bibliographie

Bibliographie

- [1]. TABOU Asmane, OUGHACHA Menad " évaluation des pertes fer dans une machine asynchrone à cage " mémoire de fin d'étude en master. UMMTO. Année 2016.
- [2]. GUETTAB Abdelkader " Effet de l'alimentation sur la détection des défauts dans une machine asynchrone à cage basée sur l'analyse de signal du courant" Magister (école doctorale génie électrique), Université Hassiba Ben bouali de Chlef. Année 2016.
- [3]. BOUGUERNE Abla " Diagnostic automatique des défauts des moteurs asynchrones" mémoire de Magister en électrotechnique, Université MENTOURI Constantine, Année 2009
- [4]. IBRAHIM Ali "Contribution au diagnostic des machines électriques: Exploitation des signaux électriques et de la vitesse instantanée "Thèse de doctorat, université Jean Monnet. Année 2009.
- [5]. SADKI Nour elhouda "Simulation des défauts statoriques d'un moteur asynchrone" Mémoire de fin d'étude master, Université KASKDI Merbah, Ouargla. Année 2015.
- [6]. BELBECHE Adel "Modélisation, diagnostic et commande d'une machine asynchrone avec rupture d'une phase" Mémoire de fin d'étude d'ingénieur en électrotechnique, université de Batna. Année 2013.
- [7]. F. Barrêt "Régime transitoire des machines tournantes électriques" collection des études de recherches édition Eyrolles, Paris 1982.
- [8]. R.A.Collacott "Vibration monitoring and diagnosis "pages pp.109-111, Wiley NewYork. Année 1979.
- [9]. Azouzi Khaled " Modélisation d'un moteur asynchrone pour le suivi de la sévérité des défauts rotorique par l'approche de la fonction d'enroulement "Mémoire de magistère. Université des Sciences et de la Technologie Mohamed Boudiaf d'Oran. Année 2011
- [10]. A.H.Bonnett " Root cause AC motor failure analysis with a focus on shaft failures " IEEE Transactions on Industry Application, Vol36(5) PP1435-1448 September/October 2000.
- [11]. BOUDINAR Ahmed " Etude et développement d'un turbo identificateur à haute résolution : Application au diagnostic des machines asynchrones à cage d'écureuil ", Thèse doctorat, Université des Sciences et de Technologie d'Oran, Algérie. Année 2007.

Bibliographie

[12]. HAMADOU Adil, NESSISSEN Abdelkader "modélisation numérique d'un moteur asynchrone a cage d'écureuil" Mémoire de fin d'étude, université Djilali Bounaama khemis Miliana. Année 2015.

[13]. KHEBBAB Mohamed "étude de capteur a courant de Foucault pour contrôle non destructif (CND)" mémoire présenté en vue d'obtention du diplôme de magister en électrotechnique, université MENTOURI de Constantine. Année 2007

[14] . Document Wikipédia.

[15]. Site officiel ANSYS Maxwell technologies: Electricité-Electronique. Compagnie Direct-Industry " [www. directindustry.fr](http://www.directindustry.fr) " .

[16]. Help du logiciel ANSYS Maxwell 14.0 page P1-2.

[17]. TABBOU Mustapha, TAKILT Hamza" Estimation des pertes fer dans une machine asynchrone à cage" Mémoire de fin d'étude en master. UMMTO. Année 2017.

Annexe

Annexe

Notice d'utilisation du logiciel Maxwell 14.0 pour l'étude du moteur asynchrone en utilisant RMxprt et Maxwell 2D

Le logiciel Maxwell14.0 permet de résoudre des problèmes magnétiques et électriques. Pour pouvoir étudier un dispositif avec ce logiciel on doit suivre les étapes suivantes :

1- On clique sur l'icône suivante:

