

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 : Electrotechnique

Spécialité : MACHINE ELECTRIQUE

Présenté par
Souad BADJA
Said GAOU

Mémoire dirigée par **Azzouz MIOUAT**

Thème

Analyse de l'effet de Défauts sur les Performances et les Paramètres d'un Moteur Asynchrone triphasé en utilisant Maxwell 2D

Mémoire soutenu publiquement le 27 / 09 / 2018 devant le jury composé de :

M Youcef BOUTORA
MCA, UMMTO, Président

M Azzouz MIOUAT
MAA, UMMTO, Encadreur

M Rabah KHALDI
MAA, UMMTO, Examineur

M Abdelghani KIMOUC
MAA, UMMTO, Examineur



Remerciements

Remerciements

*Nous tenons à exprimer nos vifs remerciements à notre promoteur Monsieur **A. Miouat** et les membres du jury pour avoir accepté d'évaluer ce travail et pour toutes leurs remarques et critiques.*

*Je tiens à remercier du fond du cœur Monsieur **R. Khaldi** et Monsieur **A. Kimouche** pour leur aide, conseils et leurs remarques.*

Merci à vous tous



Dédicaces

Dédicaces

Je dédie ce travail a :

*Ma chère **mère** qui ne cesse de m'encourager tout au long de ces années d'études.*

*Mon chère **Fouad** pour son soutien et son encouragement, sans oublier mes chères **sœurs**, mes frères mes beaux frères, ma belle sœur et mes amis.*

*✍ **Souad***

Je dédie ce travail a :

Mes chers parents, pour tout le soutien moral, financier, psychologique et particulièrement pour l'amour qu'ils me portent. Ainsi mes frères et mes belles sœurs.

*✍ **Said***

Introduction Générale

CHAPITRE I : Étude des défauts affectant la machine asynchrone

Introduction	2
I.1 Machine asynchrone	2
I.1.1 Constitution du moteur asynchrone	3
I.1.1.1 Le stator	3
I.1.1.2 Le rotor.....	4
I.1.1.3 Les paliers	6
a. Roulements à billes	6
b. Flasques	6
I.1.2 Principe de fonctionnement du moteur asynchrone triphasé	7
I.1.3 Modes de fonctionnement.....	8
I.1.4 Glissement	8
I.2 Types des défauts affectant la machine asynchrone	9
I.2.1 Etude statistique des défaillances de la machine asynchrone	9
I.2.2. Défauts affectant la machine asynchrone.....	12
I.2.2.1. Défauts d'origine mécanique	13
a. Les défauts de roulements	13
b. Défauts du flasque	15
c. Les défauts d'excentricités	15
d. Défauts de l'arbre.....	16
I.2.2.2. Défauts d'origine électrique	16

a. Au niveau du stator.....	16
➤ Défaut d'isolant dans un enroulement.....	17
➤ Défauts court-circuit.....	17
b. Au niveau du rotor.....	20
➤ Défaut de cassure de barre pour la MAS a cage	21
➤ Défaut de rupture des anneaux	22
I.3.Conséquences et causes des défauts.....	23
I.3.1. Causes	23
I.3.2. Conséquences des défauts	24
Conclusion.....	24

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

Introduction	25
II.1 Définition de la méthode des éléments finis.....	25
II.2 Les équations de Maxwell	25
II.2.1 L'équation de Maxwell-Gauss	26
II.2.2 L'équation de Maxwell-Thomson	26
II.2.3 L'équation de Maxwell-Faraday	26
II.2.4 L'équation de Maxwell- Ampère	26
II.2.5 Conditions aux limites.....	27

II.3 Présentation du logiciel	28
II.3.1 ANSYS Maxwell.....	28
II.3.2 RMXprt.....	29
II.4 Conception et analyse de modèle de la machine asynchrone	29
II.4 .1 Paramètres du moteur	30
II.4.2 Etapes de Conception.....	31
II.4.3 Résultats d’analyse du modèle avec RMxprt.....	35
II.5 Etapes de conception et d’analyse du modèle 2D à partir du modèle RMXprt.....	39
II.5.1 fonctionnement à vide	39
II.5.2 Résultats d’analyse et de simulation du modèle 2D à vide	39
II.5.3 Fonctionnement en charge	43
II.6 Résultats d’analyse et de simulation de modèle 2D en charge	43
II.7 Interprétation des résultats	45
Conclusion	47

Chapitre III : Simulation de la machine asynchrone avec défauts

III-Introduction	49
III-2 paramètres des phases d’alimentation sous défaut	49
III-3 Résultats de simulation du modèle 2D sous défaut.....	49
III-3-1 Résultats de simulation à vide avec une rupture de phase B	49
III-3-2 Résultats de simulation en charge avec une rupture de phase	53

III-4 Interprétation et comparaison des résultats de simulation du modèle 2D avec défaut	57
➤ Induction magnétique B	57
➤ Lignes de flux	57
➤ Couple utile en fonction du temps	58
➤ Courant en fonction du temps	58
➤ Pertes fer en fonction du temps	59
➤ Vitesse en fonction du temps	59
III.5 Validation expérimentale	60
III.5.1 Présentation de la maquette d'essai	60
III.5.2 Fonctionnement à vide sans de défaut	61
III.5.3 Fonctionnement à vide avec défaut de rupture d'une phase (Phase B)	62
Conclusion	63

CONCLUSION GENERALE

Résumé

ANNEXES

Paramètres RMXprt

BIBLIOGRAPHIE.

Figure I.21 : Rupture de barre.....	21
Figure I.22 . Photo d'une barre cassée (réalisation artificielle).....	22
Figure I.23 : Rupture d'une et deux portions adjacentes d'anneau de court-circuit.....	23
Figure I.24 : Inclusion de rupture de deux portions d'anneau en quadrature à gauche et en opposition à droite	23

Chapitre II

Figure .II.1 : Icone Maxwell 14.0.....	31
Figure II.2 : courbe de B(H).....	32
Figure II.3 : La géométrie de stator.....	33
Figure II.4 : Type d encoche statorique.....	33
Figure II.5 : Type d'encoche rotorique.....	34
Figure II.6 : La géométrie de rotor.....	34
Figure II.7 : La deométrie complite de la machine obtenu.....	35
Figure II.8 : Le courant en fonction de la vitesse.....	36
Figure II.9 : Allure de couple en fonction de la vitesse.....	36
Figure II.10 : Allure de la puissance en fonction de la vitesse.....	37
Figure II.11 : La géométrie d'un quart de la machine asynchrone a cage en 2D.....	38
Figure II.12 : La géométrie d'un quart de la MAS a cage en 2D avec rotation de 10°	38
Figure II.13 : Allure de couple en fonction de temps à vide.....	39
Figure II.14 : Allure de courant en fonction de temps à vide.....	40
Figure II.15 : Allure de perte en fonction de temps à vide.....	40
Figure II.16 : Allure de la vitesse en fonction de temps à vide.....	41
Figure II.17 : Maillage à vide.....	42
Figure II.18 : Répartition de l'induction magnétique à vide.....	42
Figure II.19 : Répartition des lignes de flux à vide.....	43
Figure II.20 : Allure de couple en fonction de temps en charge.....	44

Figure II.21 : Allure de courant en fonction de temps en charge.....44
Figure II.22 : Allure des pertes en fonction de temps en charge.....45
Figure II.23 : Allure de la vitesse en fonction de temps en charge.....45

Chapitre III

Figure III-1 : maillage à vide avec une rupture d'une phase50
Figure III-2: Induction magnétique à vide avec une rupture de phase.....50
Figure III-3: lignes de flux à vide avec une rupture de la phase B.....51
Figure III-4: Allure du couple en fonction du temps à vide51
Figure III-5: Allure des courants en fonction du temps à vide..... 52
Figure III-6 : Allure des pertes fer en fonction de temps à vide52
Figure III-7: Allure de la vitesse en fonction de temps à vide.....53
Figure III-8 : maillage à vide avec une rupture d'une phase53
Figure III-9: Induction magnétique en charge avec une rupture de phase54
Figure III-10: lignes de flux en charge avec une rupture de la phase B54
Figure III-11: Allure du couple en fonction du temps en charge55
Figure III-12: Allure des courants en fonction du temps en charge55
Figure III-13 : Allure des pertes fer en fonction de temps en charge56
Figure III-14: Allure de la vitesse en fonction de temps en charge56
Figure III-15: Le banc d'essais comprenant le moteur, ainsi que les organes de mesure et
d'acquisition.60
Figure III-16: Les courants statoriques réels visualisé par l'oscilloscope numérique61
Figure III-17: Forme de courant visualise précédemment traité par Matlab.....62
Figure III-18: Les courants statoriques réels visualisé par l'oscilloscope numérique en
Matlab.....62
Figure III-19: Forme de courant visualise précédemment en régime permanent traité par ..63

Liste des tableaux

Chapitre II

Tableaux II.1 : Grandeur et potentiels	27
Tableau II.2 :Paramètres nominaux de la machine	29
Tableau II.3 : Paramètres de stator	30
Tableau II.4 : Paramètres des encoches statorique	30
Tableau II.5 : Paramètres de rotor	30
Tableau II.6 : Paramètres des encoches rotorique	31
Tableau II.7 : Paramètre des barres rotorique	31
Tableau II.7 : Performances de la machine	35
Tableau II.8 : Paramètre de moteur à vide	39
Tableau II.9 : Comparaison des résultats de simulation à vide est celle calculé par RMXprt	41
Tableau II.10 : Paramètre de moteur en charge.....	43
Tableau II.11 : Comparaison des résultats de simulation en charge est celle calculé par RMXprt	46

Chapitre III

Tableau III-1 : Paramètres d'excitation des phases.....	49
Tableau III -2 : comparaison des valeurs des inductions magnétiques	57
Tableau III -3 : comparaison des valeurs de flux	57
Tableau III -4 : comparaison des valeurs du couple	58
Tableau III -5 : comparaison des valeurs du courant.....	59
Tableau III -6 : comparaison des valeurs des pertes fer	59
Tableau III -7 : comparaison des valeurs de la vitesse	60

Liste des symboles

MAS: Machine asynchrone

g: glissement

Ω : Vitesse de rotation du champ tournant en rad.s^{-1} .

ω : Pulsation des courants alternatifs en rad.s^{-1} .

ns : Vitesse de rotation du champs tournant en trs.s^{-1} .

n : La vitesse de rotation de la machine.

f : Fréquence des courants alternatifs en Hz.

p : Nombre de paires de pôles. il peut être calculé par la relation

n: Vitesse en tours par second.

ρ : La densité volumique de charge électrique.

\vec{j} : Le vecteur densité de courant.

\vec{E} Le vecteur champ électrique.

\vec{B} : Le pseudo vecteur induction magnétique.

ϵ_0 : La permittivité diélectrique du vide.

μ_0 : La permittivité magnétique du vide

CL: conditions aux limits.

Introduction générale

Introduction générale

La paternité de la machine asynchrone est controversée. Elle pourrait être attribuée à trois inventeurs en 1887, Nikola Tesla dépose un brevet sur la machine asynchrone, pendant la même période Galileo Ferraris publie des traités sur les machines tournantes, avec une expérimentation en 1885, puis une théorie sur la machine asynchrone en avril 1888 ,en 1889, Mikhaïl Dolivo-Dobrovolski, électricien allemand d'origine russe, invente la première machine asynchrone à courant triphasé à cage d'écureuil qui sera construite industriellement à partir de 1891 [3].

Du fait de sa simplicité de construction, d'utilisation et d'entretien, de sa robustesse et son faible prix de revient, la machine asynchrone est aujourd'hui très couramment utilisée comme moteur dans une gamme de puissance allant de quelques centaines de watts à plusieurs milliers de kilowatts[3]. Par comparaison avec les moteurs à bagues, les moteurs à cage ont l'avantage d'être robuste et de coût beaucoup plus faible.

La machine asynchrone a longtemps été fortement concurrencée par la machine synchrone dans les domaines de forte puissance, jusqu'à l'avènement de l'électronique de puissance .Elle est utilisée dans de nombreuses applications, notamment dans le transport (métro, trains, propulsion des navires, automobiles électriques), dans l'industrie(machines-outils), dans l'électroménager. Elle était à l'origine uniquement utilisée en « moteur » mais, toujours grâce à l'électronique de puissance, elle est de plus en plus souvent utilisée en « génératrice », par exemple dans les éoliennes. [23]. Malgré tout ces avantages qu'on a déjà cité, comme toute autre machine, au cours de son fonctionnement elle peut avoir quelque défaillances électriques, mécaniques ou même magnétiques, dues au nombreuse causes. Beaucoup de recherche ont été faite seulement pour pouvoir détecter les défauts qu'ils peuvent l'affecter et les localiser. A partir des année soixante-dix, la plusieurs techniques et méthodes de surveillance et de diagnostic des défauts du moteur asynchrone, ont été développées dans le but de surveiller le changement anormal dans le comportement ou l'état de la machine ainsi de garantir la sécurité et la continuité de service. A titre d'exemple les techniques basant sur la modélisation par éléments finis permet l'étude des effets locaux du défaut de rupture de barres de la cage rotorique ainsi sert a appréhender les impacts magnétiques et thermique locaux du défaut de court-circuit inter-spores dans les phases statoriques dans le but de

comprendre et de quantifier les conséquences locales d'un défaut sur les différentes parties de la machine [22].

Plusieurs études (thèses et mémoires) traitant le même sujet ont été déjà faite [9 (1995), 16 (2001), 20 (1998), 26(2004), 27 (2009)]. Dans [29], une étude d un défaut de chute de tension de 5 % et 10% dans une phase statorique a été faite en utilisant le logiciel Maxwell 2D.

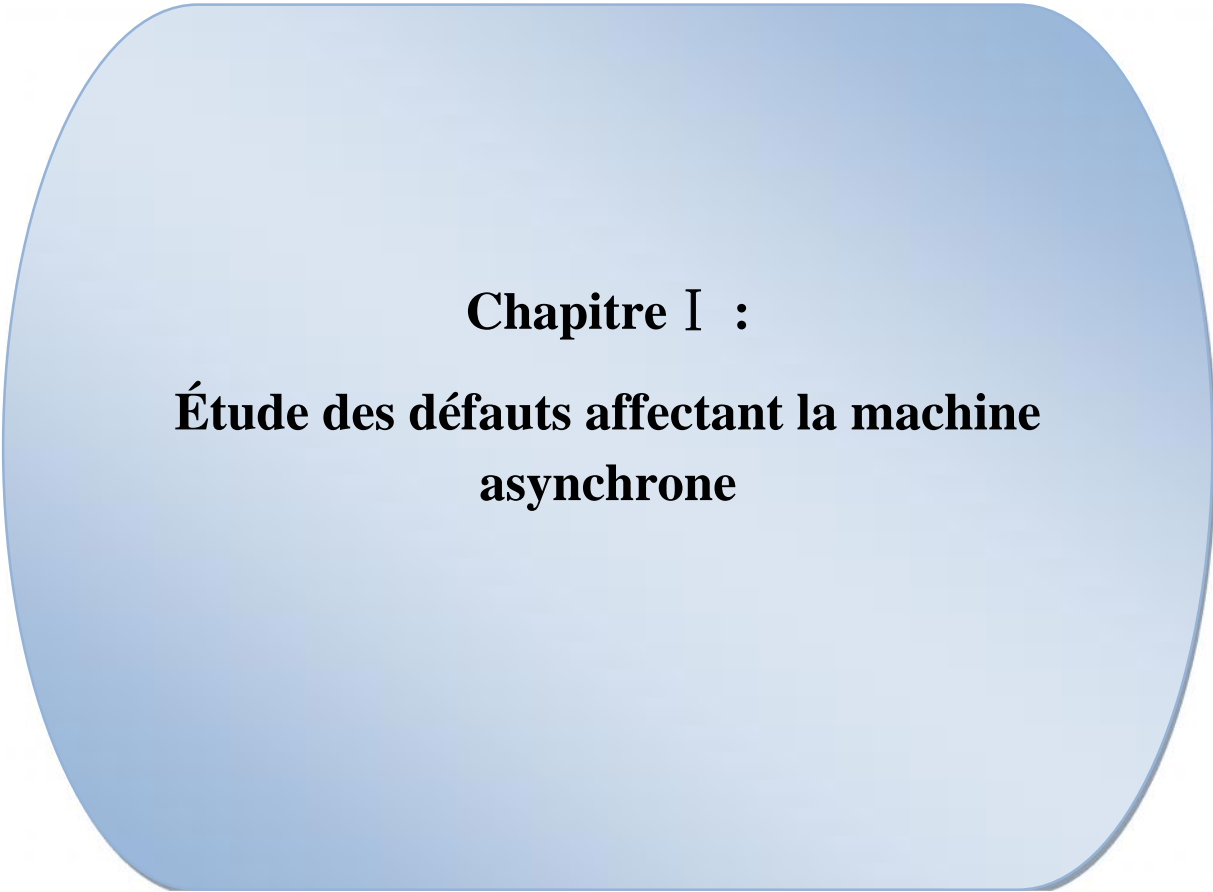
Dans ce présent travail nous allons utiliser le même logiciel pour étudier les effets d un défaut de coupure totale d une phase d'alimentations de réseau sur les performances et les caractéristiques de fonctionnement d un moteur asynchrone triphasé 2.2 kw. Les résultats obtenu seront validé par comparaison aux mesures et relever expérimentant sur le moteur étudié.

Notre travail est structuré comme suit :

Dans le premier chapitre on va présenter une étude sur la machine asynchrone ainsi que les défauts qui peuvent l'affecter au cours de son fonctionnement où on citera aussi les effets et les causes de ces défaillances.

Le deuxième chapitre présentera une étude de la machine asynchrone à cage dans son état normale (sans défauts) en utilisant le logiciel Maxwell 2D. Cette étude consiste à simuler et analyser les performances et les caractéristiques de moteur étudié et cela pour les deux régimes de fonctionnements à vide et en charge.

Dans le troisième chapitre en présentera les résultats de simulation de moteur en présence d'un défaut de coupure d'une phase d'alimentation pour les deux régimes de fonctionnements à vide et en charge ainsi qu'une comparaison de ces résultats avec des mesures et des relevés expérimentaux sur un banc d'essai réalisé dans notre laboratoire , en fin on terminera avec une conclusion générale.



Chapitre I :
Étude des défauts affectant la machine
asynchrone

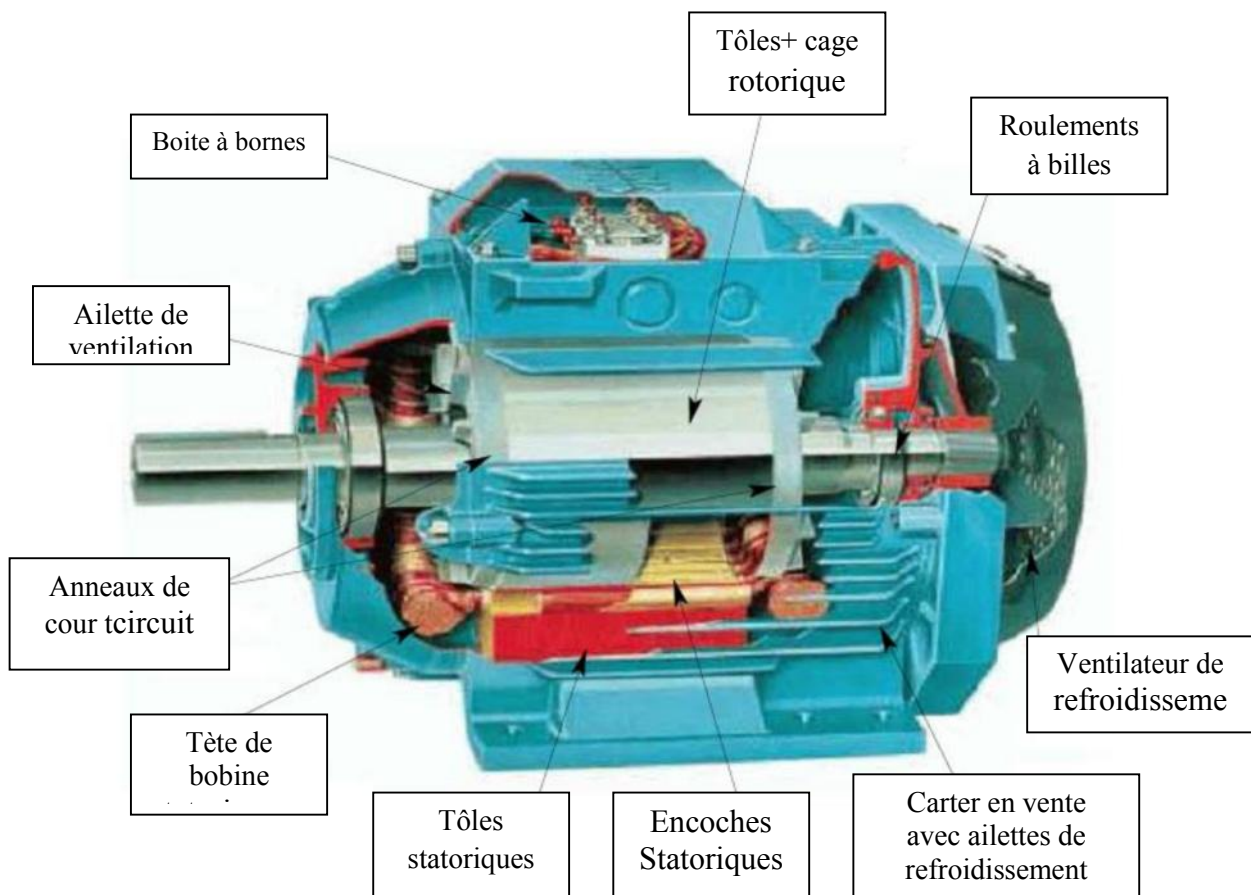


Figure I : Éléments de constitution d'une machine asynchrone à cage d'écureuil [1].

Introduction

En effet, malgré sa robustesse légendaire, l'augmentation croissante des exigences industrielles en termes de fiabilité, ainsi maintenabilité et disponibilité, la MAS triphasée subit, au cours de sa durée de vie, un certain nombre de sollicitation mécanique et électrique qui la rendent, potentiellement, défaillante. Pour cela il était important de disposer d'un certain nombre d'outils et de techniques permettant de diagnostiquer l'état de la machine et la détection de la signature des défauts au niveau des grandeurs mesurables habituelles soit par le biais de l'analyse du contenu harmonique de ces grandeurs soit encore par le biais de l'observation comportementale de la machine. Nous commencerons dans ce chapitre par un rappel sur les machines asynchrones triphasés. Ensuite nous allons citer les types des défauts statorique et rotorique qui pourront l'affecter dans l'objectif d'analyser et simuler ces différentes défaillances et étudier les effets qu'ils portent à ces paramètres au prochains chapitres.

I.1 Machine asynchrone

La machine asynchrone, connue également sous le terme anglo-saxon de machine à induction, est une machine électrique tournante à courant alternatif sans connexion entre le stator et le rotor.

C'est une machine réversible elle fonctionne selon la source d'énergie, soit en « moteur » soit en « générateur », dans les quatre quadrants du plan couple-vitesse. Sa particularité est de fonctionner avec un induit en court-circuit. Le moteur asynchrone triphasé est largement utilisé dans l'industrie, sa simplicité de construction en fait un matériel très fiable et qui demande peu d'entretien.

Le terme asynchrone provient du fait que la vitesse de ces machines n'est pas forcément proportionnelle à la fréquence des courants qui les traversent.

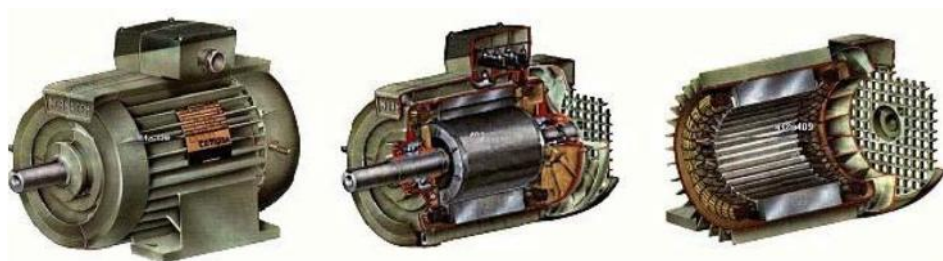


Figure I.1 : Machine asynchrone [2].

I.1.1 Constitution du moteur asynchrone

Les moteurs asynchrones sont pratiquement des Moteurs triphasés, Ils comportent deux composants principaux stators et rotor et les paliers.

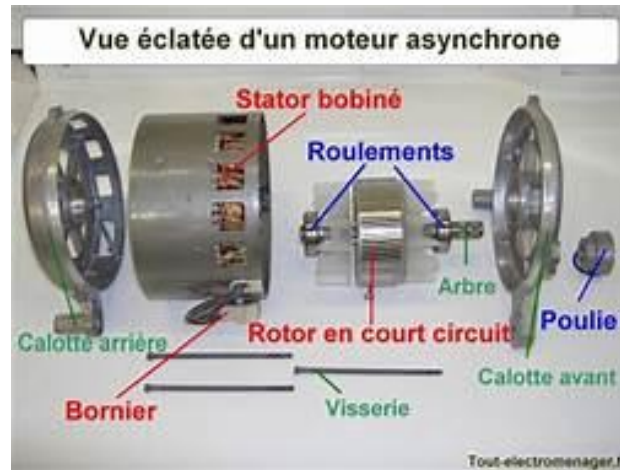


Figure I.2 : Différentes parties du la MAS

I.1.1.1 Le stator

C'est la partie fixe du moteur, Il s'agit d'une carcasse constitué d'un empilement de tôles d'acier de la qualité magnétique Il porte un enroulement bobiné triphasé réparti dans les encoches du circuit magnétique. Ce bobinage statorique peut se décomposer en deux parties : les conducteurs de l'encoches et les têtes de bobines. Les conducteurs d'encoches permettent de créer dans l'entrefer, le champ magnétique à l'origine de la conversion électromagnétique. Les têtes de bobine permettent la fermeture des courants en organisant la circulation judicieuse des courants d'un conducteur d'encoche à l'autre. Dans le but d'obtenir à la surface de l'entrefer une distribution de courant la plus sinusoïdale possible, afin de limiter les ondulations du couple électromagnétique [1]. Généralement le stator est couplé en étoile.

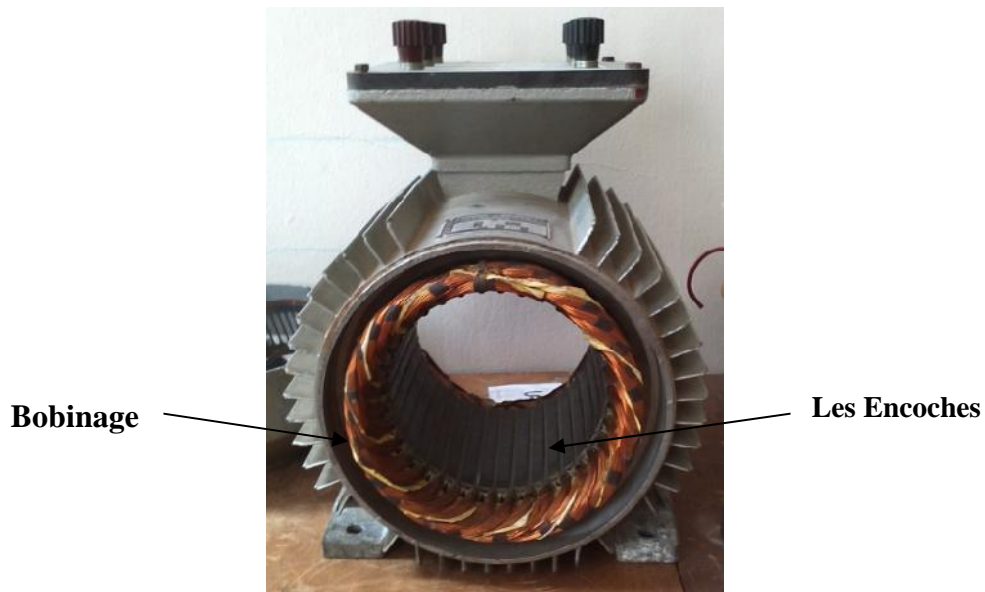


Figure I.3 : Stator d'une MAS (Photo prise au niveau de notre laboratoire).

I.1.1.2 Le rotor

Il se compose d'un cylindre de tôle poinçonnée à leur périphérie extérieur pour former les encoches destinées à recevoir les conducteurs. Le courant d'induit du rotor est dû uniquement au champ tournant du stator.

Le rotor d'un moteur asynchrone est constitué des bobines, mais le plus souvent d'un circuit électrique complètement fermé appelé généralement cage d'écureuil en raison de sa forme. Et c'est le type de motor sur le quel on va faire notre étude.

➤ Rotor à cage d'écureuil :

Le circuit du rotor est constitué de barres conductrices en cuivre ou en aluminium. Ces barres sont reliées entre elles à chacune des extrémités du rotor par un anneau de court-circuit, sa résistance électrique est très faible. Le rotor à cage peut être considéré un enroulement polyphasé. Généralement, ces barres sont inclinées afin de réduire les harmoniques de dentures.

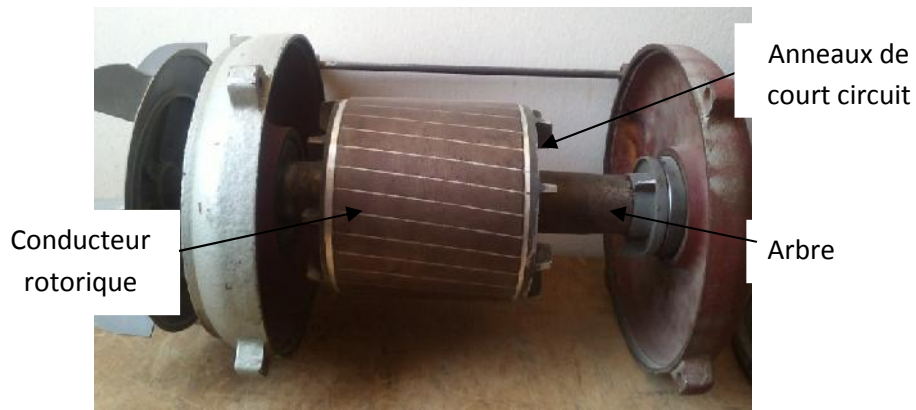
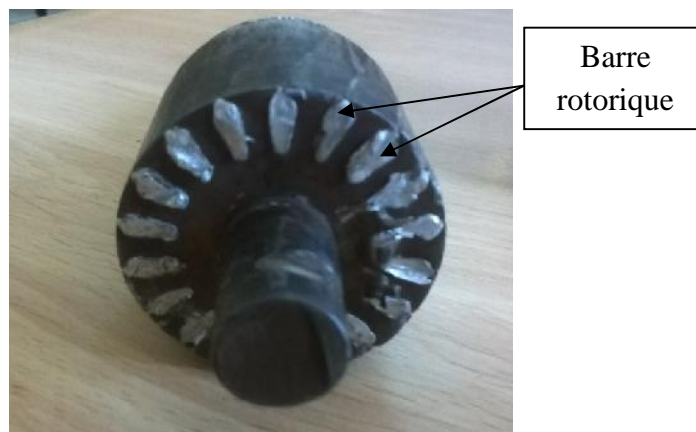


Figure I.4. Rotor d'une MAS a cage (Photo prise au niveau de notre laboratoire).

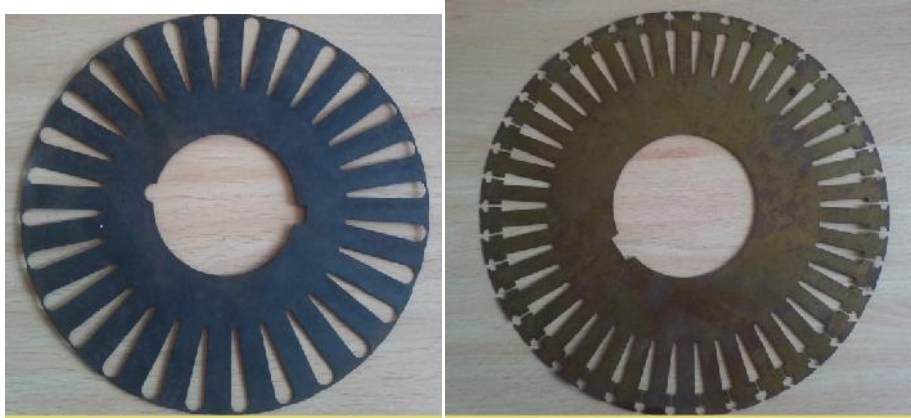
) Le rotor à cage peut être :

- Rotor à simple cage
- Rotor à double cage
- Rotor à encoches profondes

La figure suivante nous montre quelque structure de rotor à cage et de ces encoches :



Coupe d'un rotor à cage à simple encoche (Photo prise au niveau de laboratoire)



Tôle utilisé pour la réalisation d'une cage à simple encoche figure a droite et à double encoche figure a gauche (Photo prise au niveau de laboratoire)



Coupe d'un rotor à cage à double encoche

Figures I.5. Différentes structure de rotor à cage

I.1.1.3 Les paliers

Leurs rôles est de supporter et de mettre en rotation l'arbre rotorique, ils sont constitués de :

a. Roulements à billes

Sont insérés à chaud sur l'arbre. Il assure le guidage en rotation de l'arbre.

b. Flasques

Moulés en alliage de fonte, sont fixés sur le carter statorique grâce à des boulons ou des tiges de serrage.

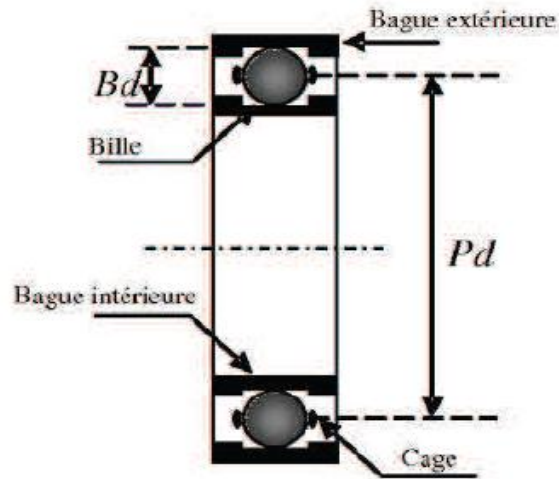


Figure I.6 : Dimensions d'un roulement à billes [4].

I.1.2 Principe de fonctionnement du moteur asynchrone triphasé

Son fonctionnement est basé sur l'interaction électromagnétique du champ tournant créé par le système de tension triphasées fourni au stator. Le stator d'un moteur asynchrone triphasé est constitué de trois bobines disposées à 120° ou $\frac{2\pi}{3}$ rad les unes des autres, qui génèrent le champ magnétique tournant. La fréquence de rotation de ce champ est imposée par la fréquence des courants statoriques, c'est-à-dire que sa vitesse de rotation qui appelée vitesse de synchronisme est proportionnelle à la fréquence de l'alimentation électrique. Ce champ statorique est sinusoïdal et de pulsation ω .

Les courants induits dans le rotor réagissent avec le champ. Ces courants sont responsables de l'apparition d'un couple qui tend à mettre le rotor en mouvement afin de s'opposer à la variation de flux (loi de Lenz). Le rotor se met donc à tourner pour tenter de suivre le champ statorique dans le même sens que le champ tournant, mais à une vitesse inférieure de celle du synchronisme. Les circuits magnétiques du rotor et du stator sont constitués d'un empilage de fines tôles magnétiques pour éviter la circulation de courants de Foucault.

La différence entre la vitesse réelle et la vitesse de synchronisme est appelée vitesse de glissement. Nous avons reporté sur les figures 8 et 7 le schéma de principe du fonctionnement du moteur asynchrone. En inversant deux phases d'alimentation du stator, on inverse le sens de rotation du champ tournant donc de la vitesse.

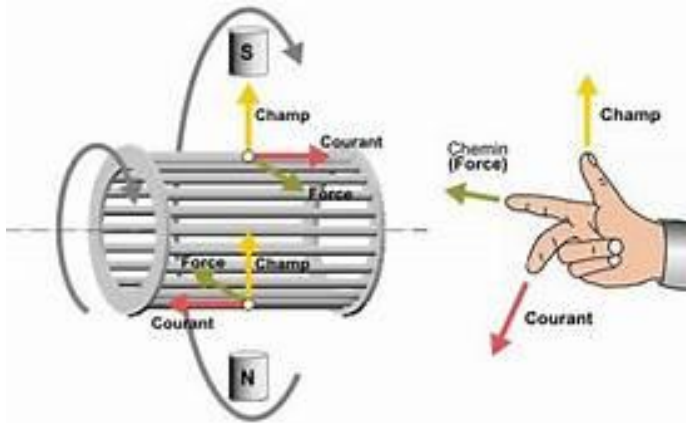


Figure I.8 : Présentation de champ tournant.

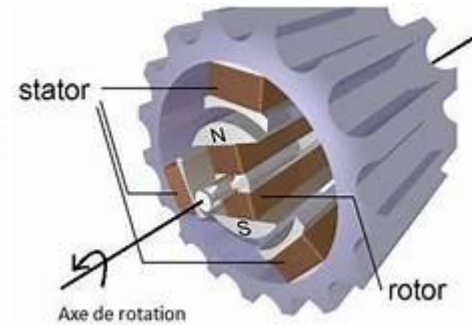


Figure I.7 : Schéma de principe du fonctionnement du moteur asynchrone [5].

I.1.3 Modes de fonctionnement

Il ya trois types de fonctionnement :

-) fonctionnement moteur : l'énergie électrique vient de la source est transformée en énergie mécanique vers la charge (machines outils ...).
-) fonctionnement génératrice : l'énergie mécanique de la charge est transformée en énergie électrique vers la source (éolienne).
-) fonctionnement frein : moteur frein.

I.1.4 Glissement

Le glissement mesure l'écart relatif entre la vitesse de rotation de la machine et la vitesse de synchronisme [6]. Le glissement est toujours faible, de l'ordre de quelques pourcents : de 2 % pour les machines les plus grosses à 6 ou 7 % pour les petites machines triphasées, il peut atteindre 10 % pour les petites machines monophasées. Les pertes par effet Joule dans le rotor étant proportionnelles au glissement, une machine de qualité se doit fonctionner avec un faible glissement [3]. on peut le calculer par la relation suivante :

$$g = \frac{n_s - n}{n_s} = \frac{\Omega_s - \Omega}{\Omega_s} \quad (1)$$

Avec la vitesse de synchronisme n_s et la vitesse de rotation du champ tournant Ω :

$$n = \frac{60}{p} \quad (2)$$

$$\Omega = \frac{\omega}{p} = \frac{2\pi f}{p} \quad (3)$$

Ω : Vitesse de rotation de synchronisme du champ tournant en rad.s^{-1} .

ω : Pulsation des courants alternatifs en rad.s^{-1} .

$$\omega = 2\pi f \quad (4)$$

n_s : Vitesse de rotation du champs tournant en trs.s^{-1} .

n : La vitesse de rotation de la machine.

f : Fréquence des courants alternatifs en Hz.

p : Nombre de paires de pôles. il peut être calculé par la relation :

$$P = f / n \quad (5)$$

n : Vitesse en tours par second.

I.2 Types des défauts affectant la machine asynchrone

Malgré ses qualités et sa réputation d'être robuste la machine asynchrone à cage d'écureuil, peut présenter comme toute autre machine électrique, des défaillances d'ordre électrique ou mécanique.

Dans ce qui suit on va présenter les différents défauts au niveau de la machine asynchrone. Notre objectif est de faire une étude sur ces défaut et voire les défaillances quels porte a cette machine et son fonctionnement.

I.2.1 Etude statistique des défaillances de la machine asynchrone

Plusieurs études ont été effectuées sur la fiabilité des machines électriques réalisées par différents groupes industriels.

L'étude statistique effectuée en 1998 par une compagnie d'assurance allemande de systèmes industriels sur les pannes des machines asynchrones de moyenne puissance (de 50kw à 200kw) sont donné dans figure I.9. L'étude principale, effectuée par la compagnie "General Electric", a été publiée dans EPRI (Electric Power Research Institute) en 1982 elle couvre environ 5000 moteurs, dont approximativement 97% étaient des moteurs asynchrones triphasés à cage [11]. Le travail de Thorsen et Dalva met en évidence la distribution de défauts parmi les composants défectueux dans 483 grands moteurs asynchrones indiquent que le taux de panne pour des moteurs utilisés en extérieur, où l'environnement est humide (aux usines terrestres et en mer par exemple), peut être 2, 5 fois plus grand que le taux d'échec pour des moteurs utilisés à l'intérieur [8 ,9]. Il apparaît clairement que l'occurrence d'un type spécifique de défaut dépend considérablement de l'application spécifique de la machine et de l'environnement de fonctionnement.

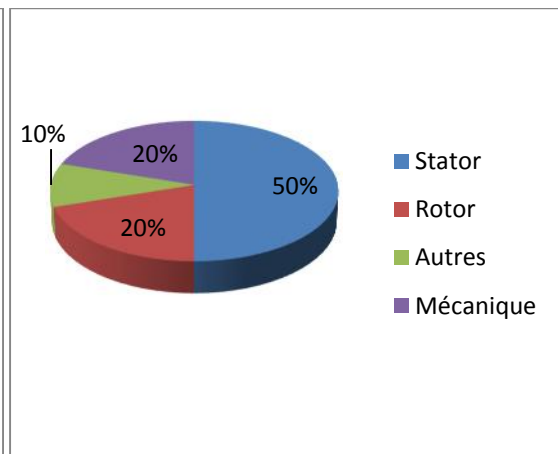
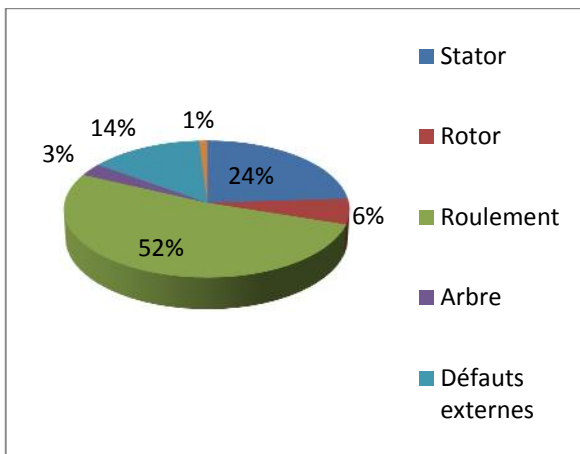
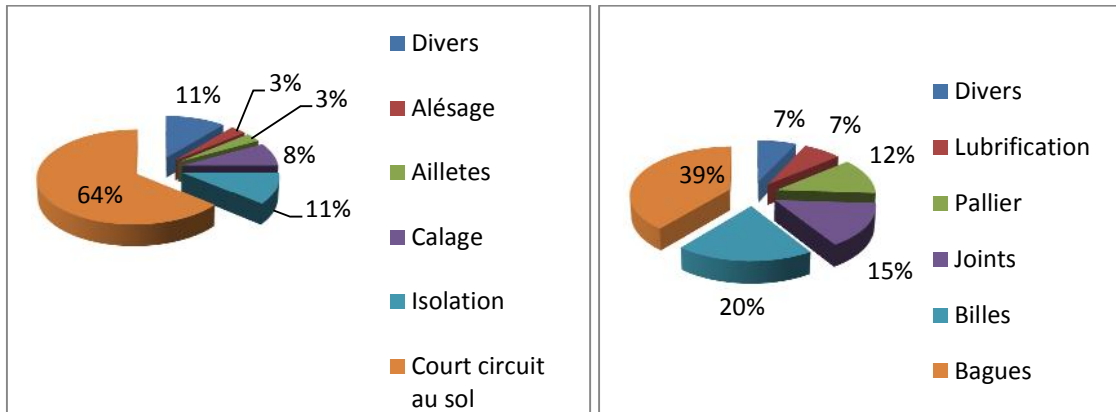


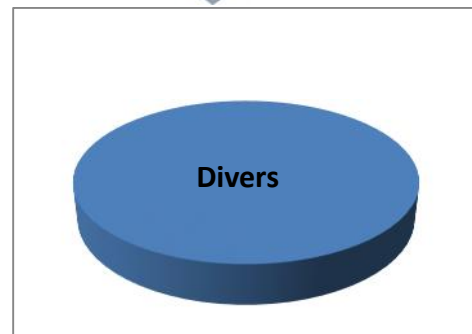
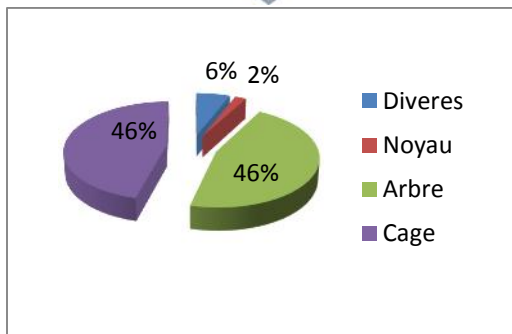
Figure I.9 : Distribution des défauts des machines électriques fonctionnant dans l'industrie pétrochimique. **Figure I.10 :** La répartition des pannes.

Défaut de stator (37% des défauts globales)

Défaut de roulements (41% des défauts globales)



Défauts des machines asynchrones



Défauts de rotors(10% des défauts globales)

Autres défauts (12% des défauts globales)

Figure I.11 : Distribution des défauts.

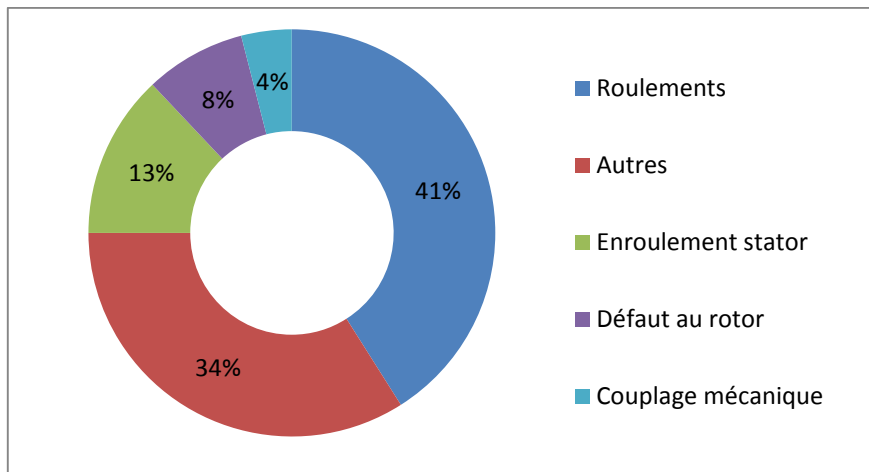


Figure I.12 : Répartition des pannes sur les machines de fortes puissances
(De 100kw à 1 Mw)

Les contraintes mécaniques sont plus grandes pour ces types de machines ce qui explique le taux élevé des pannes dues aux roulements. Celles-ci exigent une maintenance mécanique accrue.