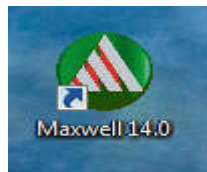


Figure A-1 : Icône du programme

Après avoir lancé le programme, une fenêtre par défaut s'affiche

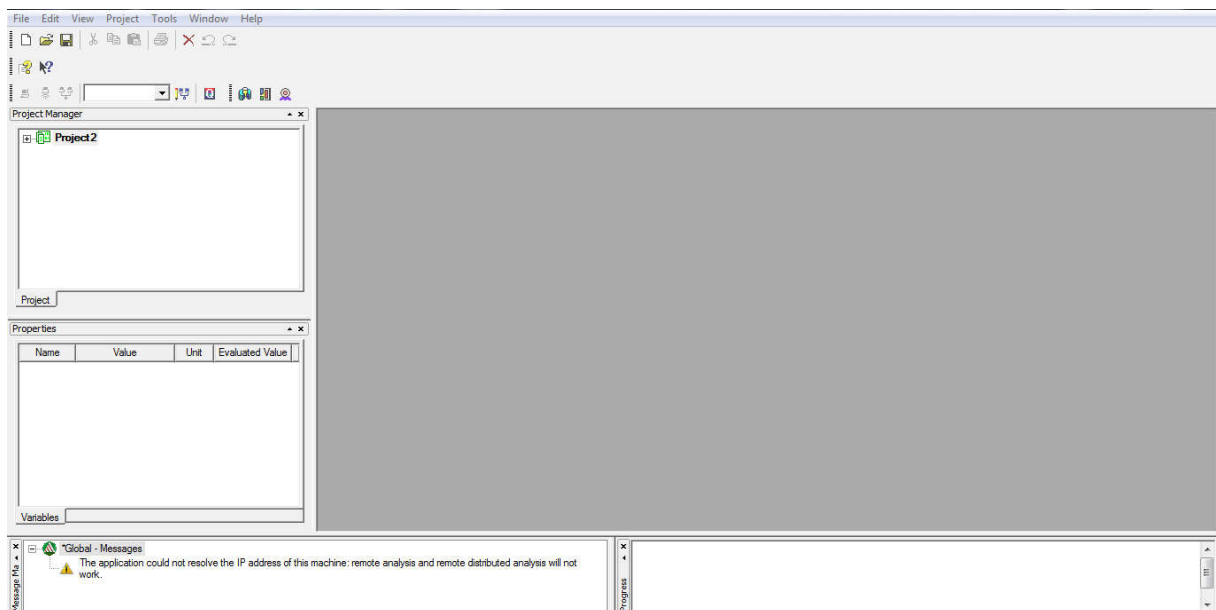


Figure A-2 : Une fenêtre vide avec une barre de menu minimale

2- On clique sur "Insert RMxprt Design" .

3- Une fenêtre pour le choix du type de la machine s'affiche, on choisit la machine " Three phase Induction Motor " on appuie sur OK.

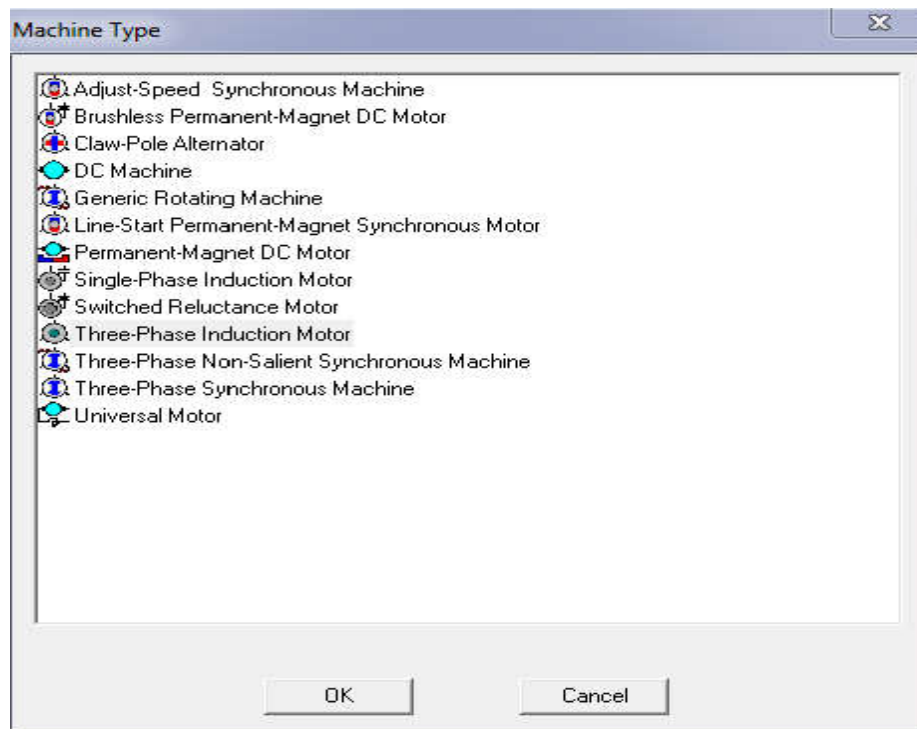


Figure A-3 : Type de la machine

4- Le logiciel va nous créer un modèle intitulé "RMxprt Design " "Three Phase Induction Motor" représenté ci-dessous qu'on va enfin renommer à notre manière

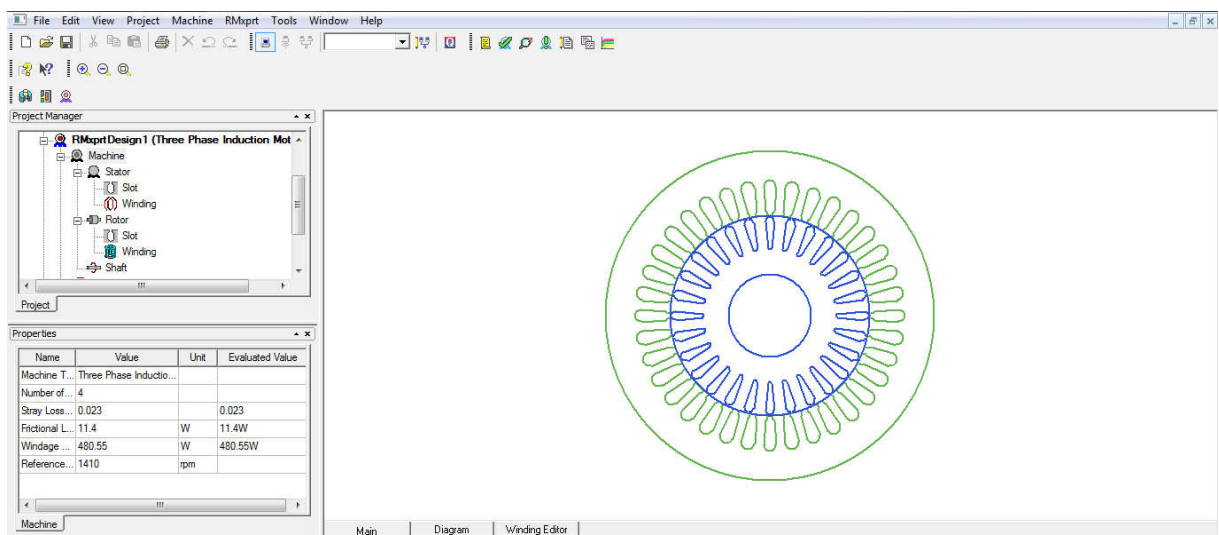


Figure A-4 : Modèle RMxprt

5- On insère les différents paramètres des composants essentiels de la machine (rotor, stator et arbre) cités ci-dessous :