I.2.2. Défauts affectant la machine asynchrone

D'après les études effectuées on peut classer ces défauts dans deux familles principales : les défauts mécaniques et les défauts électriques. Ces défauts sont donc rappelés brièvement dans l'organigramme suivant :

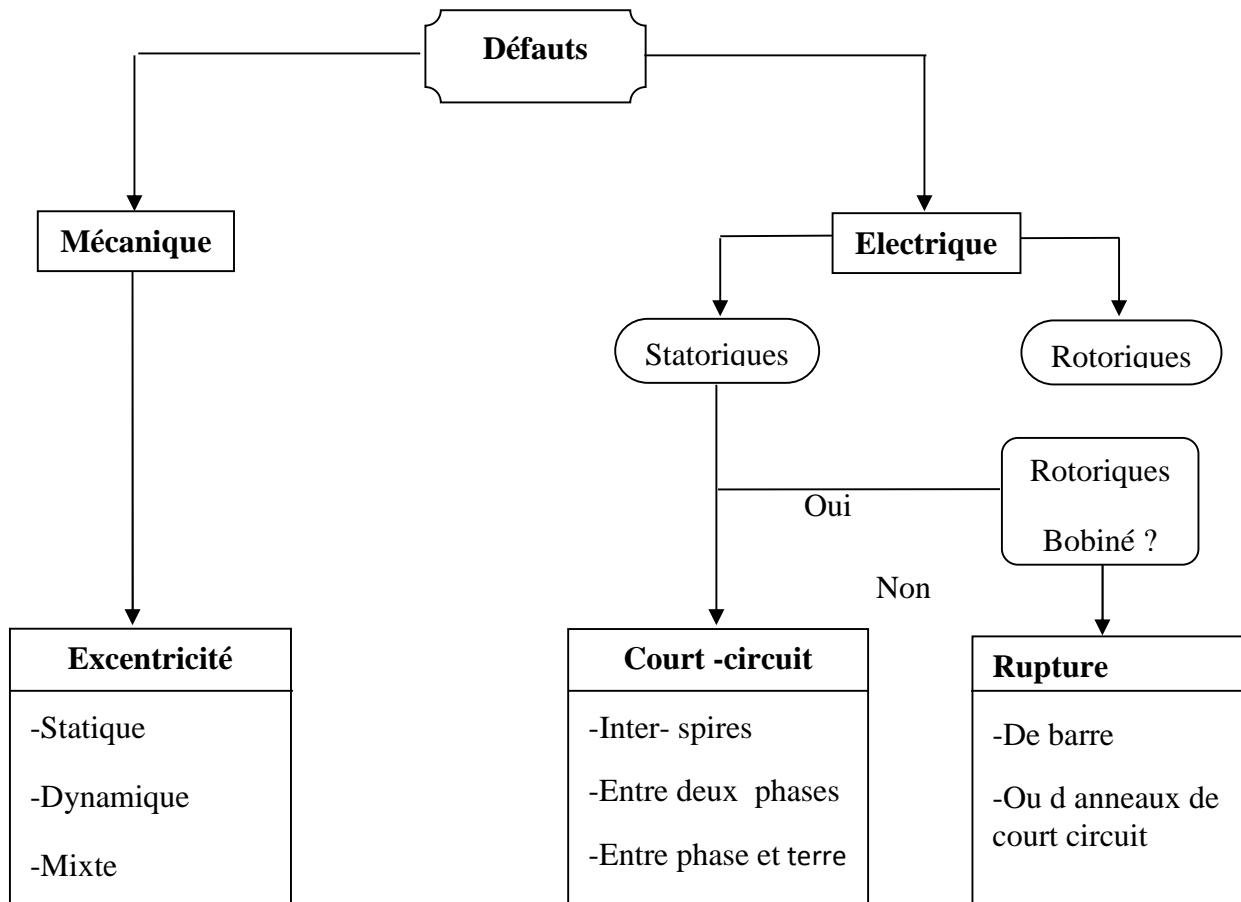


Figure I.13 : Organigramme de défauts statoriques et rotoriques [22].

I.2.2.1. Défauts d'origine mécanique

a. Les défauts de roulements :

Ces roulements généralement constitués d'une bagues intérieure et une autre bague extérieure, entres ces deux bagues il ya un ensemble de billes en acier ou de rouleaux tournants.

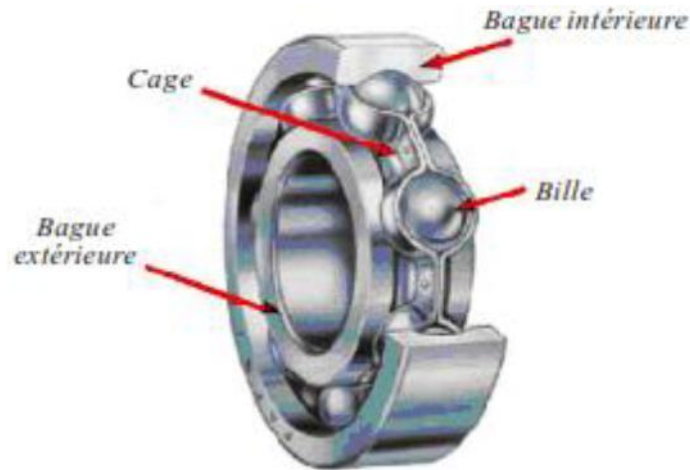


Figure I.14 : Dimension du roulement à bille [12].

Statistiquement c'est le défaut le plus rencontré dans les machines à grande puissance car les contraintes mécaniques sont plus importantes. Il commence par de petites fissures situées au-dessous des surfaces du chemin de roulement et de l'élément roulant, qui se propage graduellement sur la surface [12]. Ce défaut va entraîner une augmentation du niveau sonore et l'apparition de vibrations dans le couple de charge de la machine. Ce qui va causer :

-) Perte et contamination du lubrifiant.
-) Une charge excessive.
-) Circulation des courants de fuites induits par les onduleurs.
-) Élévation de la température de fonctionnement.
-) Huile contaminée (à cause des paillettes métalliques issues de la dégradation des billes)
-) Défaut de montage.

Les différents défauts dans un roulement sont présentés par les figures suivantes :

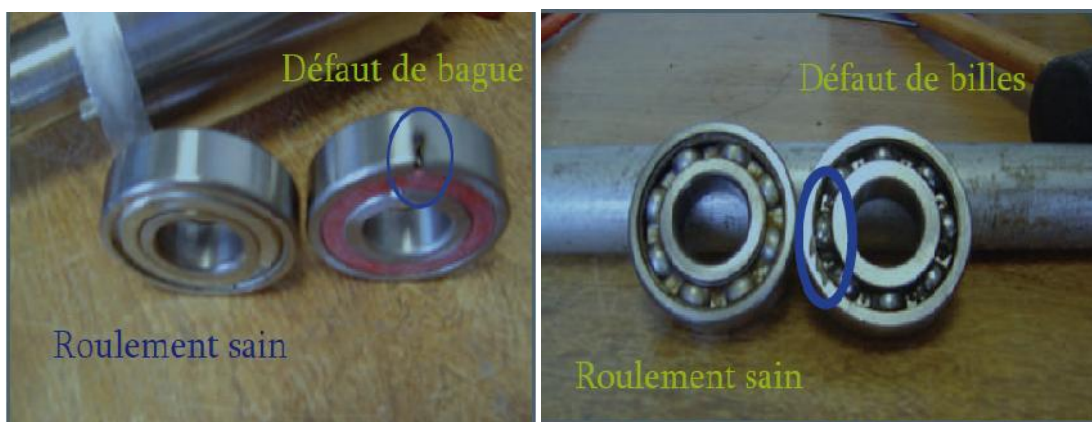


Figure I.15. Vue des roulements sains et défectueux (bague cassée, billes écorchées) [4].

b. Défauts du flasque

Généralement crée au moment de fabrication et de montage. Les flasques sont mal positionné se qui conduit a un désalignement des roulements à billes. D'ou une excentricité au niveau de l'arbre de la machine.

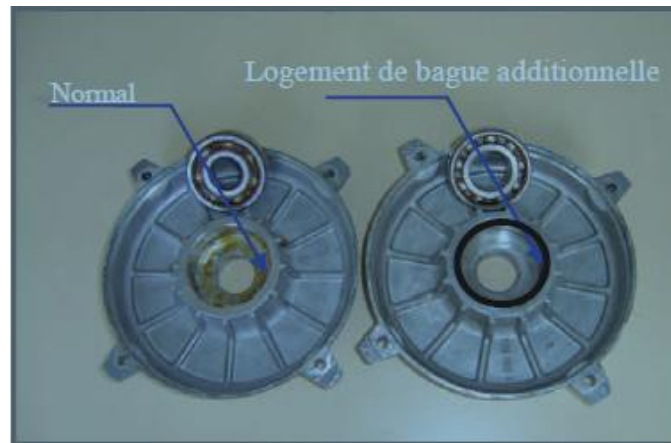


Figure I.16 : Vue d'un flasque de machine sans et avec bague additionnelle d'excentration [4].

c. Les défauts d'excentricités

L'excentricité est le résultat de la non uniformité de ce dernier, ce qui signifie l'existence de longueurs radiales différentes entre le stator et le rotor, donc une asymétrie d'entrefer. Cette asymétrie faite, va décaler les axes des deux armatures l'un par rapport à l'autre. Ce défaut modifie le comportement magnétique ainsi que 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 statorique ainsi que l'enroulement correspondant, ce qui engendre une dégradation de son isolation. D'autre part, cette augmentation peut avoir comme conséquence des frottements entre le stator et le rotor [13 ,14] .ce qui va engendrer les problèmes d'échauffement excessif, augmentation des pertes et les pulsations de couple.....etc. .

Trois catégories d'excentricité sont généralement distinguées :

- **L'excentricité statique :**

Désalignement de l'axe de rotation du rotor par rapport à l'axe du stator.

- **L'excentricité dynamique :**

Le centre de rotation du rotor diffère du centre géométrique du stator,

▪ **L'excentricité mixte :**

La somme des deux cas présentés ci-avant

) Les trois cas sont représentés par la figure I.17 suivante :

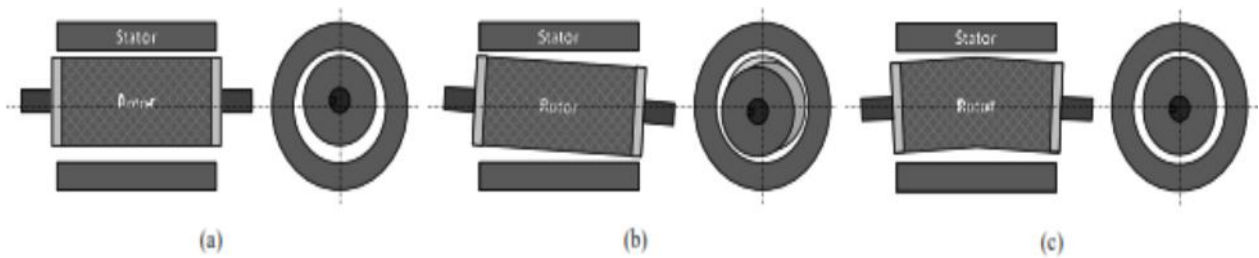


Figure I.17 : Types d'excentricité : (a) statique ; (b) dynamique ; (c) mixte [12].

d. Défauts de l'arbre

Lors de la construction de l'arbre de la machine, l'utilisation d'un mauvais matériau peut faire apparaître une fissure, cette dernière peut causer une fracture nette de l'arbre. Les milieux corrosifs jouent aussi un rôle sur l'affaiblissement de la robustesse de l'arbre, comme par exemple les micros fissures provoquées par l'humidité et qui peut conduire à une destruction complète de la machine [15].

I.2.2.2. Défauts d'origine électrique

Ces défauts on peut les classer en deux catégories, les défauts apparaissant au niveaux des circuit électriques statoriques et celle apparaissant au niveaux des circuit électriques rotoriques.

a. Au niveau du stator

Sont dus à des dépassements de différentes natures [23].

- **Thermique :** l'isolation est conçue pour avoir une certaine durée de vie à la température nominale. Toutefois, si la température augmente au-dessus de cette température de fonctionnement, la durée de vie raccourcit rapidement
- **Électrique :** Une tension supérieure à la valeur nominale ou de hautes valeurs de dV/dt du à l'ouverture et la fermeture des interrupteurs du convertisseur statique, vont conduire à la dégradation du diélectrique assurant l'isolation des bobines

• **Mécanique** : les démarrages répétitifs de machine ont pour conséquence d'augmenter la température dans le cuivre (bobinage statorique et cage). Cet effet cyclique provoque des dilatations et contractions répétitives de l'isolant.

• **Environnemental** : La présence d'humidité ou de produits chimiques dans l'air ambiant peut détériorer la qualité de l'isolation et conduire à défaut d'enroulement. On peut citer plusieurs types de défauts statoriques :

➤ **Défaut d'isolant dans un enroulement**

Du essentiellement à l'élévation de la température causé par les pertes (Joule, fer, mécanique) et l'alimentation de convertisseur qui stress énormément l'isolant (par le gradient de $\frac{d}{a}$), chaque 10°C additionnel fait détériorer l'enroulement deux fois plus rapidement que dans un fonctionnement à température normale. Les matériaux d'isolation ont une limite thermique, électrique et mécanique. Si l'environnement de travail d'un matériau d'isolation dépasse une de ces limites, celui-ci se dégrade de manière prématurée ou accélérée, ce qui provoque des courts-circuits. Les différentes causes pour ce type de défaut sont [2]:

-) Dégradation de l'isolant à la fabrication.
-) Tension de l'enroulement supérieure à la limite du matériau d'isolation.
-) Vibrations mécaniques.
-) Courant élevé dans l'enroulement dû à un court-circuit, un défaut du convertisseur, ou à une surcharge. Ceci entraîne une élévation de la température dégradant prématurément le matériau d'isolation.
-) Vieillesse naturelle des isolants. Tous les matériaux isolants ont une durée de vie limitée. Même dans une utilisation 'normale', l'isolant finit naturellement par se dégrader.
-) Fonctionnement dans un environnement sévère.

➤ **Défauts court-circuit**

Les différents courts circuits sont présentés sur le schéma suivant :

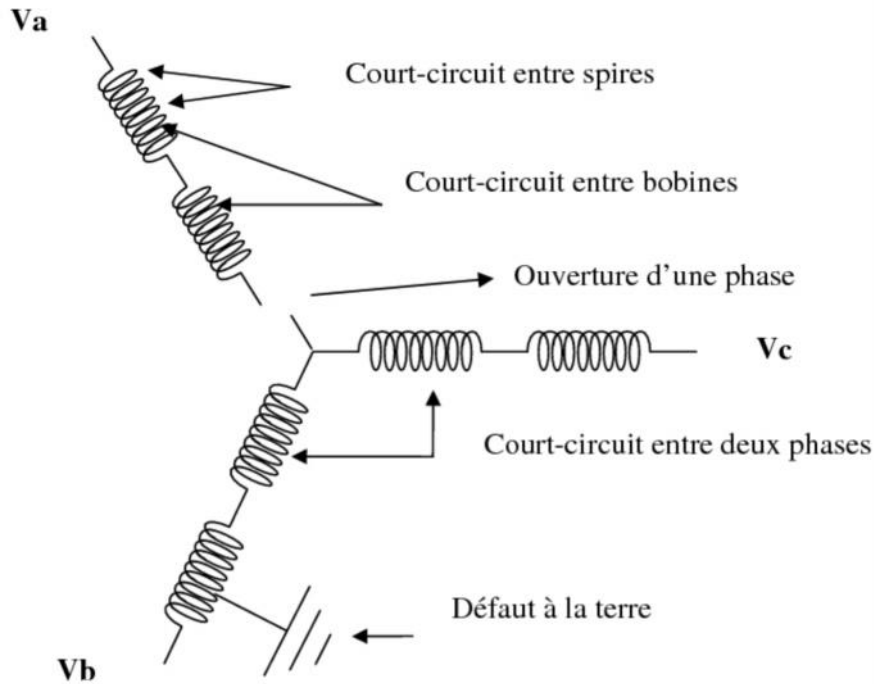


Figure I.18 : Défauts de court circuit statoriques [14]

) Court-circuit entre spires (même phase, phase)

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.

Le chauffage excessif provoqué par le court-circuit entre spires est la raison pour laquelle les moteurs tombent en panne presque toujours en quelques minutes, si ce n'est quelques secondes. La détection de ce type de défaillances se fait en utilisant une grande bobine enroulée de manière concentrique autour de l'axe de la machine pour analyser la composante axiale du flux de la machine. L'étude des variations de flux peut donc être une solution pour détecter et localiser ce défaut [8].

) Court-circuit entre phases ou entre bobines

Tout point du bobinage peut être affecté par ce type de défaut, par contre les répercussions ne seront pas les mêmes selon la localisation.

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 ou à la disjonction par les protections. D'autre part, un court-circuit proche du neutre entre deux phases engendre un déséquilibre sans provoquer la fusion des conducteurs [2]. La détection de ce type de

défaillance peut reposer sur l'analyse harmonique et le déséquilibre des courants de phases, ce dernier est proportionnel au degré de défaut qui apparaît.

➤ **Défaut phase- terre**

Les courants, à rotor bloqué, sont de l'ordre de 6 à 10 fois le courant nominal. S'ils ne sont pas détectés, les défauts de spire peuvent se propager, menant à un court-circuit catastrophique phase-terre

Le défaut d'une phase à la terre a généralement un potentiel flottant, mais pour des raisons de liaisons mécaniques, Il est souvent relié à la masse. Si le potentiel est flottant, un court-circuit entre l'enroulement et le bâti n'a pas d'importance du point de vue matériel, excepté les effets capacitifs, le bâti prend alors le potentiel de l'enroulement à l'endroit du court-circuit. Par contre, au niveau de la sécurité des personnes, ce type de défaut peut être très dangereux et il est alors nécessaire de mettre en place des dispositifs de protection (disjoncteurs différentiels) [8,16].

➤ **Coupure d'une phase**

Un autre défaut qui est classé dans la même catégorie est le "single-phasing" ou fonctionnement en monophasé. Dans ce cas, une ligne d'alimentation ou une phase d'enroulement est coupée, c'est ce qu'on appelle circuit-ouvert ou phase ouverte. Dans le cas d'un montage en étoile, la machine sera alimentée seulement à travers deux phases, donc l'équivalent d'un circuit monophasé [8].

➤ **Défauts de circuit magnétique**

Ces défauts aboutissent dans la plupart des cas à une dissymétrie au niveau du fonctionnement de la machine, qui à son tour peut accentuer le problème par des phénomènes de surchauffe, de surtension, d'élévation importante du courant.

Les figures suivantes résument ces types de défauts statorique :



Figure I.19 : Machine avec défaut de court-circuit statorique [12].



Figure I.20 : Différents défauts statoriques de la machine asynchrone [12]

b. Au niveau du rotor

Les défauts du rotor peuvent être considérés comme plus complexes que les défauts du stator. Ces défaillances sont essentiellement dues à un problème :

- thermique (surcharge,)
- électromagnétique résiduel (déformation,)
- dynamique (arbre de transmission,)
- mécanique (roulement,)

•environnemental (agression,)

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

➤ **Défaut de cassure de barre pour la MAS a cage**

Elle peut se situer soit au niveau de son encoche soit à l'extrémité qui la relie à l'anneau de court circuit. Ce problème des ruptures de barres dans les machines à induction a été l'objet de plusieurs travaux de recherches on cite : Kliman, Thomson Elkasbgy et Filippetti. Ce type de défaillances provoque une dissymétrie du rotor, leur détection est rendue difficile par le fait que la machine ne s'arrête pas de fonctionner. Par ailleurs ces défauts ont un effet cumulatif, la rupture d'une barre se traduit par l'augmentation de la résistance équivalente de l'enroulement rotorique. L'information de la rupture de barre se trouve donc portée par le flux magnétique, et par conséquent dans le courant qui traversait la barre cassée qui se répartit sur les barres adjacentes. Ces barres à leurs tours seront surchargées, ce qui conduit à leurs futures ruptures jusqu'à l'arrêt de la machine. Il est donc nécessaire de connaître les fréquences résultant d'une rupture de barres à fin de pouvoir les détecter à travers une analyse spectrale de ces courants [17,18]. La rupture d'une barre peut être soit sur une seule barre soit sur deux barres adjacentes ou opposition. L'effet de cette cassure croît rapidement avec le nombre de barres cassées.

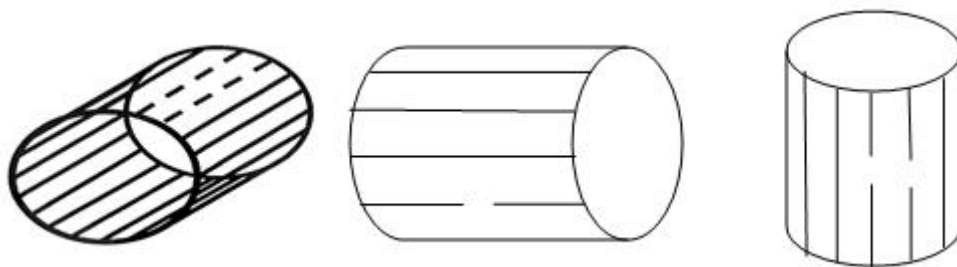


Figure I.21 : Rupture de barre.



Figure I.22. Photo d'une barre cassée (réalisation artificielle) [1].

➤ **Défaut de rupture des 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.

Ces portions d'anneaux de court-circuit véhiculent des courants plus importants que ceux des barres rotoriques. De ce fait, un mauvais dimensionnement des anneaux, une détérioration des conditions de fonctionnement (température, humidité,...) ou une surcharge de couple et donc de courants, peuvent entraîner leur cassure. La rupture d'une portion d'anneau déséquilibre la répartition des courants dans les barres rotoriques et de ce fait, engendre un effet de modulation d'amplitude sur les courants statoriques similaire à celui provoqué par la cassure de barres [13]. Les défauts de fabrication ainsi que les conditions de fonctionnement peuvent être la cause de cette rupture, par exemple à l'étape de fabrication le rotor injecté sous pression d'aluminium peut avoir des bulles d'air entre les couches, cela augmente les résistances électriques des barres. Par conséquent, il peut y avoir des points faibles dans les barres où les résistances sont très grandes et les températures élevées, ce qui peut mener à une rupture complète de la barre, ou lors de fonctionnement, le courant rotorique peut atteindre dix fois le courant nominal ce qui provoque un échauffement excessif dans le circuit rotorique. La période de démarrage est aussi caractérisée par un minimum de refroidissement et des efforts mécaniques importants, qui surchargent les barres du rotor.

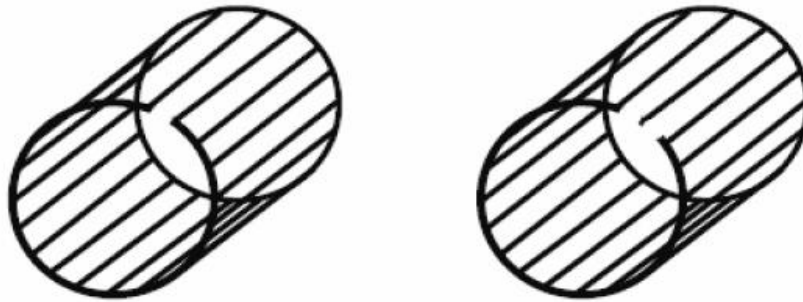


Figure I.23 : Rupture d'une et deux portions adjacentes d'anneau de court-circuit [1].

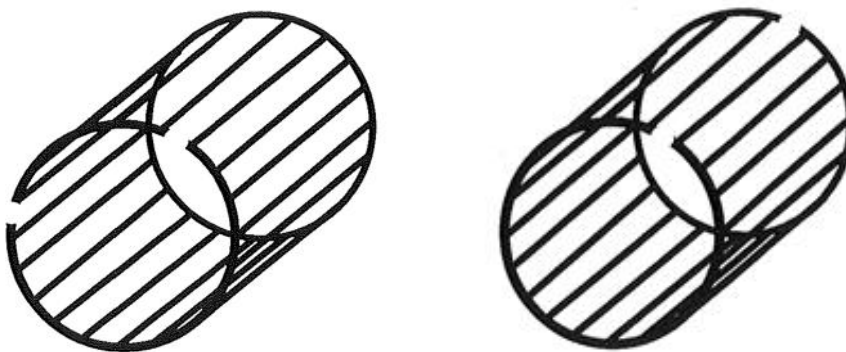


Figure I.24 : Inclusion de rupture de deux portions d'anneau en quadrature à gauche et en opposition à droite [20].

Autre défauts qui sont :

Les défaillances magnétiques : Dans les circuits magnétiques, constitués d'un assemblage de tôles magnétiques isolées (fissures serrages)

Dans les sources magnétiques (aimants permanent) : Désaimantations (locale, étendue, globale)

I.3. Conséquences et causes des défauts

I.3.1. Causes

Généralement leurs causes sont multiples et peuvent se classer en trois groupes [23] :

- les générateurs de pannes ou initiateurs de défauts : surchauffe du moteur, défaut électrique (court-circuit), survoltage d'alimentation, problème d'isolation électrique, usure des éléments mécaniques (roulements à billes), rupture de fixations, etc.

- les amplificateurs de défauts : surcharge fréquente, vibrations mécaniques, environnement humide, échauffement permanent, mauvais graissage, vieillissement, etc.
- les vices de fabrication et les erreurs humaines : défauts de fabrication, composants défectueux, protections inadaptées, mauvais dimensionnement de la machine.

I.3.2. Conséquences des défauts

On cite parmi les conséquences des défauts :

- Effectuassions et augmentation des pulsations au niveau du couple et de la vitesse
- Appel supplémentaire de courant
- Déséquilibre au niveau de la tension et de courant de ligne
- échauffement excessif.
- Augmentation des arrêts non programmés, des pertes de production et par conséquent le rendement global.

Conclusion

Ce chapitre est consacré pour la présentation et l'étude des différentes parties constituant la machine asynchrone triphasée plus précisément celle à cage d'écureuil, à savoir (stator, rotor, paliers), nous sommes intéressés ensuite à synthétiser les défauts mécaniques et électriques qui se produisent au niveau de la machine, tout en mettant l'accent sur les études statistique et les recherche qui ont été déjà faite sur leurs répartitions, leurs effets ainsi leurs causes et conséquences. Pour pouvoir montrer l'effet des défauts sur le moteur, nous allons utiliser la méthode des éléments finis et faire une simulation et voire le comportement de la machine dans le fonctionnement normale c'est à dire cas sein et le fonctionnement en présence de défauts ceci fera l'objet du deuxième chapitre suivant.

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

Introduction

Les différentes approches de modélisation reposent sur la résolution des équations de l'électromagnétisme et de la mécanique, les différences proviennent des hypothèses simplificatrices qu'il est possible de faire.

Les modèles décrivant le fonctionnement de la machine asynchrone en présence de défauts peuvent être groupés en modèles physiques et en modèles comportementaux. Pour notre travail ce qui nous intéresse est : Les modèles physiques qui se basent sur les lois de l'électromagnétisme pour décrire le fonctionnement de la machine. Les méthodes les plus utilisées dans ce cadre de modélisation sont [22] :

- La méthode des éléments finis.
- la méthode des réseaux de perméance.
- la méthode des circuits électriques magnétiquement couple.

Afin d'avoir des modèles plus fins et plus réalistes nous pouvons avoir recours à des techniques se basant sur la modélisation par éléments finis, dont l'objectif est de prévoir les effets des différents défauts sur la machine asynchrone, dans ce travail nous allons réaliser une étude sur la machines asynchrone a cage qui ce trouve au niveau de notre laboratoire en utilisons le logiciel Ansys Maxwell 14.0.

II.1 Définition de la méthode des éléments finis

La méthode des éléments finis est une approche qui requiert un temps de calcul important, le circuit magnétique de la machine est découpé en plusieurs éléments de dimension faible pour permettre de considérer le matériau magnétique linéaire sur les surfaces correspondantes [22]. Cette méthode nous permet de comprendre et de quantifier les conséquences locales d'un défaut sur les différentes parties de la machine, ainsi d'avoir un modèle plus proche de la machine électrique réelle. On se basant sur La résolution numérique des équations de Maxwell régissant le comportement des champs électromagnétiques et les équations constitutives du milieu. Elle est à la base, en particulier, du logiciel Maxwell 14.0.

II.2 Les équations de Maxwell

Les équations de Maxwell, aussi appelées équations de Maxwell-Lorentz, sont des lois fondamentales de la physique. Elles constituent les postulats de base de l'électromagnétisme,

avec l'expression de la force électromagnétique de Lorentz. Ces équations résument les différents théorèmes (Gauss, Ampère, Faraday).

II.2.1 L'équation de Maxwell-Gauss

Décrit comment un champ électrique est généré. cette loi relie le flux électrique à travers n'importe quelle surface de Gauss fermée avec la charge électrique contenue dans le volume délimité par cette surface.

$$\operatorname{div} \vec{E} = \frac{\rho}{\epsilon_0} \quad (1)$$

II.2.2 L'équation de Maxwell-Thomson

Énonce qu'il n'existe aucune « charge magnétique » (ou monopôle magnétique) analogue à une charge électrique. Au contraire, le champ magnétique est engendré par une configuration nommée dipôle, cela permet de montrer que le flux magnétique total à travers n'importe quelle surface fermée est nul.

$$\operatorname{div} \vec{B} = 0 \quad \text{conservation du flux magnétique} \quad (2)$$

II.2.3 L'équation de Maxwell-Faraday

Décrit comment la variation d'un champ magnétique peut induire un champ électrique. Ce courant induit est utilisé dans de nombreux générateurs électriques .

$$\operatorname{rot} \vec{E} = - \frac{\partial \vec{B}}{\partial t} \quad (3)$$

II.2.4 L'équation de Maxwell- Ampère

Énonce que les champs magnétiques peuvent être générés de deux manières : par les courants électriques (c'est le théorème d'Ampère) et par la variation d'un champ électrique (c'est l'apport de Maxwell sur cette loi).

$$\operatorname{rot} \vec{B} = \mu_0 \vec{J} + \mu_0 \epsilon_0 \frac{\partial \vec{E}}{\partial t} \quad (4)$$

Avec :

Tableaux II.1 : Grandeur et potentiels

$\rho(\vec{r}, t)$	La densité volumique de charge électrique
$\vec{J}(\vec{r}, t)$	Le vecteur densité de courant
$\vec{E}(\vec{r}, t)$	Le vecteur champ électrique
$\vec{B}(\vec{r}, t)$	Le pseudo vecteur induction magnétique
ϵ_0	La permittivité diélectrique du vide
μ_0	La permittivité magnétique du vide
μ	La permittivité magnétique du milieu

En générale on rajoute à ces équations les relations constitutives des matériaux et la loi d

Ohm :

Loi d ohm :

$$\text{Courant de conduction} \quad \vec{J} = \sigma \vec{E} \quad (5)$$

$$\text{Courant de déplacement} \quad \vec{J}_D = \frac{\partial}{\partial t} \quad (6)$$

En rajoute aussi les lois de comportement de milieu :

$$\text{Dans un milieu magnétique} \quad \vec{B} = \mu_0 \vec{H} + \vec{B}_r \quad (7)$$

$$\text{Dans le vide} \quad \vec{B} = \mu_0 \vec{H} \quad \text{avec} \quad \vec{B} = \vec{r} \wedge \vec{A} \quad (8)$$

$$\text{Dans un milieu diélectrique} \quad \vec{D} = \epsilon_0 \vec{E} = \vec{E} \quad (9)$$

II.2.5 Conditions aux limites

Comme on fait appelle aux conditions aux limites qui permettent d'avoir des solutions d'équations aux dérivées partielles unique et physiquement correctes.

Les conditions aux limites sont imposées sur les frontières qui délimitent le système électromagnétique d'étude, on a deux types :

-Frontières externes

-Frontières (interfaces) entre matériaux des propriétés différentes.

Deux types concernant les CL sont :

-) Les conditions aux limites de type Dirichlet les lignes de champ sont parallèles il peut être :

-Dirichlet homogène ($A=0$)

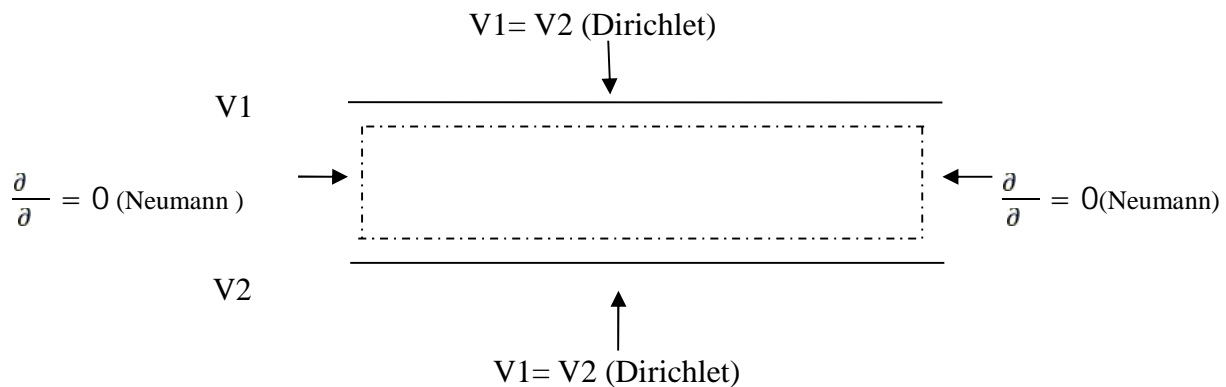
-Dirichlet non homogène ($A \neq 0$)

) Les conditions aux limites de type Neumann les lignes de champ sont perpendiculaires il peut être

-Neumann homogène ($\frac{\partial}{\partial n} = 0$)

-Neumann non homogène ($\frac{\partial}{\partial n} \neq 0$)

Exemple :



II.3 Présentation du logiciel

II.3.1 ANSYS Maxwell

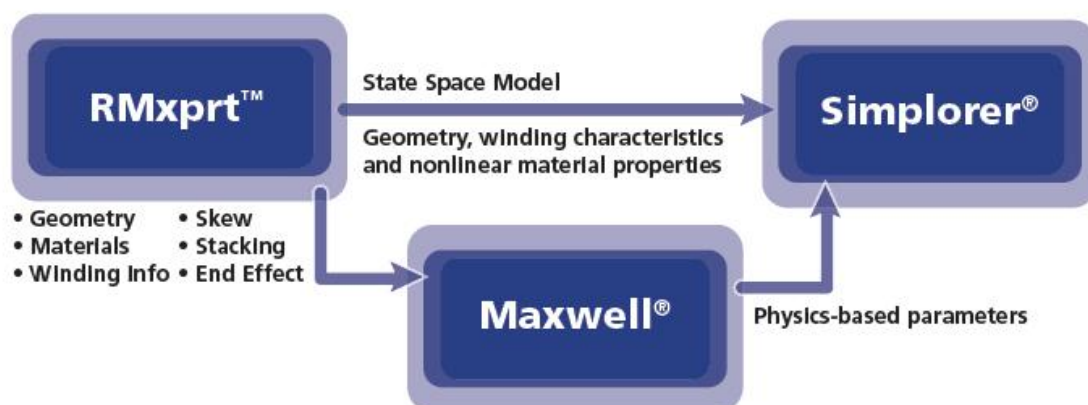
ANSYS Maxwell est le logiciel de simulation de champ électromagnétique leader de l'industrie pour la conception et l'analyse de moteurs électriques, d'actionneurs, de capteurs, de transformateurs et d'autres dispositifs électromagnétiques et électromécaniques. Avec Maxwell, vous pouvez caractériser précisément le mouvement transitoire non linéaire des composants électromécaniques et leurs effets sur le circuit de commande et la conception du système de commande. En tirant parti des solveurs de champs électromagnétiques avancés de Maxwell et en les reliant de façon transparente à la technologie de simulation de circuits intégrés et de systèmes, vous pouvez comprendre les performances des systèmes électromécaniques longtemps avant de construire un prototype en matériel. Ce laboratoire électromagnétique virtuel vous donne un avantage concurrentiel important avec des délais de mise sur le marché plus courts, des coûts réduits et des performances système améliorées [25].

Maxwell inclut les solveurs suivants [25]:

- Transitoire magnétique avec mouvement rigide.
- AC électromagnétique.
- Magnétostatique.
- Electrostatique.
- Conduction DC.
- Transitoire électrique.
- Interfaces de conception experte pour les machines électriques et les transformateurs.
- ANSYS Simplorer Entry (simulation de circuit et de système).

II.3.2 RMXprt

Est un outil ajouté au logiciel Maxwell pour faciliter son utilisation par des exemples et plusieurs modèles prédéfinies dans une sorte de bibliothèque ou on peut trouver des géométries similaires à celle souhaitée dont il se fait juste d'apporter les modifications qu'il faut (les paramètres de la machine, le type de la géométrie), ce qui nous permettra de requérir pas mal de temps [26].



II.4 Conception et analyse de modèle de la machine asynchrone

Avant de commencer la conception nous allons d'abord présenter les paramètres de la machine sur laquelle on va faire notre étude.

II.4 .1 Paramètres du moteur

Le moteur qu'on va utiliser est un moteur asynchrone a cage qui se trouve dans le laboratoire, dont on dispose de ces caractéristiques et des autres paramètres qui sont présentés dans les tableaux suivants :

Tableau II.2 : Paramètres nominaux de la machine

Nom	Valeur	Unité
Type de la machine	Triphasée	/
Courant	5.2	A
Tension	380	V
Vitesse	1410	Tr/min
Fréquence	50	Hz
Puissance	2200	W
$\text{Cos}\varphi$	0.83	/
Branchement des bobines	Triangle	/
Rendement	78	%
Nombre de pôles	4	/

) Autre Paramètres concerne les deux parties de la machine (stator, rotor) :

Tableau II.3 : Paramètres de stator

Nom	Valeur	Unité
Diamètre intérieur	88.5	mm
Diamètre extérieur	145	mm
Longueur de stator	110	mm
Facteur d'empliment	0.95	/
Nombre d'encoche	36	/
Nombre de conducteurs par encoche	64	/
Type de matériau	METALS M800-50A	/

Tableau II.5 : Paramètres de rotor

Nom	Valeur	Unité
Diamètre intérieur	37	mm
Diamètre extérieur	88	mm
Longueur	110	mm
Facteur d'empliment	0.95	/
Nombre d'encoche	28	/

Type de matériau	METALS M800-50A	/
------------------	-----------------	---

Tableau II.7 : Paramètre des barres rotorique

Nom	Valeur	Unité
Type de matériau	aluminium	
Hauteur de l'extrémité de l'anneau	19.25	Mm
Langueur de l'extrémité de l'anneau	13	Mm

NB : Pour l'arbre on a : type de matériau non magnétique.

II.4.2 Etapes de Conception

Après avoir installé le logiciel maxwell 2D, la création et l'étude d'un dispositif avec ce dernier passe par les étapes suivantes :

- 1- On clique sur icône Maxwell 14.0 suivante

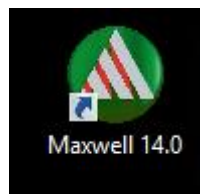


Figure .II.1 : Icône Maxwell 14.0

- 2- Une fois entré on clique sur Insert RMXprt qui nous permettra de choisir le modèle dont on a besoin « Three phase Induction motor » renommer au choix
- 3- Faire entrer les paramètres de notre machine réelle pour les différentes parties citées avant (stator, rotor, arbre), avec un double clique sur :

-La machine : un tableau s'affiche on entre les paramètres de notre machine.

-Le stator : un tableau s'affiche → on fait entrer les paramètres du stator qu'on a dans le tableau II.3.

NB : Le type de matériau (M800-50A) est un matériau ferromagnétique doux qui n'est pas inséré dans la bibliothèque des matériaux de RMXprt, on va l'ajouter manuellement, par un clic sur « steel type » la fenêtre suivante va s'ouvrir :

on clique sur « add material » après on choisissons type « nonliar » dans le tableau suivant : en suite on clique sur « BH Curve », entre les coordonnées de B (tesla) et H (A/m) dans le tableau qui s'affiche, on aura la courbe par la quelle ce matériau est caractérisé comme le montre la figure suivante :

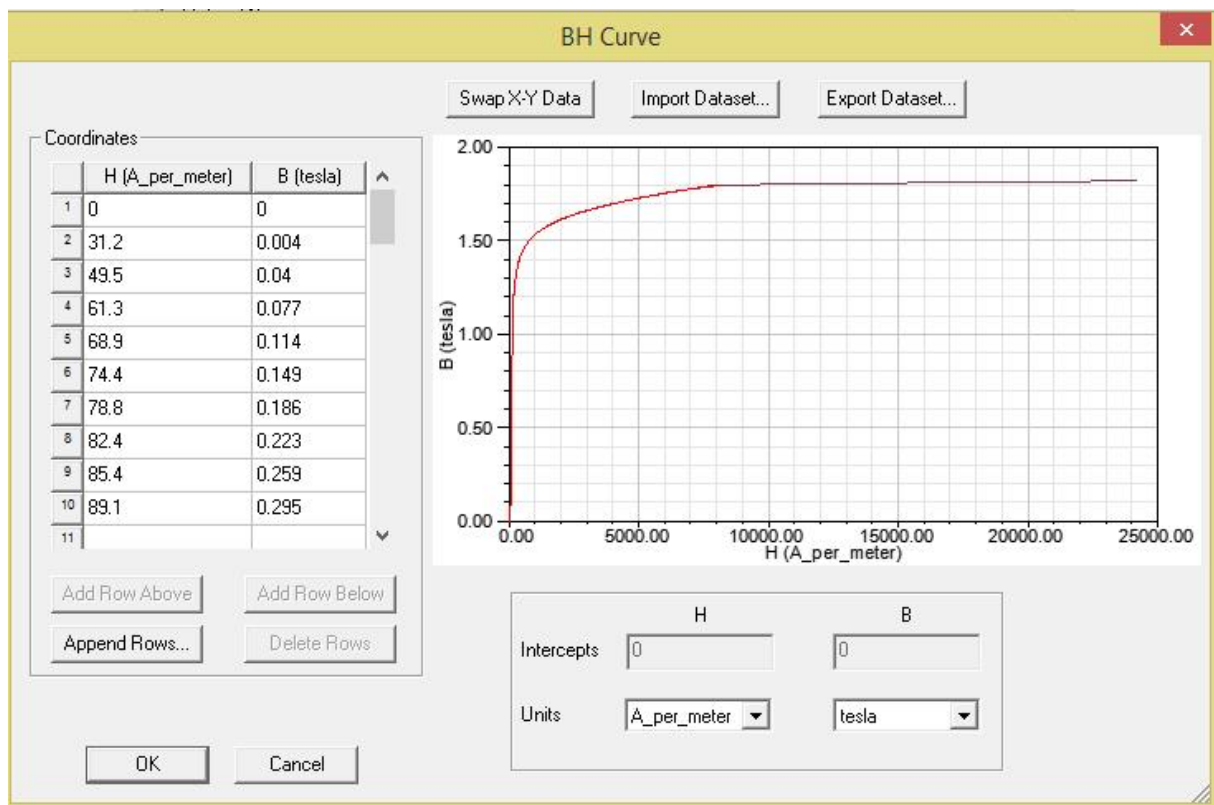


Figure II.2 : courbe de B(H)

Une fois terminé on valide notre matériau et on aura la géométrie du stator ci dessous:

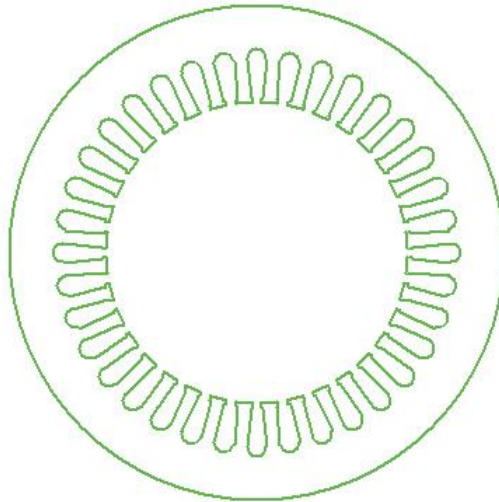


Figure II.3 : La géométrie du stator

) Enfin on a les paramètres concernant les différentes parties de stator :

-Slot (encoche) : Un tableau s'affiche, on fait entrer les paramètres de notre encoche (tableau II.4).

Tableau II.4 : Paramètres des encoches statorique

Nom	Valeur	Unité
Hs0	1.05	Mm
Hs1	0.2	Mm
Hs2	11.185	Mm
Bs0	2.8	Mm
Bs1	4	Mm
Bs2	6.16	Mm

) Types d'encoche sous RMxprt est le type 2 comme la montre la figure ci-dessous

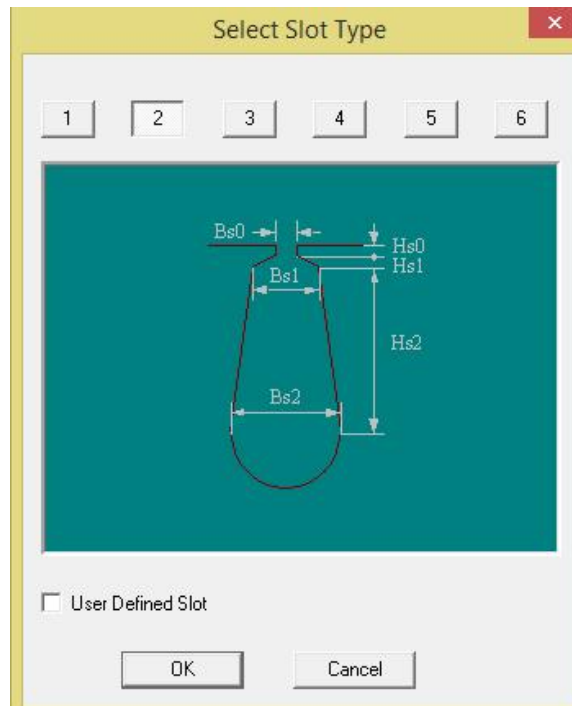


Figure II.4 : Type d'encoche statorique

-Le rotor : Un tableau s'affiche, on entre les paramètres de rotor qu'on a présenté dans le tableau II.5.