- a) **Machine**: La figure ci-dessous nous donne les différents paramètres de la machine. Exemple : nombre de pôles, vitesse de référence, pertes mécaniques et pertes par ventilation...etc.

Name	Value	Unit	Evaluated Value	
Machine Type	Three Pha...			
Number of Poles	4			Number of poles of the machine
Stray Loss Fac...	0.023		0.023	Stray Loss Factor
Frictional Loss	48	W	48W	The frictional loss measured at the reference speed
Windage Loss	151	W	151W	The windage loss measured at the reference speed
Reference Sp...	1496	rpm		The reference speed at which the frictional and windage losses are measured

Figure A-5 : Paramètres de la machine

- **Stator** : La figure ci-dessous nous donne les différents paramètres du stator. Exemple : diamètres extérieur et intérieur, nombre d'encoche et son type, la longueur et le type du matériau avec le quel il est conçu.

Name	Value	Unit	Evaluated Value	
Outer Diameter	145	mm	145mm	Outer diameter of the stator core
Inner Diameter	88.5	mm	88.5mm	Inner diameter of the stator core
Length	110	mm	110mm	Length of the stator core
Stacking Factor	0.95			Stacking factor of the stator core
Steel Type	METALS M800-50A			Steel type of the stator core
Number of Slots	36			Number of slots of the stator core
Slot Type	2			Slot type of the stator core
Lamination Sectors	0			Number of lamination sectors
Press Board Thickness	0	mm		Magnetic press board thickness, 0 f
Skew Width	0		0	Skew width measured in slot number

Figure A-6 : Paramètres du stator

- **Encoches du stator** : Les figures ci-dessous nous donnent les paramètres et le type des encoches statoriques respectivement.

Name	Value	Unit	Evaluated Value	Description
Auto Design	<input type="checkbox"/>			Auto design Hs2, Bs1 and Bs2
Parallel Tooth	<input type="checkbox"/>			Design Bs1 and Bs2 based on Tooth Width
Hs0	1.05	mm	1.05mm	Slot dimension: Hs0
Hs1	0.8	mm	0.8mm	Slot dimension: Hs1
Hs2	10.585	mm	10.585mm	Slot dimension: Hs2
Bs0	2.8	mm	2.8mm	Slot dimension: Bs0
Bs1	4	mm	4mm	Slot dimension: Bs1
Bs2	6.16	mm	6.16mm	Slot dimension: Bs2

Figure A-7 : Paramètres des encoches du stator

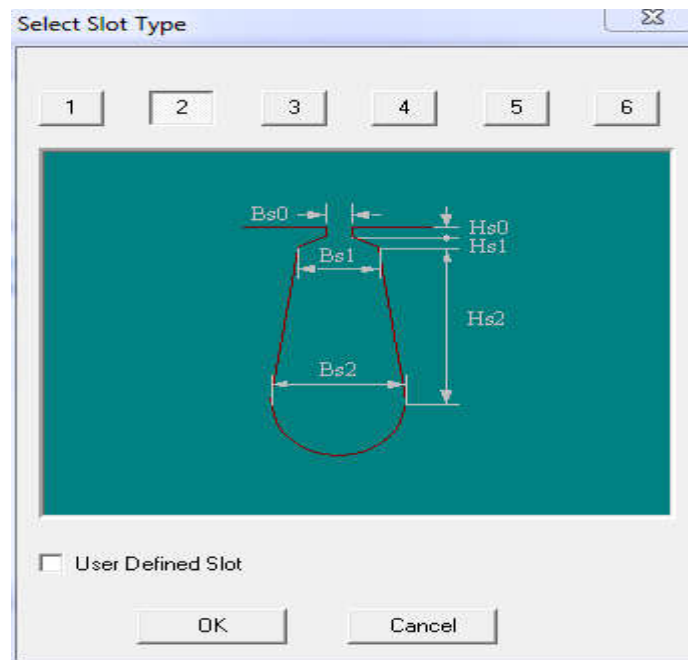


Figure A-8 : Type d'encoches du stator

- **Enroulements du stator** : La figure ci-dessous nous donne les paramètres des enroulements statoriques

Winding		End/Insulation		
Name	Value	Unit	Evaluated Value	
Winding Layers	1			
Winding Type	Whole-Coiled			
Parallel Branches	1			
Conductors per Slot	64		64	
Number of Strands	1		1	
Wire Wrap	0.043	mm		
Wire Size	Diameter: 0.71mm			

Figure A-9 : Paramètres des enroulements statoriques

- **Rotor** : La figure ci-dessous nous donne les différents paramètres du rotor. Exemple : diamètres extérieur et intérieur, nombre d'encoche et son type, la longueur et le type du matériau avec lequel il est conçu.

Rotor				
Name	Value	Unit	Evaluated Value	
Stacking Factor	0.95			Stacking factor of the rotor core
Number of Slots	28			Number of slots of the rotor core
Slot Type	1			Slot type of the rotor core
Outer Diameter	88	mm	88mm	Outer diameter of the rotor core
Inner Diameter	37	mm	37mm	Inner diameter of the rotor core
Length	110	mm	110mm	Length of the rotor core
Steel Type	METALS M800-50A			Steel type of the rotor core
Skew Width	0		0	Skew width measured in slot number
Cast Rotor	<input type="checkbox"/>			Rotor squirrel-cage winding is cast
Half Slot	<input type="checkbox"/>			Half-shaped slot (un-symmetric)
Double Cage	<input type="checkbox"/>			Double-squirrel-cage winding

Figure A-10 : Paramètres du rotor

- **Encoches du rotor** : Les figures ci-dessous nous donnent les paramètres et le type des encoches rotoriques respectivement.

Name	Value	Unit	Evaluated Value	Description
Hs0	0.315	mm	0.315mm	Slot dimension: Hs0
Hs01	0	mm	0mm	Slot dimension: Hs01
Hs2	11.7	mm	11.7mm	Slot dimension: Hs2
Bs0	1	mm	1mm	Slot dimension: Bs0
Bs1	4.42	mm	4.42mm	Slot dimension: Bs1
Bs2	1.8	mm	1.8mm	Slot dimension: Bs2

Figure A-11 : Paramètres des encoches du rotor

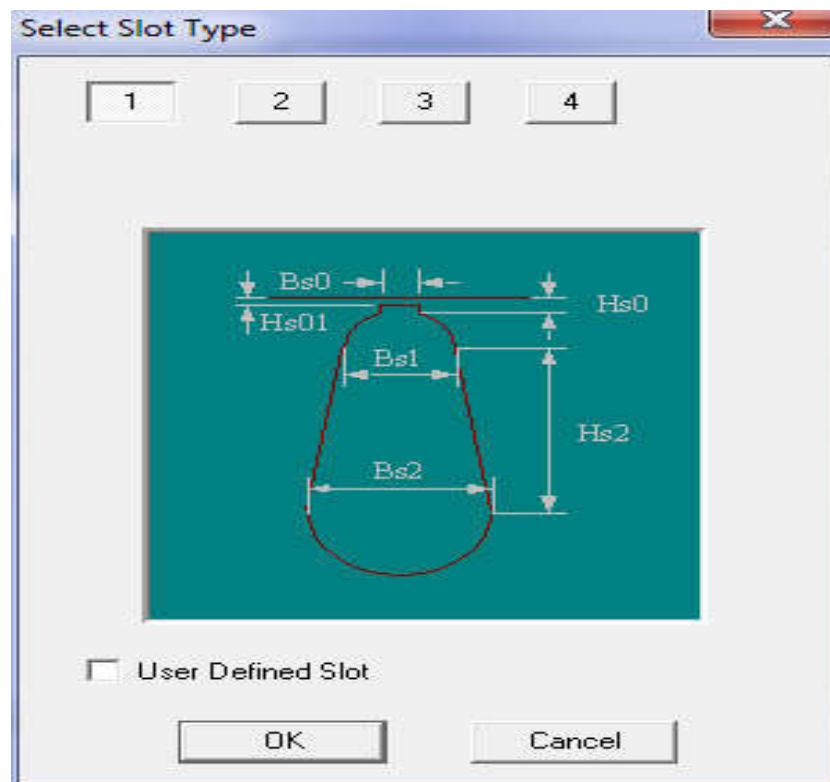


Figure A-12 : Type d'encoches du rotor

- **Affectations des matériaux :**

La bibliothèque du logiciel nous propose des matériaux qu'on peut directement choisir selon le besoin, dans notre cas on a ajouté un autre matériau intitulé « METALS M800-50A » selon les étapes suivantes :

Sélectionner le stator → bouton droit → Assign material → View/Edit materials → la fenêtre ci-dessous s'affiche où on introduit les paramètres.

Material Name
METALS M800-50A

Properties of the Material

Name	Type	Value	Units
Relative Permeab...	Nonlinear	BH Curve...	
Bulk Conductivity	Simple	0	siemens/m
Magnetic Coercivity	Vector		
- Magnitude	Vector ...	0	A_per_me...
Core Loss Type		Electrical Steel	w/m ³
- Kh	Simple	241.514453456503	
- Kc	Simple	0.876106170255...	
- Ke	Simple	18.6114533489804	
Mass Density	Simple	7800	kg/m ³