) Types d'encoche sous RMxprt est le type 1 comme la montre la figure ci-dessous :

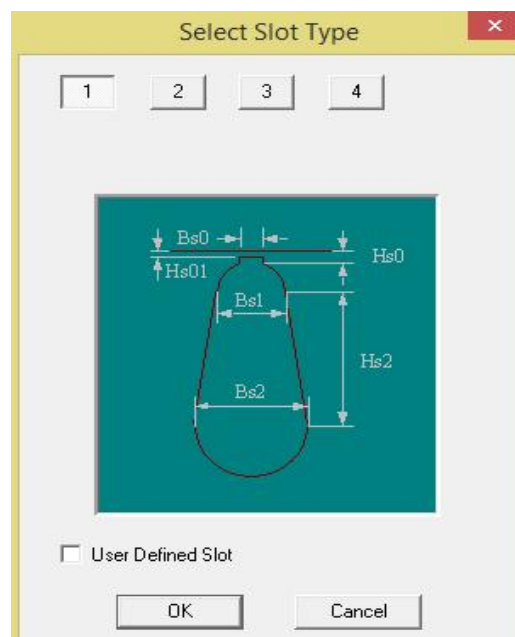


Figure II.5 : Type d'encoche rotorique

Tableau II.6 : Paramètres des encoches rotorique

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

On aura la géométrie de rotor suivante :

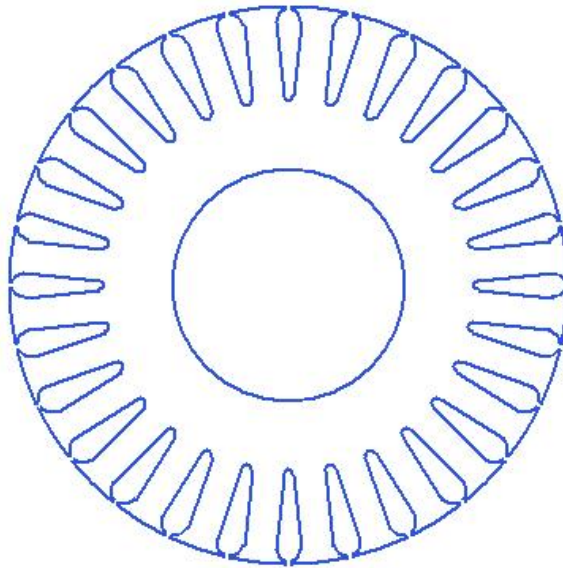


Figure II.6 : La géométrie de rotor

-Shaft (arbre) : Pour l'arbre on sélectionne non magnétique.

A la fin (après insertion de tous les paramètres), on aura la géométrie de la machine entière présentée dans la figure II.7 :

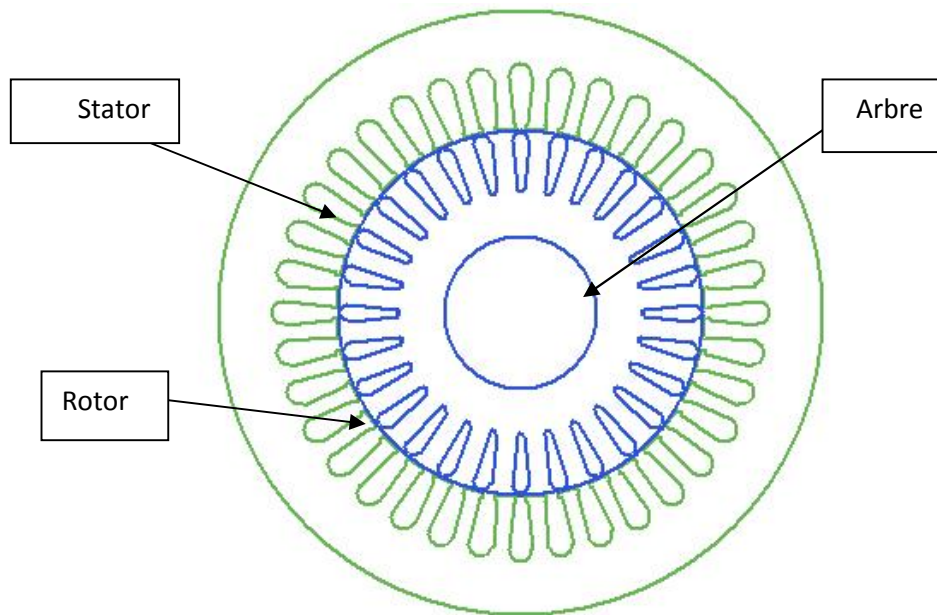


Figure II.7 : La géométrie complète de la machine obtenue

-Analysis : On clique sur « Setup » et on remplit le tableau qui s'affiche.

- 4- Une fois terminé on valide notre modèle avec un clic sur « Validate » () puis on lance l'analyse avec « Analyze all » ().

II.4.3 Résultats d'analyse du modèle avec RMXprt

Une fois terminé l'analyse du modèle on a obtenu les résultats ci-dessous qu'on peut visualiser en cliquant avec le bouton droit sur « Results » → sélectionnez « Solution Datta » et on aura les calculs des performances et les figures suivantes :

- 1) Pour le calcul des performances nous avons le tableau ci-dessous :

Tableau II.7 : Performances de la machine

Nom	Valeur	Unité
Glissement de décrochage	0.58	/
Couple de décrochage	61.4404	N.m
Rapport de couple à la rupture	4.12382	/
Courant de décrochage	16.941	A

NB : Tous les calculs faits automatiquement par le logiciel sont mentionnés dans l'annexe

2) autres résultats que nous avons eu sont présentés sous forme des courbes comme suit :

La courbe du courant en fonction de la vitesse :

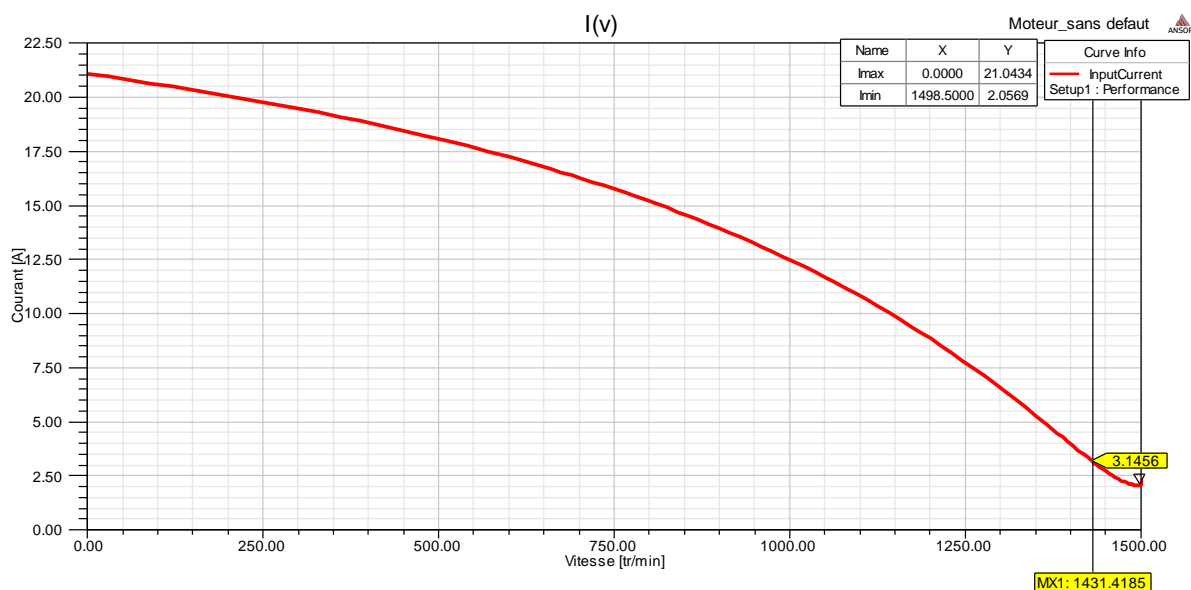


Figure II.8 : Le courant d'une phase en fonction de la vitesse.

Le moteur est soumis à la pleine tension, aux premiers instants, en remarque la valeur élevé de courant ce qui est toujours connue par « appel de courant » au démarrage et qui égal 5 a 6 fois environ le courant nominal. Après sa disparition, le courant permanent est atteint 3.15A, la même valeur qui est calculé par RMXprt, c'est le courant correspondant au comportement inductif du moteur à vide (fonctionnement normale).

La courbe de couple en fonction de la vitesse :

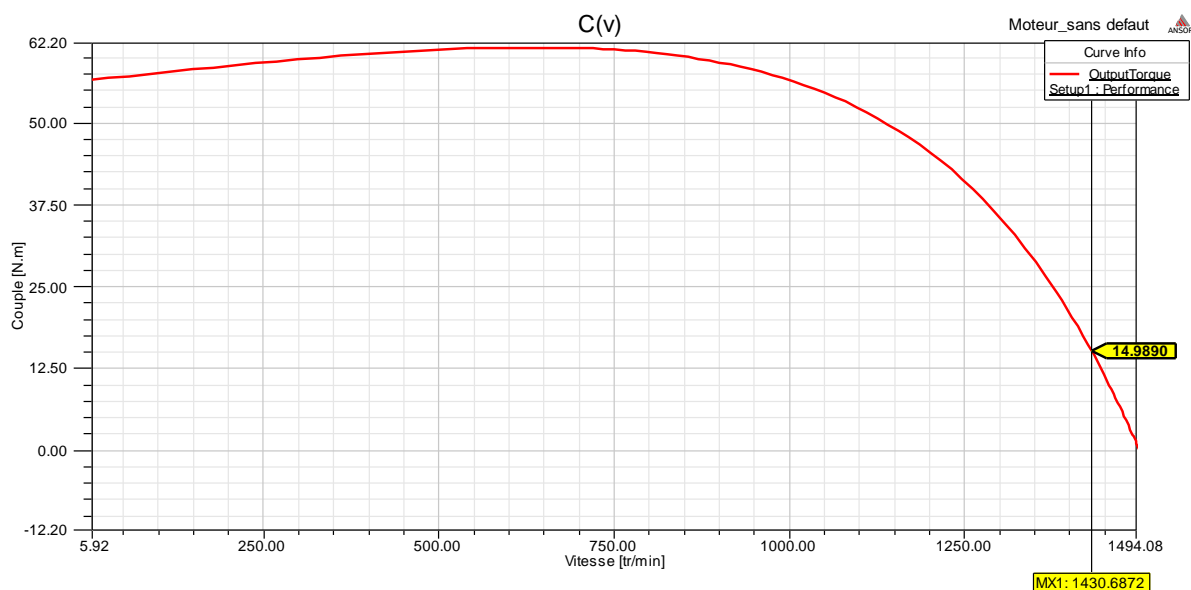
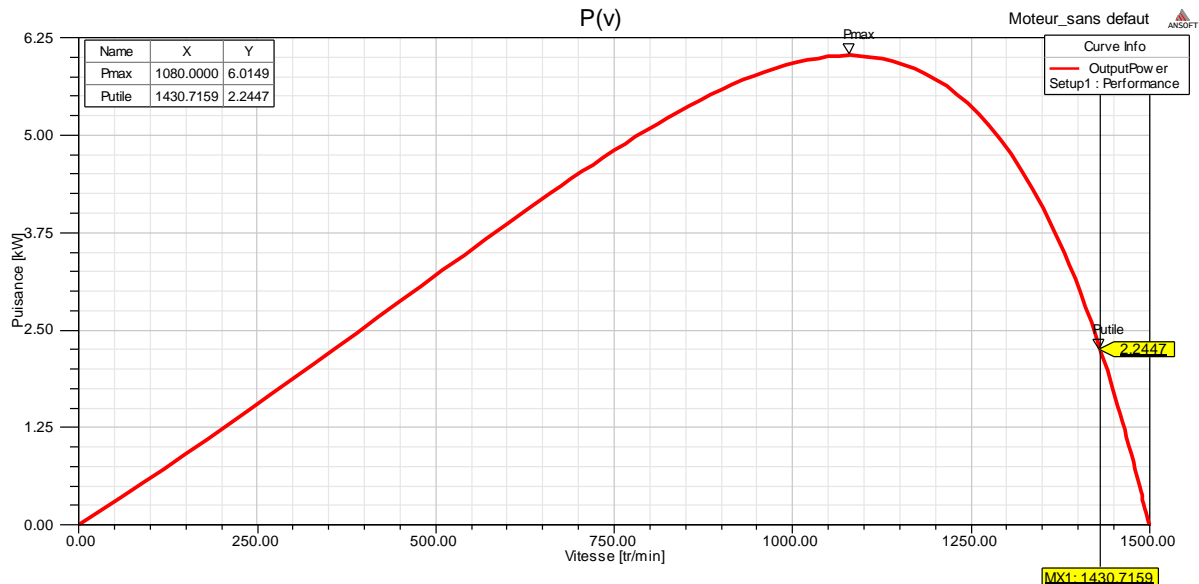


Figure II.9 : Allure du couple en fonction de la vitesse.

La figure II.9 nous montre l'évolution du couple vers le point de fonctionnement de la machine. Le couple admet une forte valeur du au fort appel de courant au démarrage, avec des oscillations puis il diminue pour se réablit à zéro, a la vitesse de synchronisme.

La courbe de la puissance en fonction de la vitesse :

**Figure II.10 :** Allure de la puissance en fonction de la vitesse.

Pour la puissance on remarque qu'elle prend la forme parabolique ou elle augmente jusqu'à sa valeur maximale du a l'appelle de courant, puis elle diminue on passant par le point qui présente la puissance utile autour de 22447 W, la même valeur calculé par RMXprt.

II.5 Etapes de conception et d'analyse du modèle 2D à partir du modèle RMXprt

Une fois nous avons eu notre modèle bien fini à laide de RMXprt, ce dernier permettra de crée un modèle 2D on suivant les étapes ci-dessous. Pour pouvoir étudier les performances de la machine en utilisant la méthode des éléments finis, ou Le circuit magnétique de la machine est découpé en plusieurs éléments de dimension faible pour permettre de considérer le matériau magnétique linéaire sur les surfaces correspondantes.



Les conditions aux limites sont appliquée automatiquement sur le modèle par le logiciel utilisé, la création de modèle 2D à partir de RMXprt ce fait comme suit :

1-On clique sur « Setup » avec le bouton droit —> sélectionnez « Create Maxwell Design » une fenêtre s'affiche —> On sélectionne « Maxwell2D ».

2-le modèle Maxwell2D est créé, on clique sur ce dernier avec le bouton droit, sélectionnez « Solution type » —> définit le type de la solution (pour nous c'est magnétique transitoire « Magnetic transient »).

3-On choisit le temps de simulation et le pas avec une clique sur « Analysis » —> « Add Solution setup ».

4- pour l'excitation : Faites un clique sur excitation —> sélectionnez la phase avec un double clique —> faire entrer les paramètres des trois phases (A.B.C).

5-Une fois terminé on valide notre modèle avec, un clique sur « Validate » () puis on lance l'analyse avec « Analyze all » (), On aura la géométrie d'un quart de modèle en 2D :

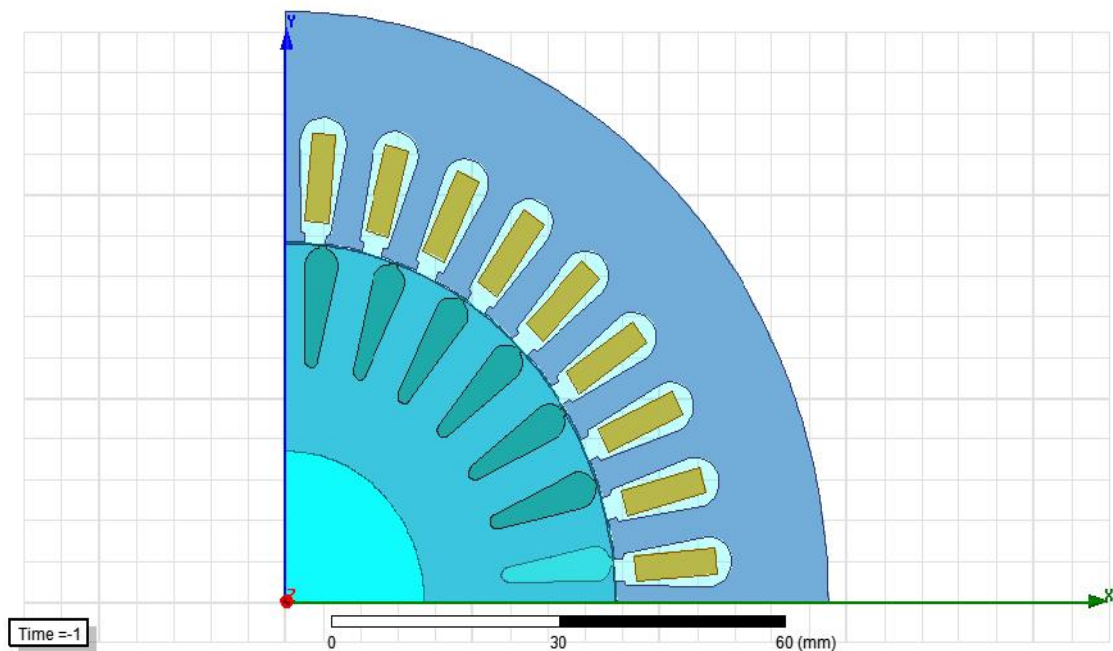


Figure II.11 : La géométrie d'un quart de la machine asynchrone a cage en 2D.

NB : Le logiciel prend automatiquement en considération la symétrie de la machine.

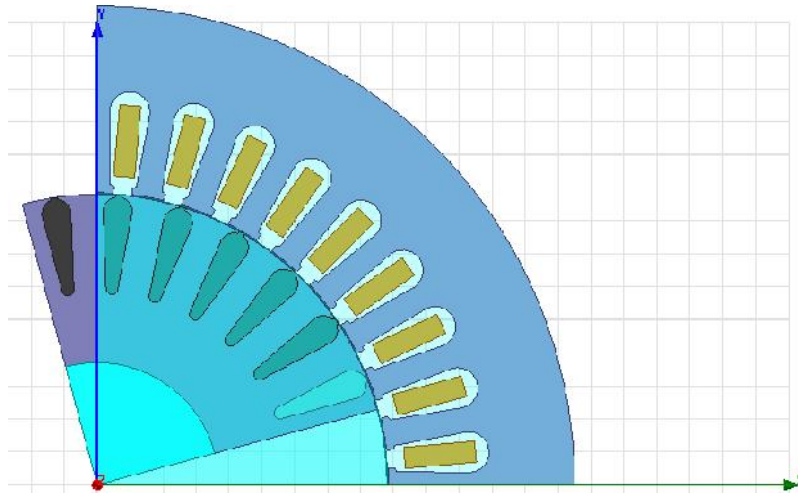


Figure II.12 : La géométrie d'un quart de la MAS a cage en 2D avec rotation de 10° .

II.5.1 fonctionnement à vide

Dans cette étape nous allons effectuer notre étude avec un essai à vide. La machine démarre sous la tension nominale pour une alimentation sinusoïdale équilibrée à 50Hz, sous les Paramètres ci-dessous :

Tableau II.8 : Paramètre de moteur à vide

Nom	Valeur	Unité
Vitesse initiale	0	Tr/min
Moment d'inertie	0.0050	Kg m ²
Couple utile	0	N.m

II.5.2 Résultats d'analyse et de simulation du modèle 2D à vide

Une fois terminée l'analyse, la simulation du modèle nous a permis d'obtenir les résultats illustrés par les figures ci-dessous, qu'on peut visualiser en cliquant avec le bouton droit sur « Results » → sélectionnez « Solution Datta ».

La courbe de couple en fonction de temps :

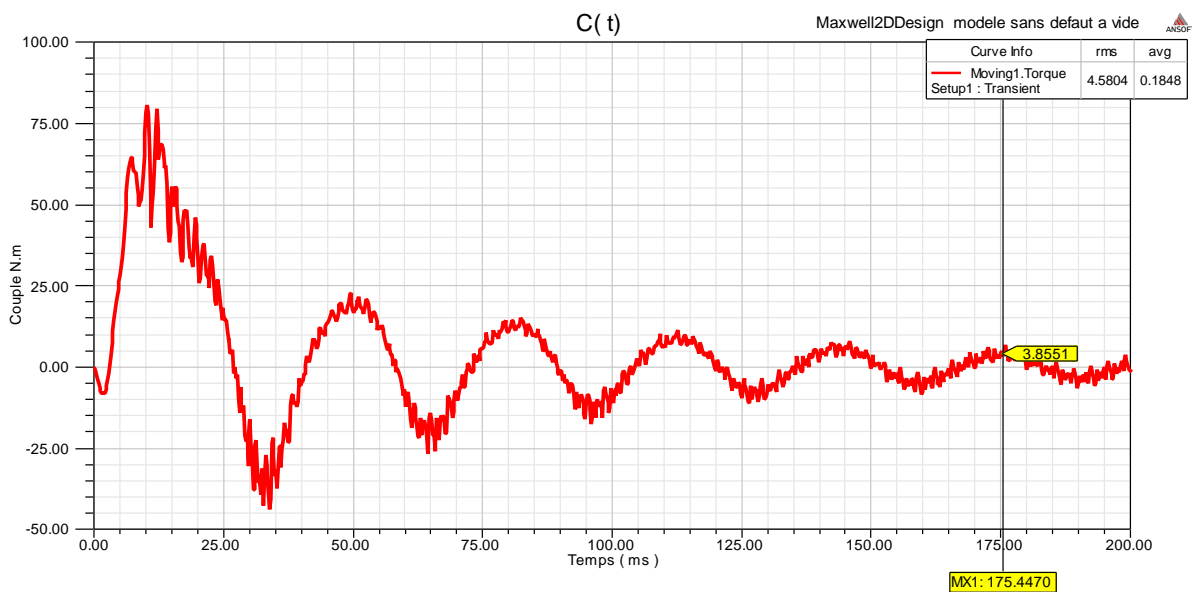


Figure II.13 : Allure de couple en fonction de temps à vide.

L'oscillation du couple est l'élément marquant dans cette courbe, puisque le couple monte jusqu'à 75N.m. La courbe $C=f(t)$ présente aux premiers instants de démarrage des battements importants et qui correspond au couple de démarrage au régime transitoire. Après disparition de ce dernier, et dès que la vitesse s'établit, au régime permanent le couple tend vers le couple de charge à vide (à 0, frein-rotor), à cette instant le glissement est très faible (Voisinage de 0).

La courbe de courant en fonction de temps dans les 3 phases (A.B.C)

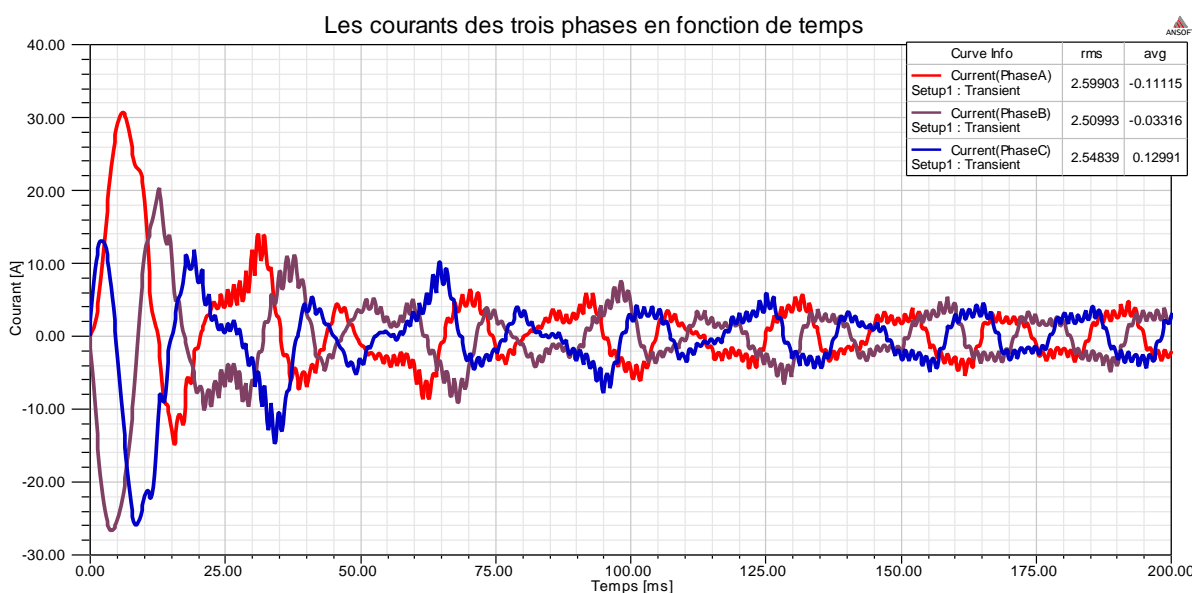


Figure II.14: Allure de courant en fonction de temps à vide.