View/Edit Material for

Active Design
 This Product
 All Products


View/Edit Modifier for

Thermal Modifier

Validate Material

Figure A-13 : Propriétés du matériau METALS M800-50A

Puis on introduit les valeurs de B(H) et B(Ps) à partir de ce fichier

 **RAPPORT DE MESURE**

ECHANTILLON : H025 12 jeudi 26 avril 2012

Masse active : 0,9954 Kg Section utile : 1,3453 cm² Température : 25,0 °C

F : 50,0 Hz N1 : 700 N2 : 700 Lm : 0,9400 m

Observations : Produit ASE METALS M800-50A

B (Tesla)	H (A/m)	Ps (W/Kg)	Se (VA/Kg)	µs
1,787	6,960 e+3	6,369 e+0	1,662 e+2	1,774 e+2
1,760	6,333 e+3	7,569 e+0	1,265 e+2	2,212 e+2
1,722	4,869 e+3	7,340 e+0	9,487 e+1	2,814 e+2
1,684	3,654 e+3	7,110 e+0	6,828 e+1	3,667 e+2
1,645	2,656 e+3	6,800 e+0	4,842 e+1	4,932 e+2
1,609	1,859 e+3	6,520 e+0	3,456 e+1	6,603 e+2
1,573	1,420 e+3	6,240 e+0	2,434 e+1	8,815 e+2
1,536	1,058 e+3	5,950 e+0	1,833 e+1	1,176 e+3
1,499	7,740 e+2	5,650 e+0	1,386 e+1	1,641 e+3
1,463	5,853 e+2	5,327 e+0	1,105 e+1	2,266 e+3
1,425	4,452 e+2	5,038 e+0	8,008 e+0	2,428 e+3
1,389	3,853 e+2	4,775 e+0	7,705 e+0	2,986 e+3
1,353	3,190 e+2	4,523 e+0	6,720 e+0	3,375 e+3
1,316	2,725 e+2	4,288 e+0	5,977 e+0	3,843 e+3
1,279	2,363 e+2	4,065 e+0	5,412 e+0	4,397 e+3
1,243	2,092 e+2	3,857 e+0	4,943 e+0	4,726 e+3
1,206	1,873 e+2	3,656 e+0	4,548 e+0	5,124 e+3
1,170	1,709 e+2	3,461 e+0	4,227 e+0	5,448 e+3
1,134	1,570 e+2	3,273 e+0	3,929 e+0	5,748 e+3
1,097	1,470 e+2	3,089 e+0	3,659 e+0	6,039 e+3
1,060	1,421 e+2	2,904 e+0	3,416 e+0	6,308 e+3
1,024	1,370 e+2	2,732 e+0	3,192 e+0	6,640 e+3
0,987	1,340 e+2	2,564 e+0	2,991 e+0	6,861 e+3
0,950	1,317 e+2	2,395 e+0	2,801 e+0	6,740 e+3
0,914	1,287 e+2	2,248 e+0	2,715 e+0	6,851 e+3
0,877	1,254 e+2	2,104 e+0	2,554 e+0	6,521 e+3
0,841	1,234 e+2	1,963 e+0	2,396 e+0	6,423 e+3
0,805	1,221 e+2	1,841 e+0	2,257 e+0	6,246 e+3

VETTINER ESSA/H025 12.14a

B (Tesla)	H (A/m)	Ps (WKg)	Ss (VA/Kg)	Ss (VA/Kg)
0.769	1,201 e+2	1,715 e+0	2,117 e+0	5,095 e+3
0.732	1,177 e+2	1,591 e+0	1,977 e+0	4,949 e+3
0.696	1,155 e+2	1,475 e+0	1,847 e+0	4,799 e+3
0.660	1,129 e+2	1,360 e+0	1,716 e+0	4,652 e+3
0.622	1,115 e+2	1,250 e+0	1,597 e+0	4,439 e+3
0.587	1,094 e+2	1,145 e+0	1,478 e+0	4,270 e+3
0.550	1,066 e+2	1,046 e+0	1,360 e+0	4,064 e+3
0.513	1,040 e+2	9,381 e-1	1,266 e+0	3,925 e+3
0.477	1,014 e+2	8,399 e-1	1,148 e+0	3,745 e+3
0.441	9,950 e+1	7,462 e-1	1,039 e+0	3,523 e+3
0.404	9,620 e+1	6,543 e-1	9,272 e-1	3,342 e+3
0.367	9,389 e+1	5,672 e-1	8,267 e-1	3,120 e+3
0.332	9,140 e+1	4,857 e-1	7,245 e-1	2,891 e+3
0.295	8,910 e+1	4,095 e-1	6,302 e-1	2,635 e+3
0.259	8,540 e+1	3,310 e-1	5,338 e-1	2,413 e+3
0.223	8,240 e+1	2,625 e-1	4,477 e-1	2,194 e+3
0,186	7,860 e+1	1,979 e-1	3,702 e-1	1,878 e+3
0,149	7,440 e+1	1,404 e-1	2,940 e-1	1,584 e+3
0,114	6,890 e+1	9,130 e-2	2,071 e-1	1,217 e+3
0,077	6,120 e+1	5,110 e-2	1,265 e-1	8,960 e+2
0,040	4,950 e+1	2,218 e-2	7,191 e-2	6,430 e+2
0,004	3,129 e+1	5,306 e-3	2,239 e-2	1,820 e+2
0,000	1,999 e+1	1,000 e-4	7,000 e-3	0,900 e+0

Figure A-14 : valeurs de B(H) et B(Ps)

- **Arbre** : La figure ci-dessous nous montre que l'arbre utilisé est amagnétique.



Name	Value	Evaluated Value	
Magnetic Shaft	<input type="checkbox"/>		The shaft is made of magnetic material.

Figure A-15 : Arbre amagnétique

- b) **"Analysis"** : Setup (type de la machine (moteur ou générateur), la puissance nominale, tension, vitesse ...etc)

Name	Value	Unit	Evaluated Value	Description
Name	Setup1			
Enabled	<input checked="" type="checkbox"/>			
Operation Type	Motor			Motor or generator
Load Type	Const Torque			Mechanical load type
Rated Output ...	2200	W	2200W	Rated mechanical or electrical output power
Rated Voltage	380	V	380V	Applied rated line-to-line AC voltage
Rated Speed	1410	rpm	1410rpm	Given rated speed
Operating Tem...	75	cel	75cel	Operating temperature
Winding Conn...	Delta			Wye or Delta
Frequency	50	Hz	50Hz	Source frequency

Figure A-16 : Paramètres nominaux de la machine

6- On valide notre "modèle"  puis on analyse avec "Analyse all" .

7- On appuie sur "Setup" puis sur "Create Maxwell Design", une fenêtre s'affiche on sélectionne "Maxwell 2D design" puis sur OK.

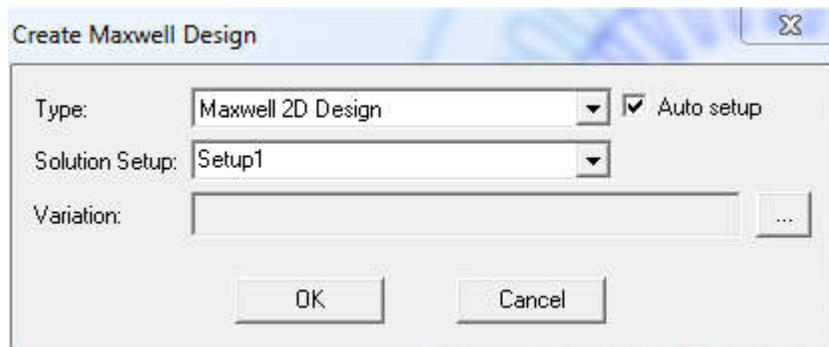


Figure A-17 : Création du modèle Maxwell 2D

8- On sélectionne "Maxwell2D" puis on appuie sur "Solution type", une fenêtre apparait puis on définit le type de la solution dans notre cas "Magnetic transient" (Magnétique transitoire).

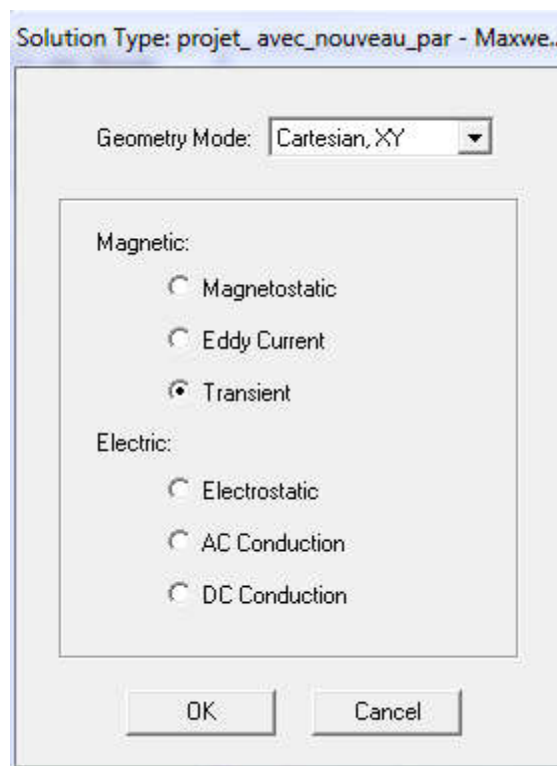


Figure A-18 : Type de solution en 2D

9- Le logiciel crée un modèle 2D à partir de "RMxprt" qui est représenté dans la figure ci-

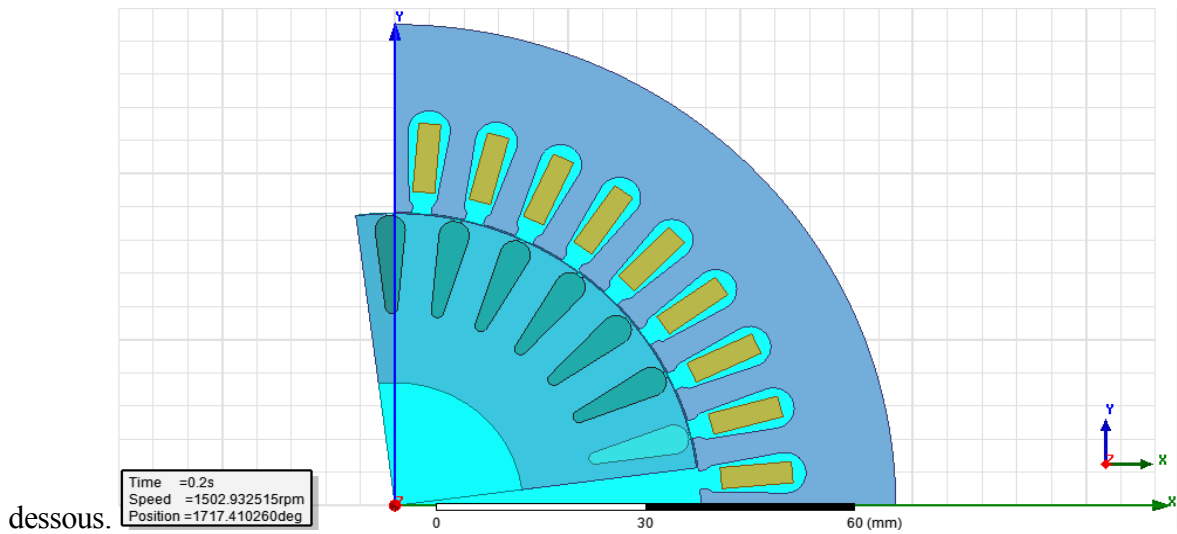


Figure A-19 : Géométrie d'un quart du modèle 2D de la machine

10- La figure ci-dessous nous montre comment changer le pas et le temps de simulation dans