La figure montre les résultats du modèle éléments finis pour la machine saine, en remarque au démarrage les courants statorique sont très élevé (pic de courant) au régime transitoire, avant la convergence vers une faible valeur due à l'effet réactif de la MAS et l'appel de puissance et de couple résistant pour pouvoir démarrer la machine. Les trois courants sont alternatifs mais non sinusoïdaux, a cause de non linéarité et la présence des harmoniques. Les pulsations disparaissent au bout de quelques alternances après la fin de régime transitoire (d'environ 16ms durant lequel la machine se magnétise. Donc nous retrouvons bien le comportement normale de la machine en fonctionnement à vide.

La courbe des pertes fer en fonction de temps :

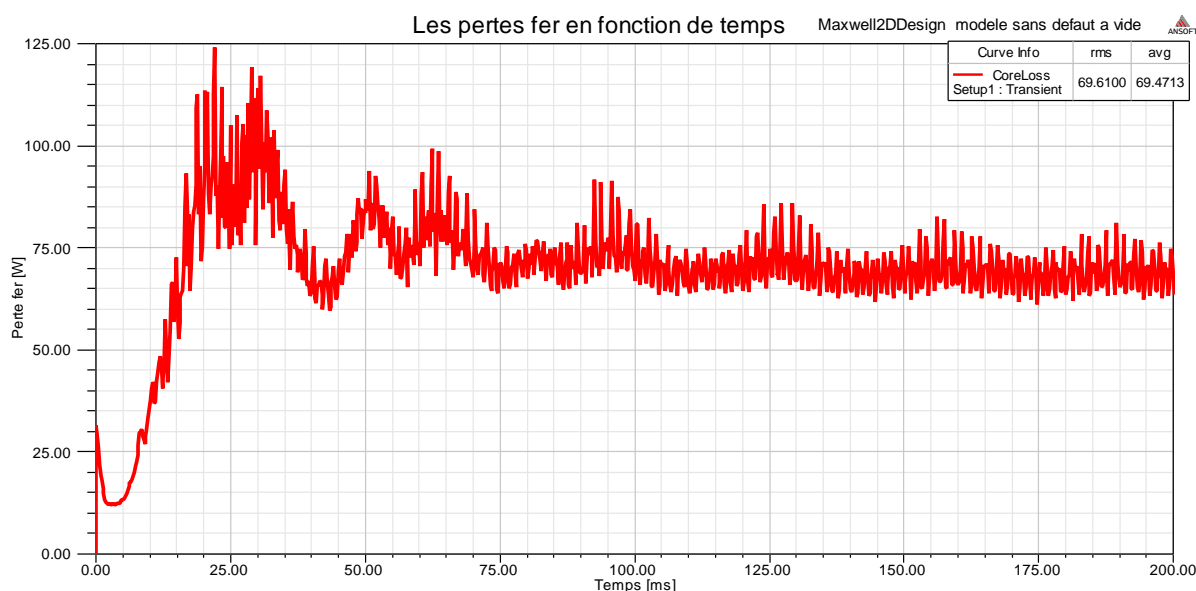


Figure II.15 : Allure des pertes fer en fonction de temps à vide.

On remarque que les pertes passe par le régime transitoire ou il atteint sa valeur maximale d'environ 124W à cause de l'appelle de couple, le courant et la puissance au démarrage (échauffements de la machine), puis diminue pour se stabiliser au tour 69W au régime permanent.

La courbe de la vitesse en fonction du temps :

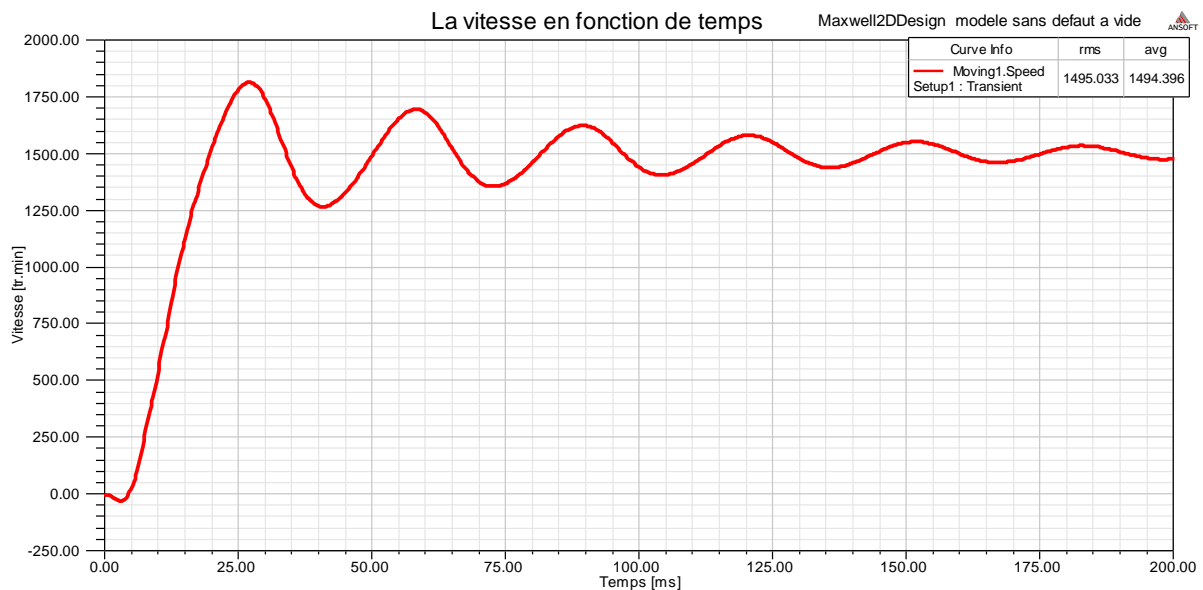


Figure II.16 : Allure de la vitesse en fonction de temps à vide.

Les oscillations de couple se font évidemment ressentir sur l'évolution de la vitesse on remarque ça sur l'allure dans l'apparition des ondulations de vitesse au cours de démarrage et qui présente aussi des oscillations dans les premiers instants de démarrage, avec un accroissement presque linéaire. Une fois elle atteint le régime permanent au bout de (100ms) elle se stabilise autour de 1495 tr/min puisque le moteur possède 4 pôles, à vide donc le moteur tourne presque à la vitesse de synchronisme, tout en conservant un glissement faible. La durée de mise en vitesse est déterminée par l'inertie totale autour de l'arbre de rotation. Le logiciel développé est spécialement conçu pour permettre de comparer aisément l'influence des contraintes sur les performances globales des différents types de machines.

Tableau II.9 : Comparaison des résultats de simulation à vide est celle calculé par RMXprt

Nom	Résultats de simulation	Résultats du RMXprt	Paramètres nominaux de la machine
Le couple	0	0	0
La vitesse	1495	1498	1486
Le courant	2.59	3.15	3.08
Les pertes fer	69.61	/	120

On remarque que les résultats obtenus après simulation sont bien proches des calculs faits par RMXprt (calculs des performances de schéma équivalent) ainsi des paramètres nominaux de la machine, juste ce qui concerne les pertes fer il y a une différence entre celle obtenue (simulation et calcul de RMXprt) et la valeur nominale due au démarrage sans amortissement et à la valeur élevée des pertes mécaniques.

Figure présente le maillage d'un quart de la machine asynchrone à vide :

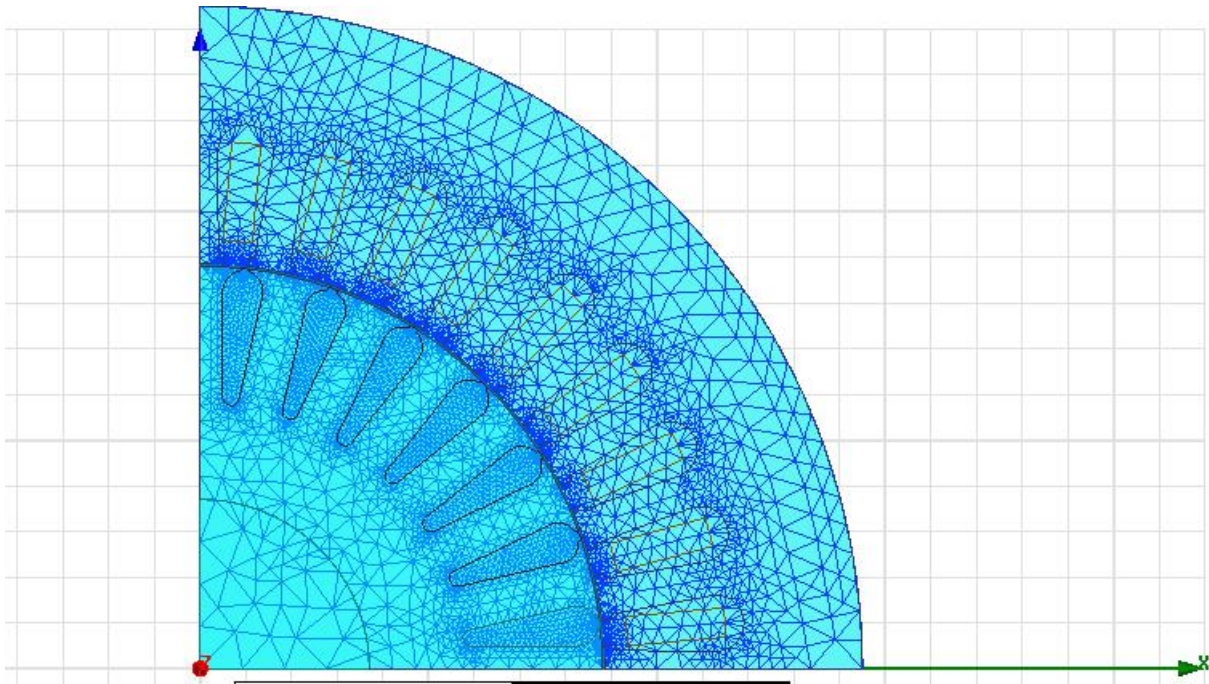


Figure II.17 : Maillage à vide.

Figure présente l'induction magnétique dans un quart de la machine asynchrone à vide :

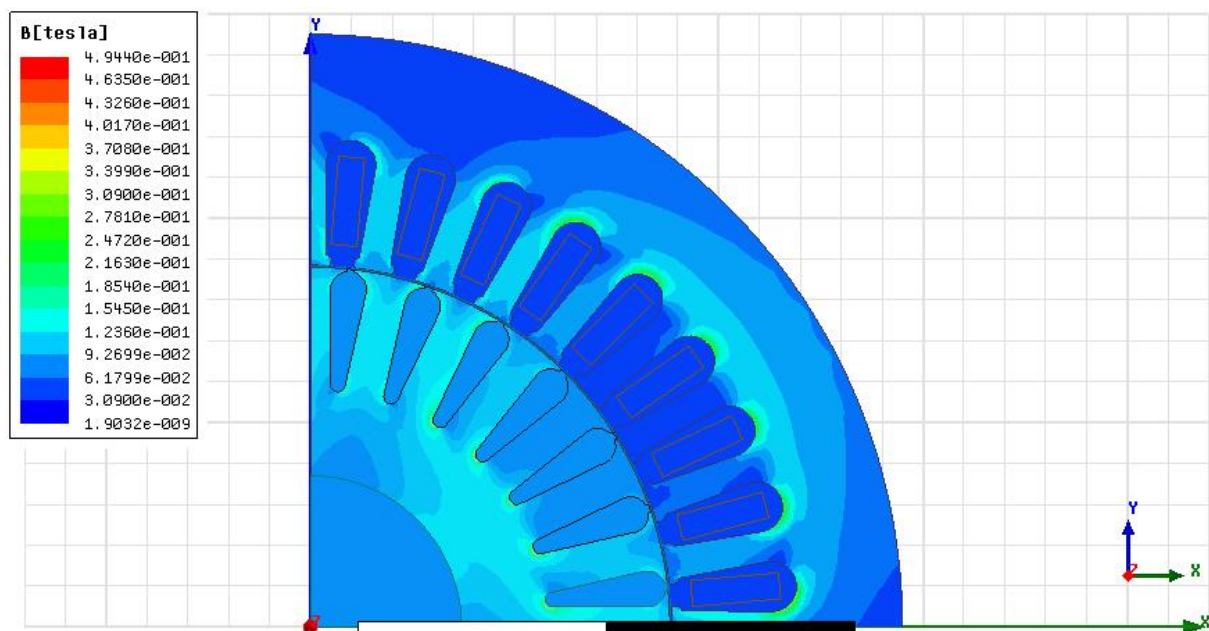


Figure II.18 : Répartition de l'induction magnétique à vide.

L'induction B est plus concentrée au niveau des milieux magnétiques comme les dents et la culasse, sachons que l'induction suit toujours la perméabilité dont elle est plus grande dans ces régions, que dans les autres régions (les barres rotorique, les encoches statorique).

Figure présente la répartition des lignes de flux dans un quart de la machine asynchrone à vide :

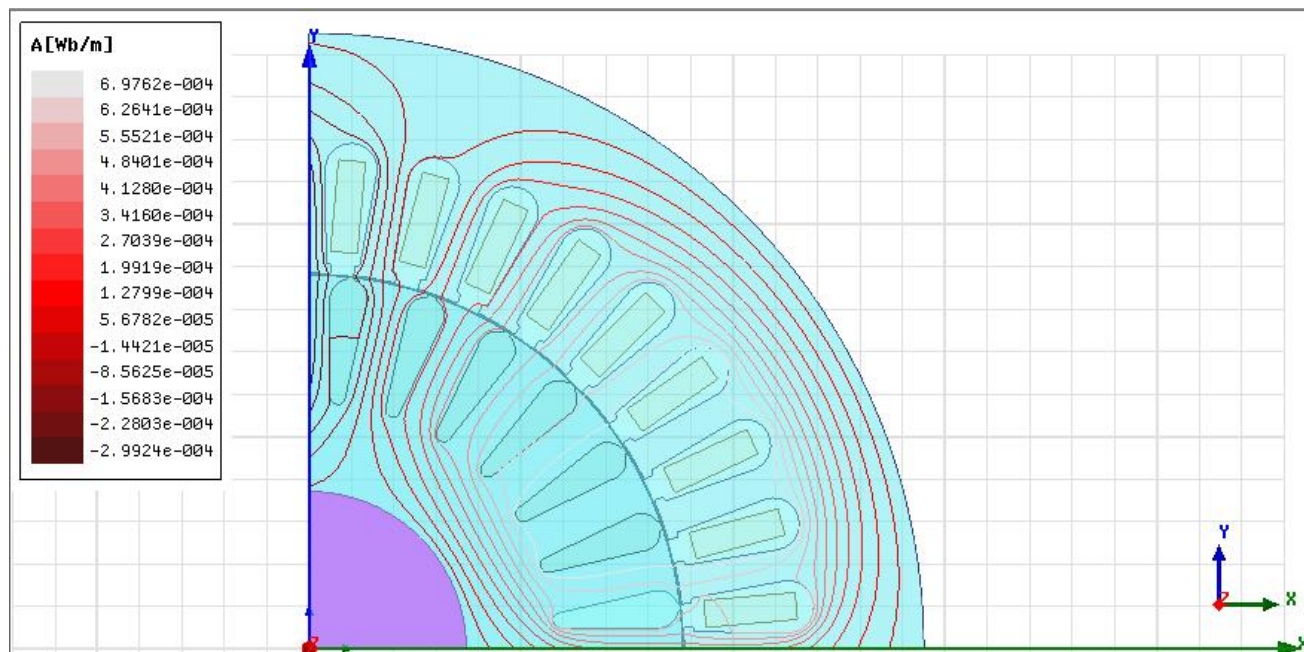


Figure II.19 : Répartition des lignes de flux à vide.

La figure II.19 présente la répartition des lignes de flux dans le circuit magnétique. La distribution des lignes est quasi symétrique par rapport aux axes des pôles. Les lignes de flux entre le stator et le rotor sont légèrement déviées dans le sens de rotation du rotor. Pour un moteur sain, les courants dans les barres entraînent une répartition symétrique des lignes de flux autour de chaque pôle.

II.5.3 Fonctionnement en charge

Les paramètres de fonctionnement en charge sont cités dans le tableau II.9 :

Tableau II.10 : Paramètre de moteur en charge

Nom	Valeur	Unité
Vitesse initiale	0	Tr/min
Moment d'inertie	0.0050	Kg m ²
Couple utile	14.90	N.m

II.6 Résultats d'analyse et de simulation de modèle 2D en charge

La courbe de couple en fonction de temps :

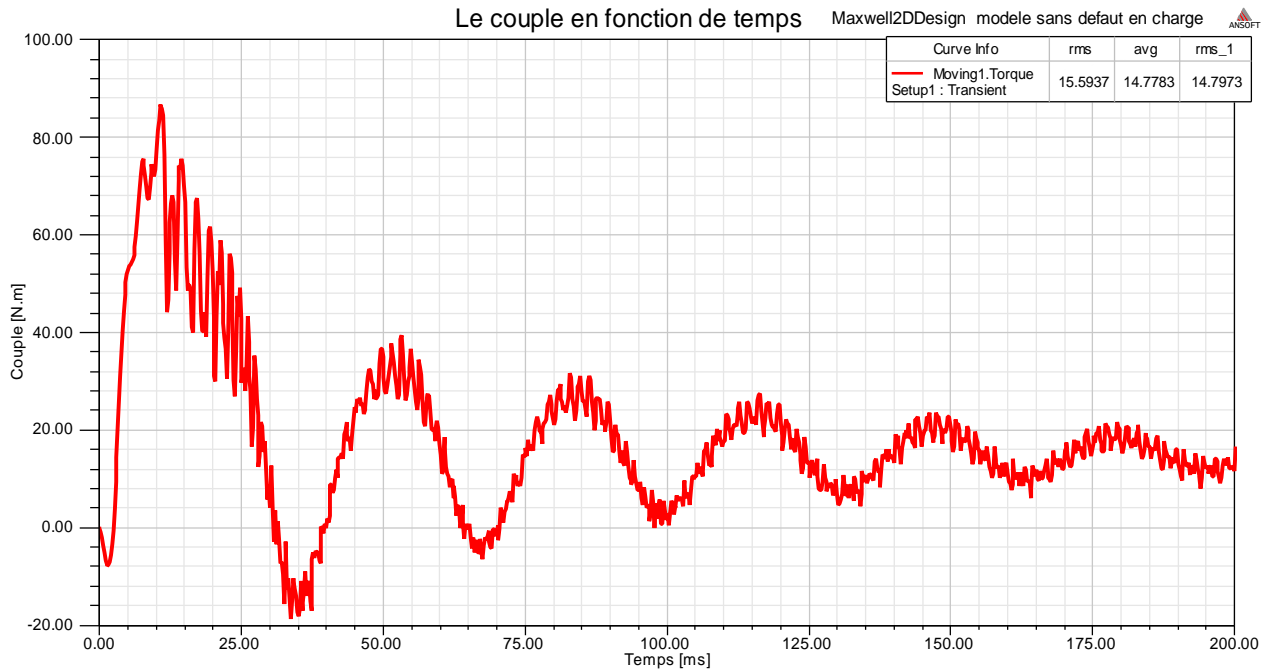


Figure II.20 : Allure de couple en fonction de temps en charge.

La courbe de couple en fonction de temps :

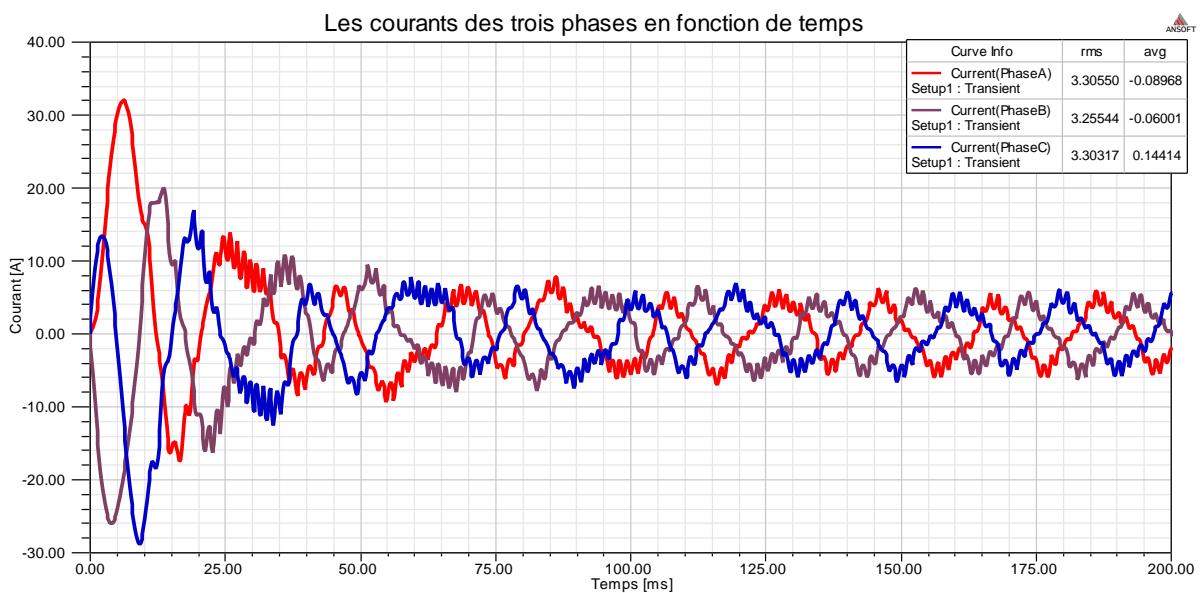


Figure II.21 : Allure de courant de la phase en fonction de temps en charge.

La courbe des pertes fer en fonction de temps :

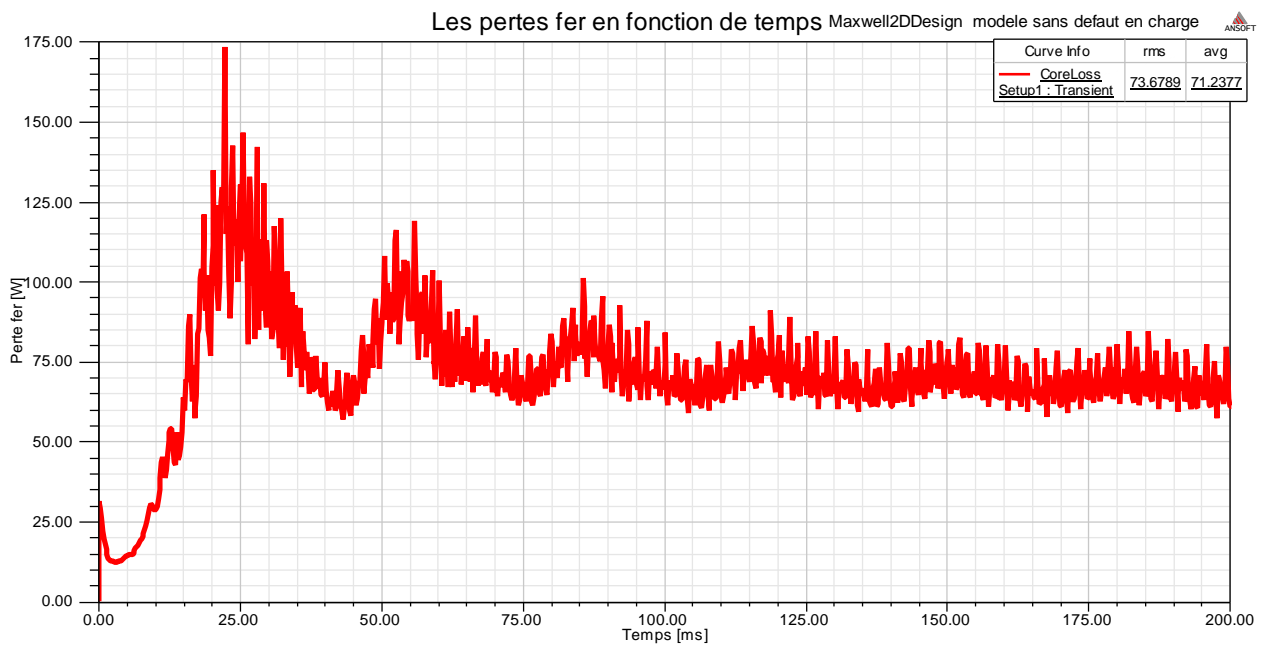


Figure II.22 : Allure des pertes en fonction de temps en charge.

La courbe de la vitesse en fonction de temps :

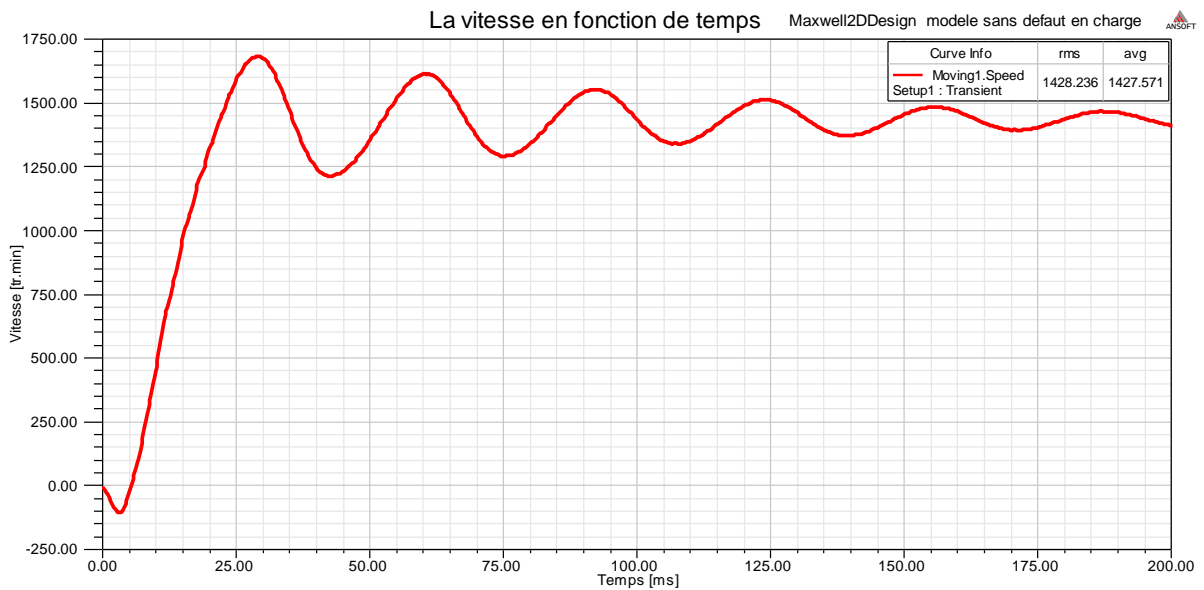


Figure II.23 : Allure de la vitesse en fonction de temps en charge.

II.7 Interprétation des résultats

Pendant le régime transitoire Le couple électromagnétique augmente jusqu'à sa valeur maximale au démarrage (80N.m) après il arrive à se stabiliser Durant le régime permanent

autour de la valeur nominale (la valeur du couple résistant) qui est la même valeur calculé déjà en virant (14.79N.m), avec une réponse quasiment instantanée et des harmoniques de faibles amplitudes. Ainsi La vitesse de rotation augment au début de régime transitoire puis se stabilise au tour de 1428tr.m, on note également que les courants statoriques ne sont plus équilibrés mais ils augmentent afin d'atteindre le nouveau courant permanent, leur évoluent selon la charge appliquée à l'arbre de la machine.

Aussi on remarque l'augmentation des pertes fer lors de l'application de la charge à cause de couple résistant et les échauffements de la machine.

Ces relevés correspondent au fonctionnement normal d'une machine à induction en charge.

Tableau II.11 : Comparaison des résultats de simulation en charge est ceux calculé par RMXprt

Nom	Résultats de simulation	Résultats du RMXprt
Le couple	15.59	14.90
La vitesse	1428	1498
Le courant	3.25	3.15
Les pertes	69.28	/

On remarque que les résultats obtenue après simulation sont bien proche des calculs faite par RMXprt (calculs des performances de schéma équivalent).

Conclusion :

Dans ce chapitre on a cité les méthode utilisé pour étudier le fonctionnement de la machines sans défauts en se basant sur la simulation par élément finis qu' on a utilisé, pour cela nous avons crée notre modèle à l'aide de logiciel Maxwell14.0(2D), puis on a effectué une simulation pour pouvoir étudier certaines performances de la machine asynchrone à cage , avec deux essaie à vide et en charge, ensuite nous avons interprété les résultats obtenus par simulation qui nous montrent bien la validité de cette méthode .

Chapitre III :
Simulation de la machine asynchrone
Avec défaut

III-1 Introduction

L'objectif de ce chapitre est consacré à l'étude du comportement électromagnétique d'une machine asynchrone à cage en présence d'un défaut qui est la rupture d'une phase d'alimentation. L'étude sera effectuée à travers plusieurs étapes et concernera l'étude du défaut de rupture d'une phase d'alimentation avec le logiciel maxwell 14.0 et une étude pratique dans le laboratoire et cela pour deux cas de fonctionnement : à vide et en charge où on analysera les performances du moteur en régime permanent.

III-2 paramètres des phases d'alimentation sous défaut

Avant de commencer la simulation on a apporté des changements sur les paramètres pour simuler une rupture de phase d'alimentation.

Le tableau III-1 représente les valeurs des tensions d'alimentation des trois phases avec une rupture de la phase B respectivement.

Tableau III-1 : Paramètres d'excitation des phases

Phase	Tension de phase du réseau	Tension de phase du moteur	Unité
Phase A	380	360	V
Phase B	0	310	V
Phase C	380	336	V

III-3 Résultats de simulation du modèle 2D sous défaut

III-3-1 Résultats de simulation à vide avec une rupture de phase B

Lorsqu'on a fini d'introduire les valeurs des tensions d'alimentation pour les trois phases avec une rupture de la phase B et simulation du modèle 2D .Nous avons obtenu les résultats suivants :

La figure II.1 montre le maillage à vide avec une rupture de la phase B

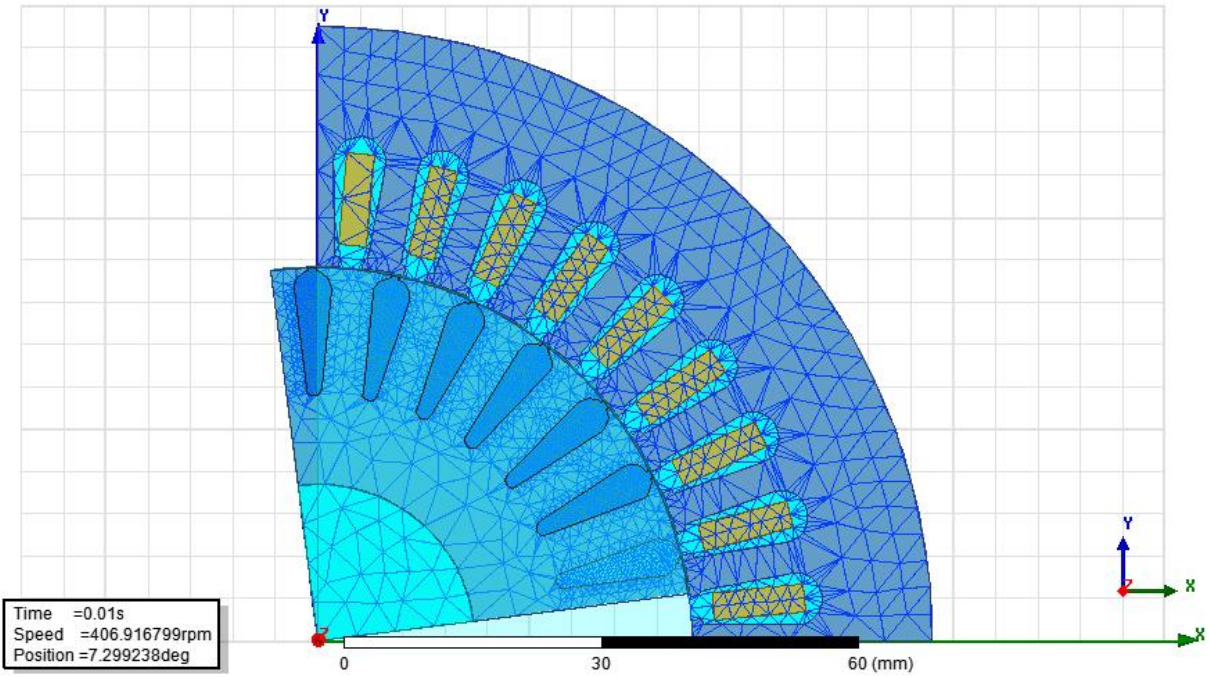


Figure III-1 : maillage à vide avec une rupture d'une phase

La figure III.2 montre l'induction magnétique à vide avec une rupture de la phase B.

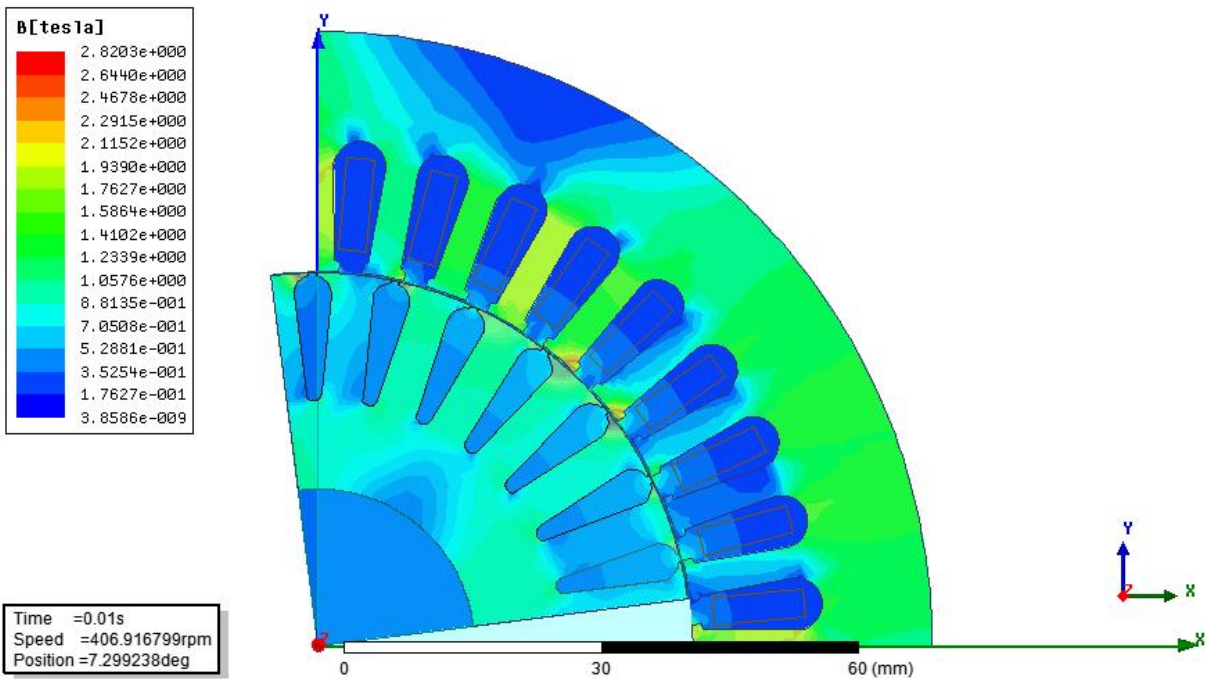


Figure III-2: Induction magnétique à vide avec une rupture de phase.

La figure III.3 montre les lignes de flux à vide avec une rupture de la phase B

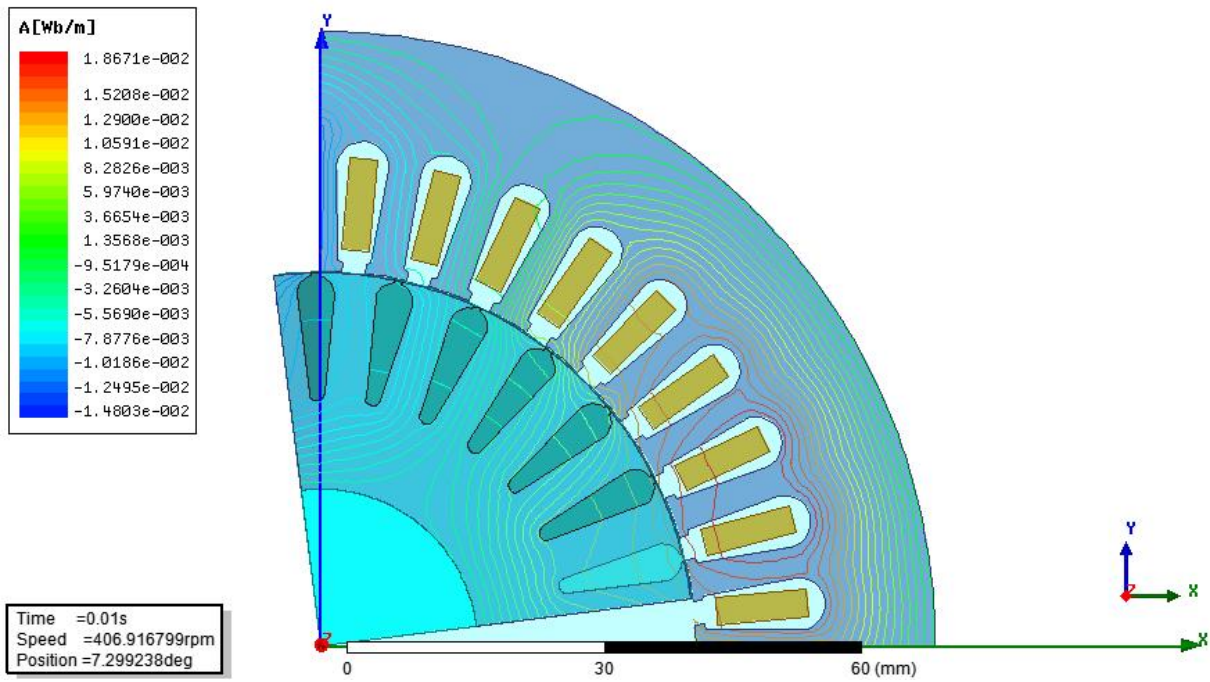


Figure III-3: lignes de flux à vide avec une rupture de la phase B

La figure III.4 montre le couple en fonction du temps à vide avec une rupture de la phase B

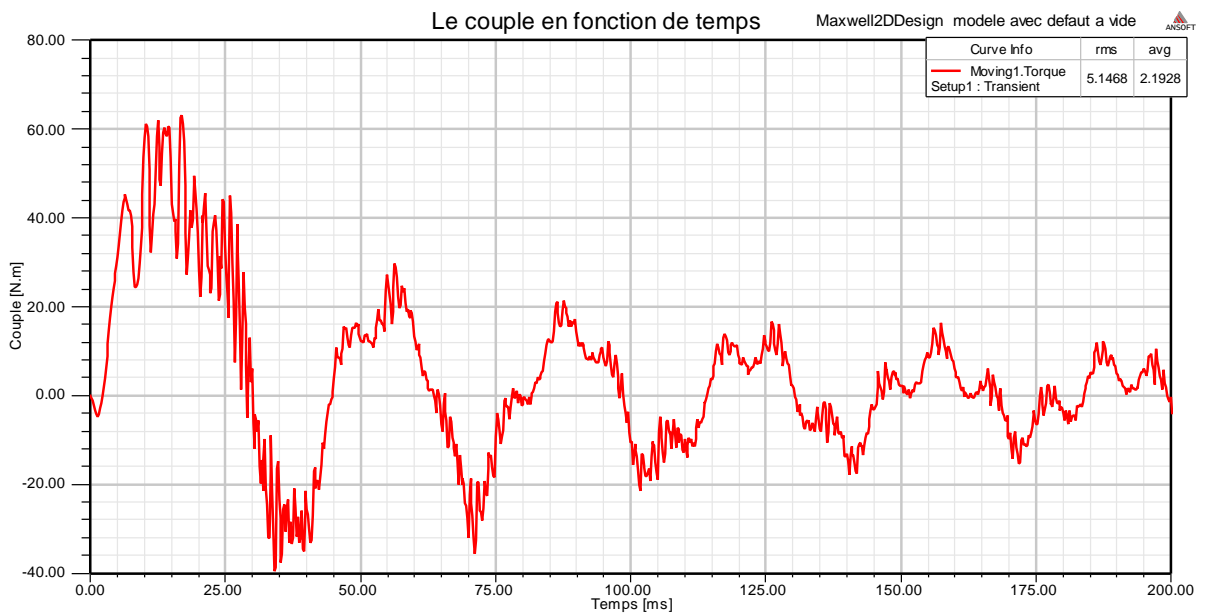


Figure III-4: Allure du couple en fonction du temps à vide

La figure III.5 montre les courants en fonction du temps à vide avec une rupture de la phase B .

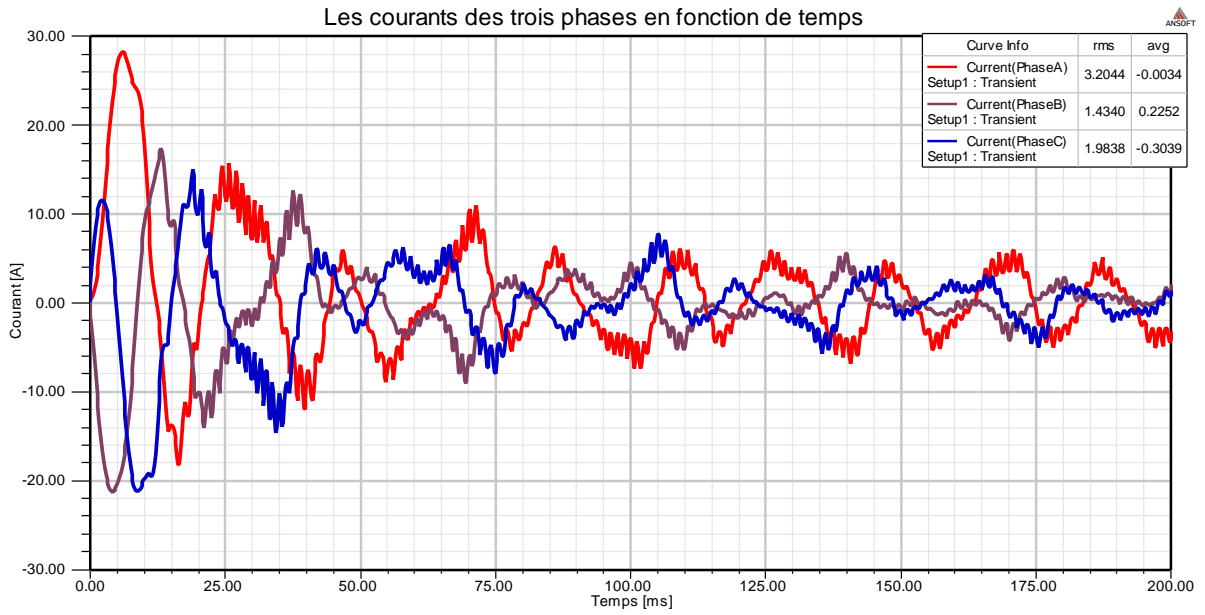


Figure III-5: Allure des courants en fonction du temps à vide

La figure III.6 montre les pertes fer en fonction du temps à vide avec une rupture de la phase B

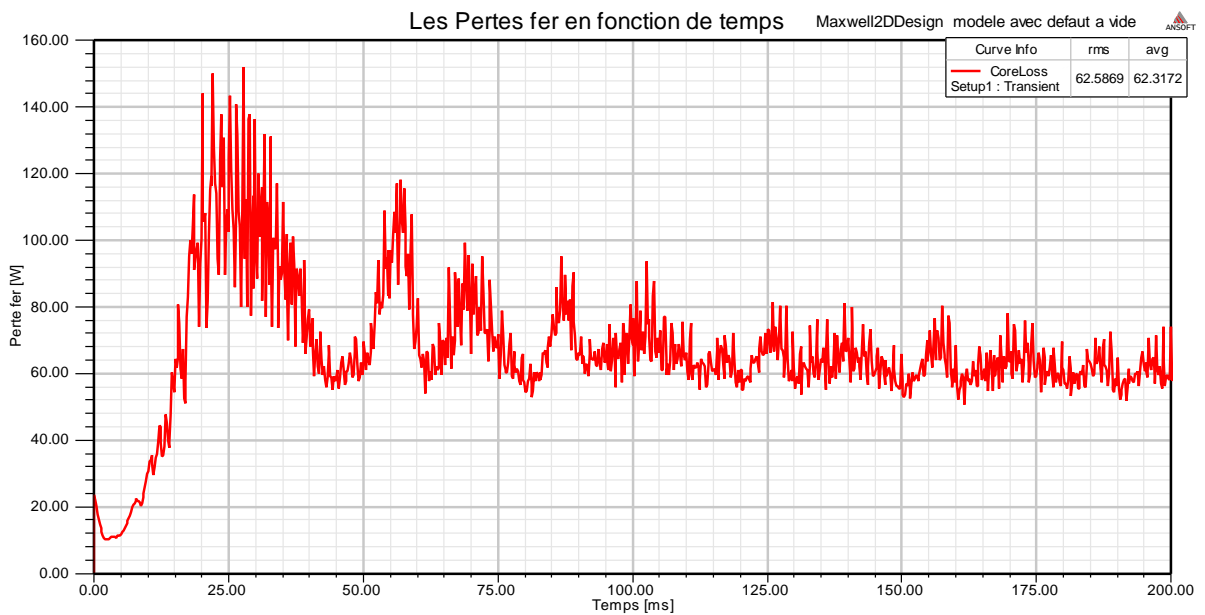


Figure III-6 : Allure des pertes fer en fonction de temps à vide

La figure III.7 montre la vitesse en fonction du temps à vide avec une rupture de la phase B

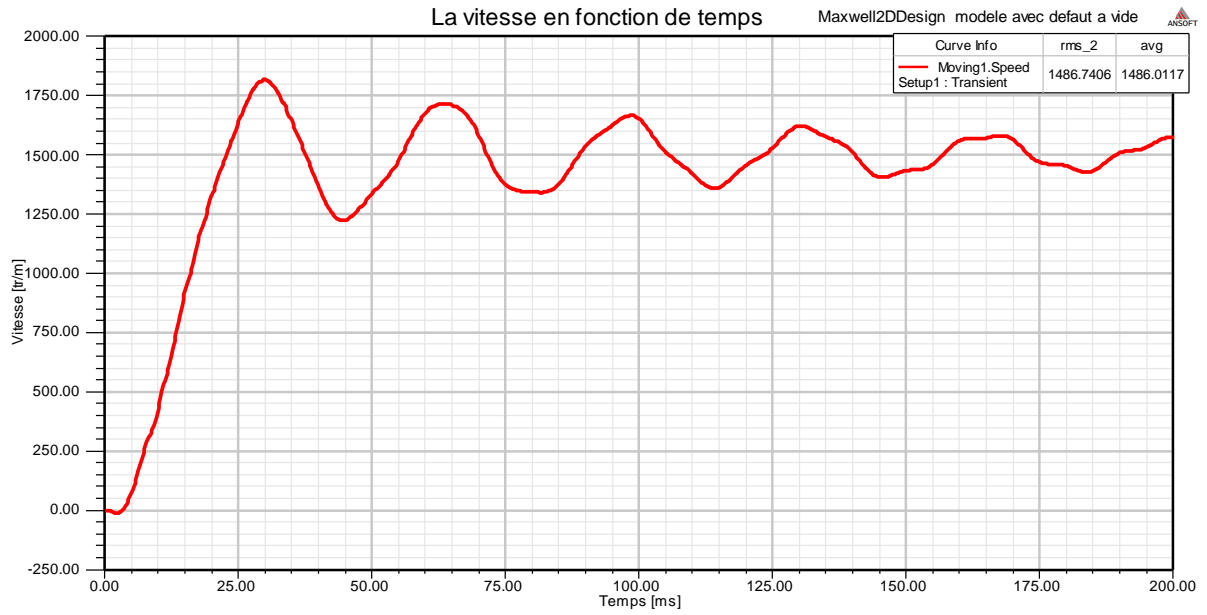


Figure III-7: Allure de la vitesse en fonction de temps à vide.