"Solution Setup" 

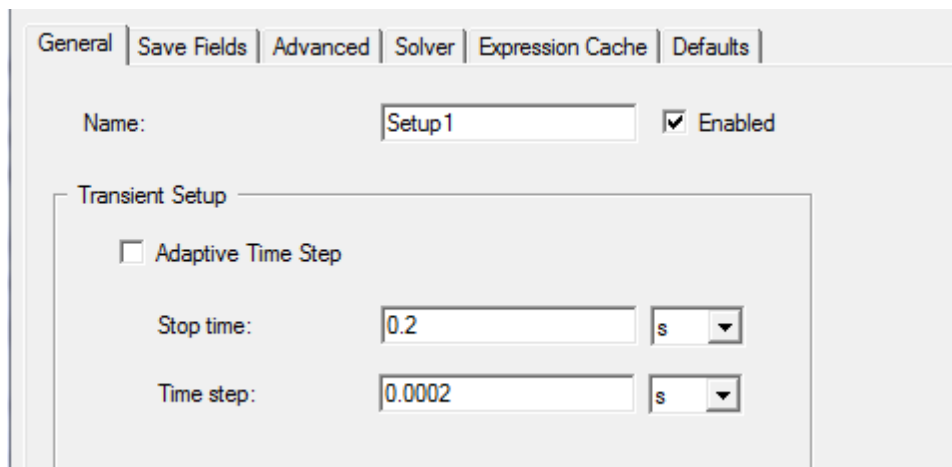


Figure A-20 : Fixation du pas et du temps de simulation

11- On appuie sur "modele" → "Motion Setup" → "Mechanical", on insère les paramètres mécaniques (couple résistant et moment d'inertie).

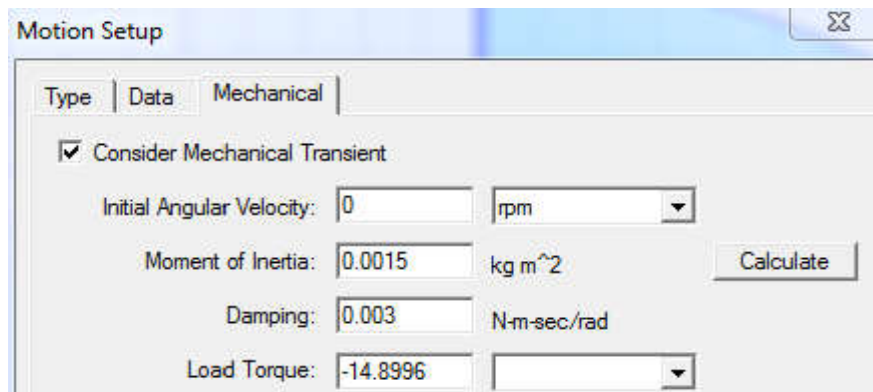



Figure A-21 : Paramètres mécaniques de la machine

Remarques générales

- On change le couple à partir de la case « Load torque » pour les deux essais à vide et en charge (Figure A-21)
- Les conditions aux limites sont imposées automatiquement par le logiciel

12- On valide le "modèle"  Une fenêtre s'affiche pour détecter un problème s'il existe

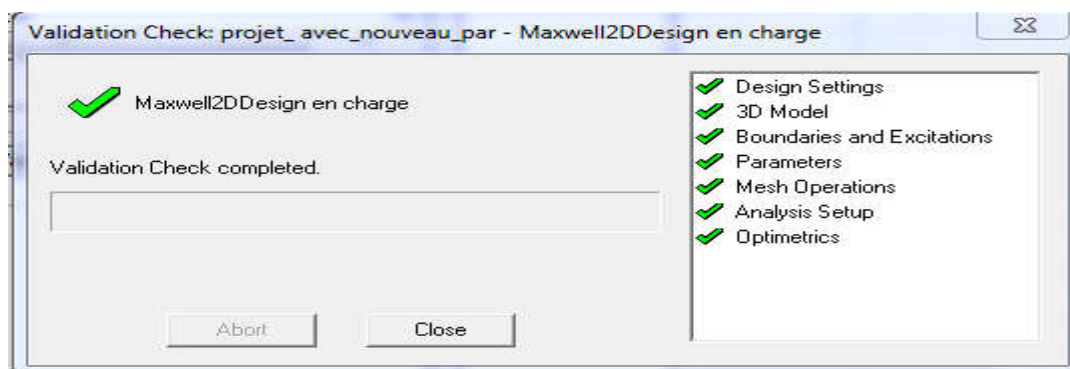



Figure A-22 : Validation du modèle

13- On lance l'analyse avec "Analyse all" .

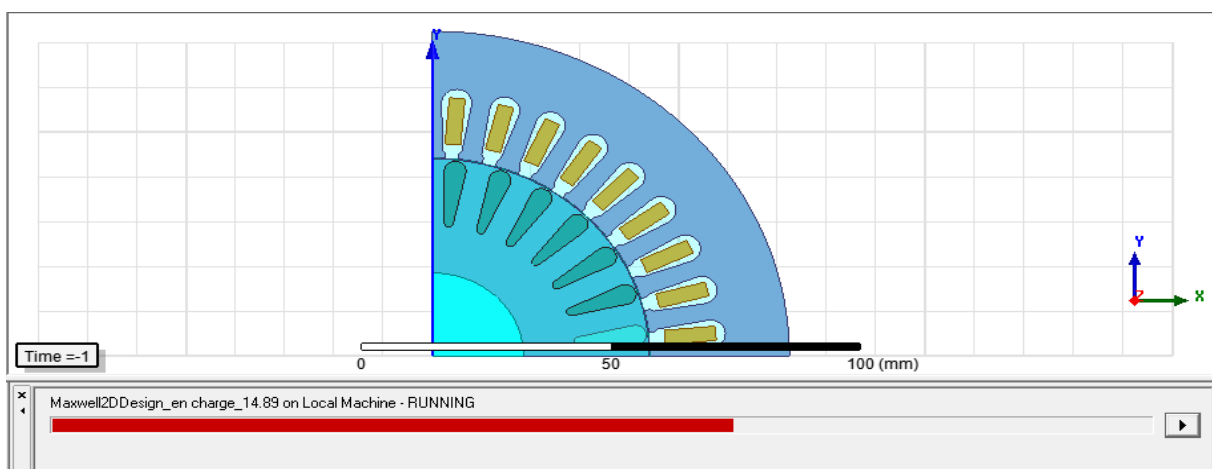


Figure A-23 : Simulation du modèle 2D

Remarque :

La première partie de notre simulation concerne l'étude des performances de la machine asynchrone sans défauts, par contre la partie suivante concerne l'étude des performances de la machine synchrone sous défauts où on a changé quelques paramètres qu'on a cités ci-dessous.

La figure ci-dessous représente les caractéristiques des phases A et C.

Name:	PhaseA	Name:	PhaseC
Parameters			
Type:	Voltage	Type:	Voltage
<input type="radio"/> Solid <input checked="" type="radio"/> Stranded		<input type="radio"/> Solid <input checked="" type="radio"/> Stranded	
Initial Current:	0 A	Initial Current:	0 A
Resistance:	8.51345 ohm	Resistance:	8.51345 ohm
Inductance:	0.00541382 H	Inductance:	0.00541382 H
Voltage:	$537.401 \cdot \sin(2\pi \cdot 50 \cdot \text{time})$ V	Voltage:	$537.401 \cdot \sin(2\pi \cdot 50 \cdot \text{time}-4)$ V
Number of parallel branches:	1	Number of parallel branches:	1

Figure A-24 : Caractéristiques des phases A et C

La figure A-25 représente les changements apportés à la tension de la phase B pour avoir 5% et 10% de chute de tension

Name:	PhaseB	Name:	PhaseB
Parameters			
Type:	Voltage	Type:	Voltage
<input type="radio"/> Solid <input checked="" type="radio"/> Stranded		<input type="radio"/> Solid <input checked="" type="radio"/> Stranded	
Initial Current:	0 A	Initial Current:	0 A
Resistance:	8.51345 ohm	Resistance:	8.51345 ohm
Inductance:	0.00541382 H	Inductance:	0.00541382 H
Voltage:	$480.661 \cdot \sin(2\pi \cdot 50 \cdot \text{time}-2)$ V	Voltage:	$510.53 \cdot \sin(2\pi \cdot 50 \cdot \text{time}-2)$ V
Number of parallel branches:	1	Number of parallel branches:	1

Phase B avec 10% de chute de tension

Phase B avec 5% de chute de tension

Figure A-25 : Changements apportés à la phase B

Résumé :

La machine asynchrone est la machine la plus robuste et la moins cher du marché, sa bonne construction lui a permis d'être la machine la plus utilisée dans l'industrie surtout quand il s'agit de l'entraînement électrique dans plusieurs domaines industriels, notamment pour des applications à vitesses variables.

Le présent mémoire comporte trois chapitres, dans le premier chapitre on va donner un bref aperçu sur la machine asynchrone triphasée à cage d'écureuil en énumérant les différents défauts affectant la machine asynchrone et leurs causes.

Dans le deuxième chapitre, on va utiliser l'outil RMxprt pour la conception du modèle de la machine et par la suite étudier et analyser les performances de celle-ci à l'état sain.

Dans le dernier chapitre, on va analyser les performances de notre machine sous défaut de déséquilibre de phases (chute de tension de 5% puis de 10% dans l'une de ses phases).

Les résultats obtenus par RMxprt sont proches de ceux obtenus à partir de la plaque signalétique et les mesures expérimentales déjà effectuées sur la machine étudiée.

Les résultats obtenus en présence d'une chute de tension ont montré que les performances de la machine ont diminué à savoir l'induction magnétique, la densité de flux, le couple utile, la vitesse et le courant dans la phase B, ainsi que l'apparition d'un taux de vibration important au niveau du couple et de la vitesse.

Ces résultats ont montré aussi que 5% de chute de tension est admissible par le moteur par contre 10% de chute de tension affecte les performances du bon fonctionnement du moteur.

Mots clé :

Performances, Machine asynchrone, Défauts, Maxwell 14.0, RMxprt, Maxwell 2D, ANSYS, Magnétique