III-3-2 Résultats de simulation en charge avec une rupture de phase

La figure III.8 montre le maillage en charge avec une rupture de la phase B

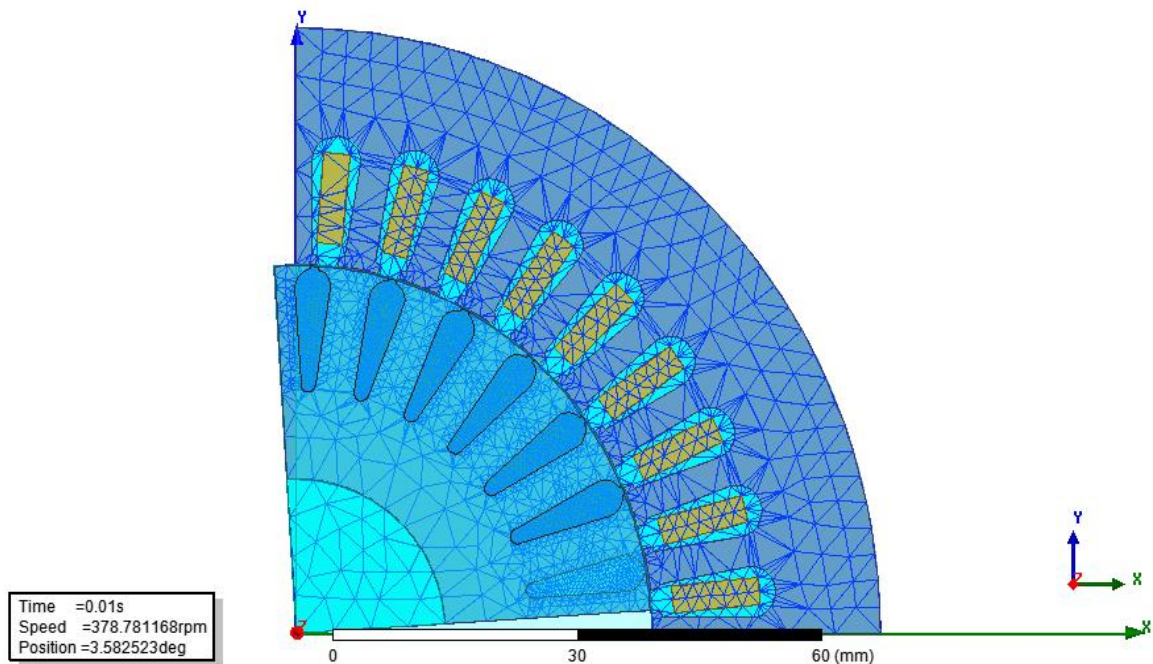


Figure III-8 : maillage à vide avec une rupture d'une phase

La figure III.9 montre l'induction magnétique en charge avec une rupture de la phase B

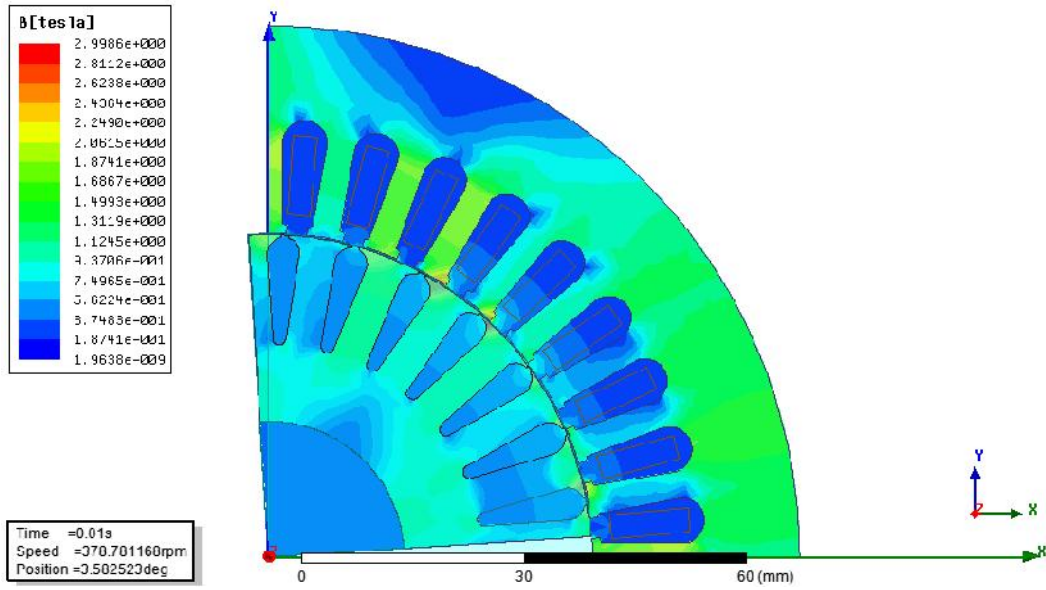


Figure III-9: Induction magnétique en charge avec une rupture de phase

La figure III.10 montre les lignes de flux en charge avec une rupture de la phase B

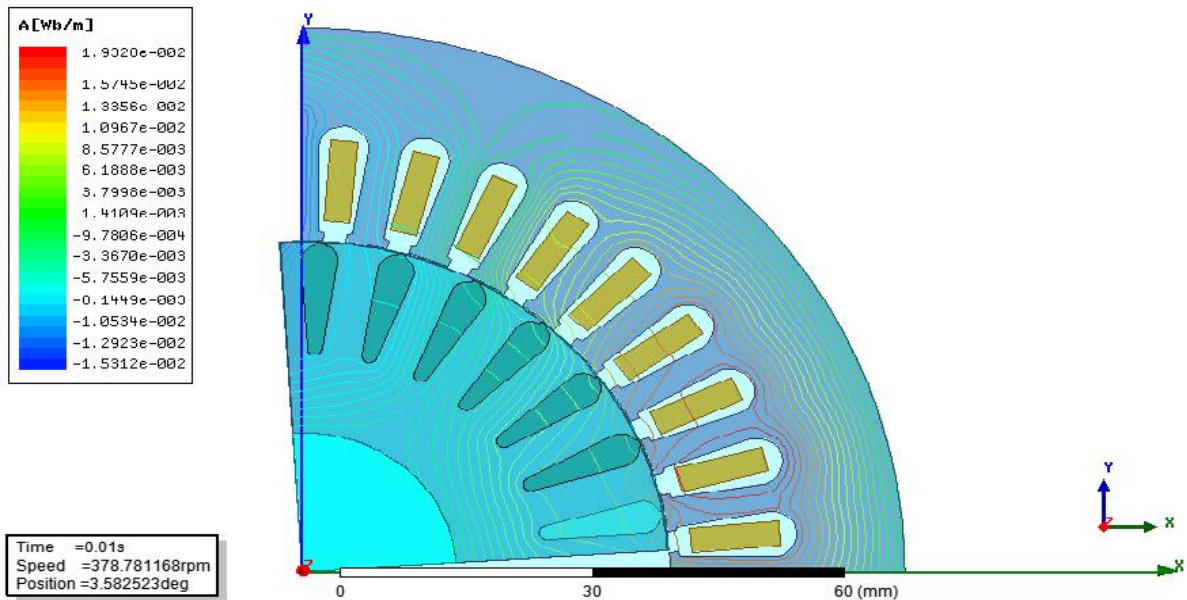


Figure III-10: Lignes de flux en charge avec une rupture de la phase

La figure III.11 montre le couple en fonction du temps en charge avec une rupture de la phase B

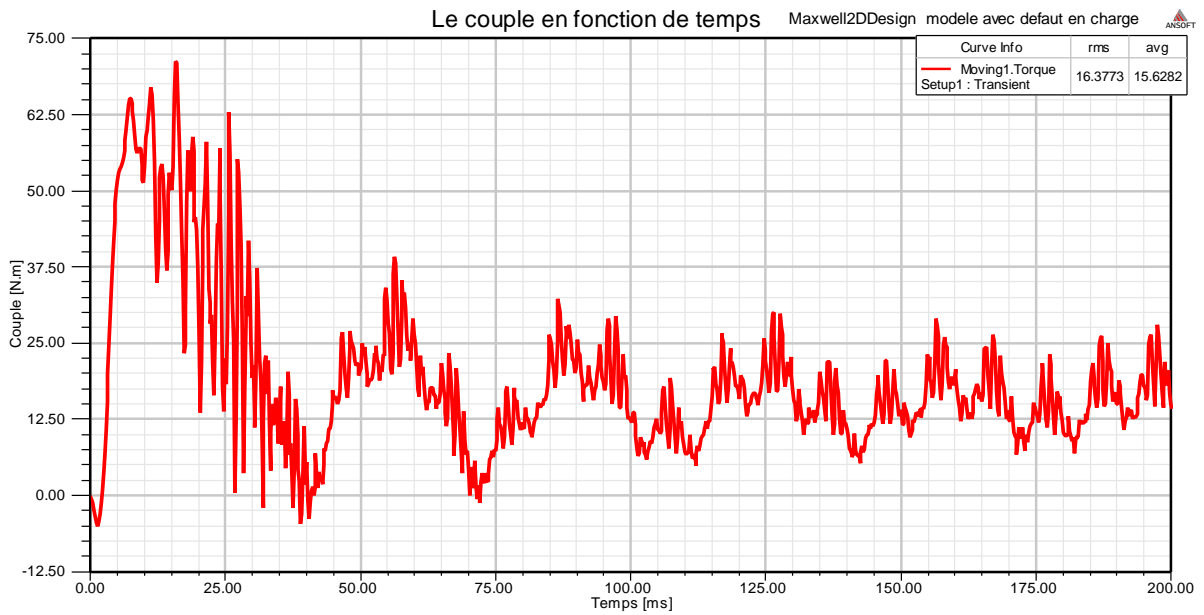


Figure III-11: Allure du couple en fonction du temps en charge

La figure III.12 montre les courants en fonction du temps en charge avec une rupture de la phase B

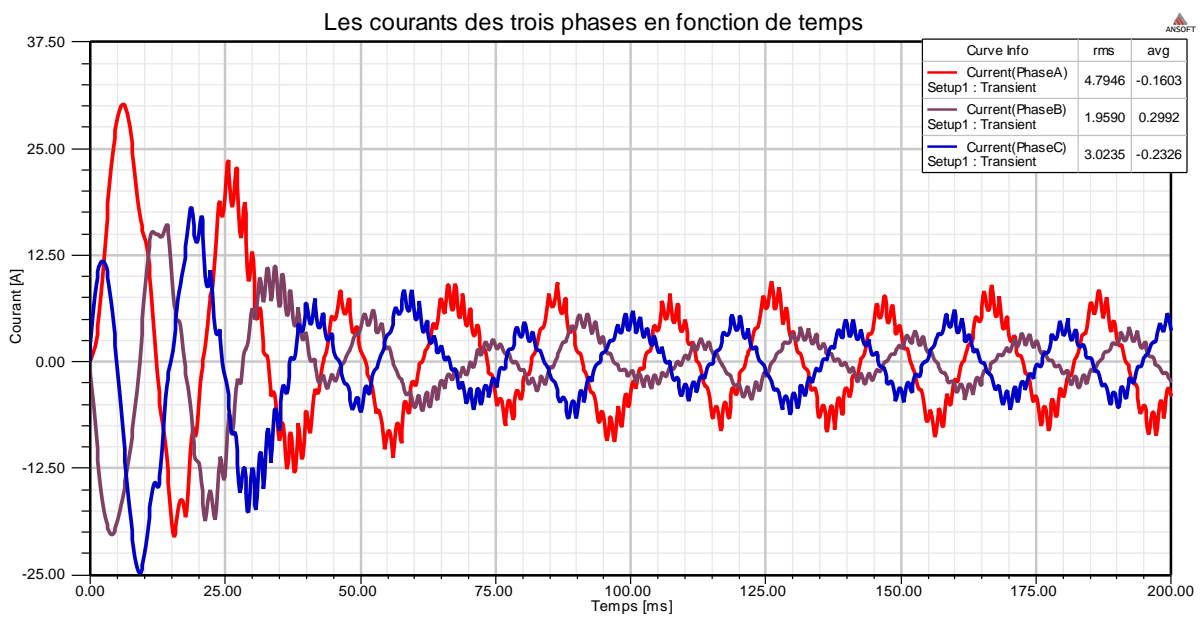


Figure III-12: Allure des courants en fonction du temps en charge

La figure III.13 montre les pertes fer en fonction du temps en charge avec une rupture de la phase B

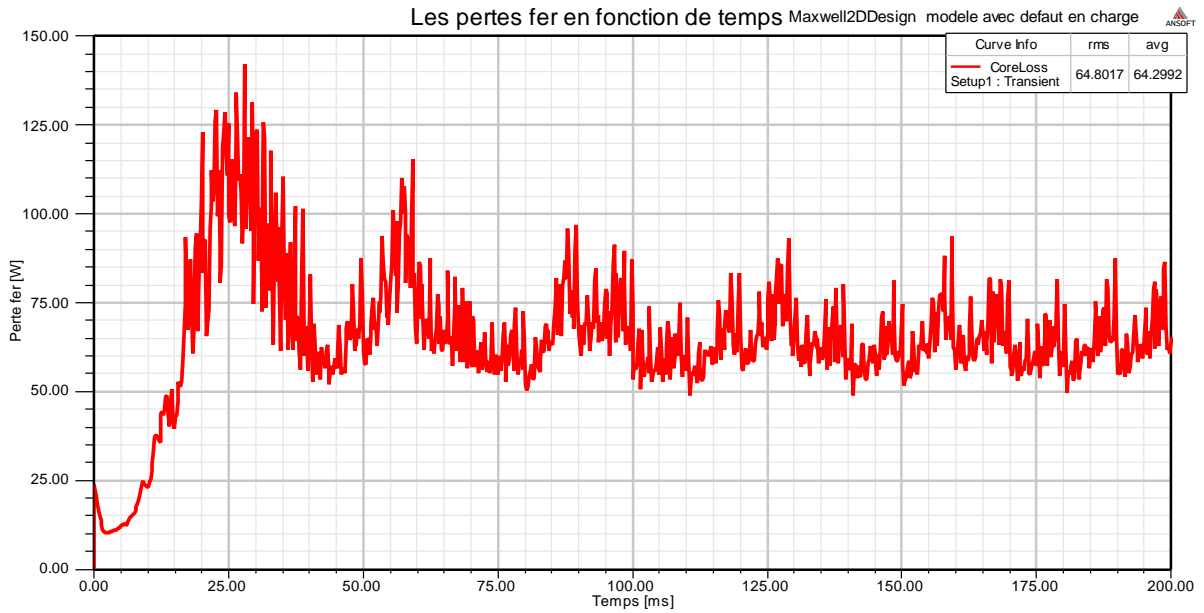


Figure III-13 : Allure des pertes fer en fonction de temps en charge

La figure III.14 montre la vitesse en fonction du temps en charge avec une rupture de la phase B

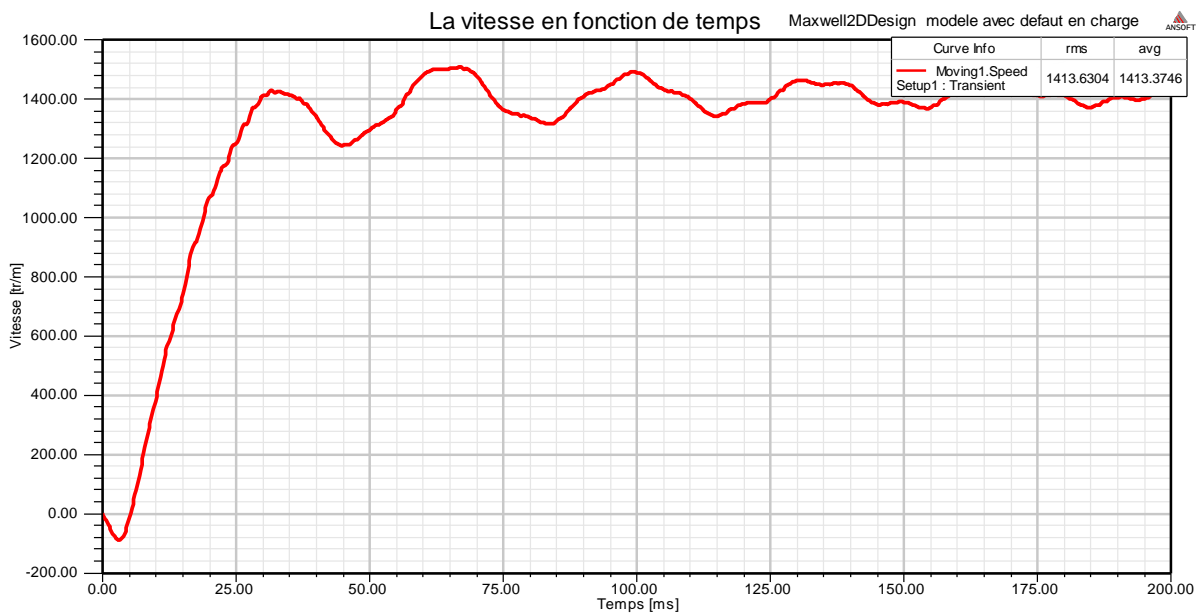


Figure III-14: Allure de la vitesse en fonction de temps en charge

III-4 Interprétation et comparaison des résultats de simulation du modèle 2D avec défaut

➤ Induction magnétique B

Les figures (III-2) et (III-9) présentent respectivement l'induction magnétique pour les deux fonctionnements à vide et en charge avec défaut de rupture d'une phase on constate que l'induction est concentrée au niveau de la culasse et des dents avec des valeurs réduites par rapport au cas sans défaut. Le tableau III.2 illustre les valeurs des inductions.

Tableau III-2 : comparaison des valeurs des inductions magnétiques

Fonctionnements	Sans défaut	avec défaut
Induction magnétique B [T]	2.5231	2.2915

➤ Lignes de flux

Les figures (III-3) et (III-10) présentent respectivement les lignes de flux dans le circuit magnétique pour les deux fonctionnements à vide et en charge avec défaut de rupture d'une phase on constate que la distribution et la densité des lignes de flux n'est pas la même que le cas sans défaut. Le tableau III.3 illustre les valeurs de flux.

Tableau III-3 : comparaison des valeurs de flux

Fonctionnements	Sans défaut	avec défaut
Potentiel magnétique A [Wb/m]	$6.9762 e^{-4}$	$1.8671 e^{-2}$

➤ **Couple utile en fonction du temps**

Les figures (III-4) et (III-11) montrent respectivement le comportement du couple pour les deux cas de fonctionnements à vide et en charge avec défaut de rupture d'une phase. On constate que les amplitudes des fluctuations du couple présentent une augmentation par rapport à celles observées en absence du défaut. Ses résultats indiquent qu'il y a une augmentation de la valeur du couple.

Le tableau III.4 illustre les valeurs du couple pour les différents régimes de fonctionnement.

Tableau III-4 : Comparaison des valeurs du couple

Fonctionnements	Sans défaut		avec défaut	
	A vide	en charge	A vide	en charge
Couple utile [N.m]	4.58	14.59	5.1468	16.3773

➤ **Courant en fonction du temps**

Les figures (III-5) et (III-12) montrent l'évolution des courants statoriques pour les deux cas de fonctionnements à vide et en charge avec défaut de rupture d'une phase. Nous constatons qu'au démarrage on enregistre de forts courants pour les trois phases et ça est dû au couple de démarrage de la machine avec une augmentation remarquable pour la phase A qui essaye de maintenir l'équilibre des courants des phases. Ces résultats nous indiquent que les valeurs efficaces du courant augmentent par rapport à celles observées dans le cas sans défaut. Le tableau III.5 illustre les résultats.

Tableau III-5 : comparaison des valeurs du courant

Fonctionnements	Sans défaut		avec défaut	
	A vide	en charge	A vide	en charge
Courant de la phase A [A]	2.59	3.30	3.20	4.79
Courant de la phase B [A]	2.50	3.25	1.43	1.95
Courant de la phase C [A]	2.54	3.30	1.98	3.02

➤ **Pertes fer en fonction du temps**

Les figures (III-6) et (III-13) présentent respectivement les pertes fer pour les deux cas de fonctionnements à vide et en charge avec défaut de rupture d'une phase. Nous constatons une augmentation remarquable des pertes fer par rapport à celle observée dans le cas d'un fonctionnement sans défaut le tableau III.6 illustre les résultats.

Tableau III-6 : comparaison des valeurs des pertes fer

Fonctionnements	Sans défaut	Avec défaut à vide	Avec défaut en charge
Pertes fer [W]	69.61	62.59	64.80

➤ **Vitesse en fonction du temps**

Les figures (III-7) et (III-14) montrent l'évolution de la vitesse pour les deux cas de fonctionnement à vide et en charge avec défaut de rupture d'une phase. Nous constatons que la vitesse de rotation présente des oscillations qui sont dues au couple oscillatoire de la

machine causé par le défaut , ces résultat nous indiquent qu'en plus les valeurs efficaces de la vitesse diminuent par rapport a celles observées dans le cas sans défaut. Le tableau III.7 illustre les résultats.

Tableau III-7 : comparaison des valeurs de la vitesse

Fonctionnements	Sans défaut		avec défaut	
	A vide	en charge	A vide	en charge
Vitesse [Tr/min]	1495.03	1428.23	1486.74	1413.63

III.5 Validation expérimentale

La validation des résultats de simulation a été faite par une essai expérimental dans le quel effectué un essai a vide présenté sans défaut et avec défaut .

III.5.1 Présentation du banc d'essai

La figure II.15 présente le banc d'essai expérimental réalisé.

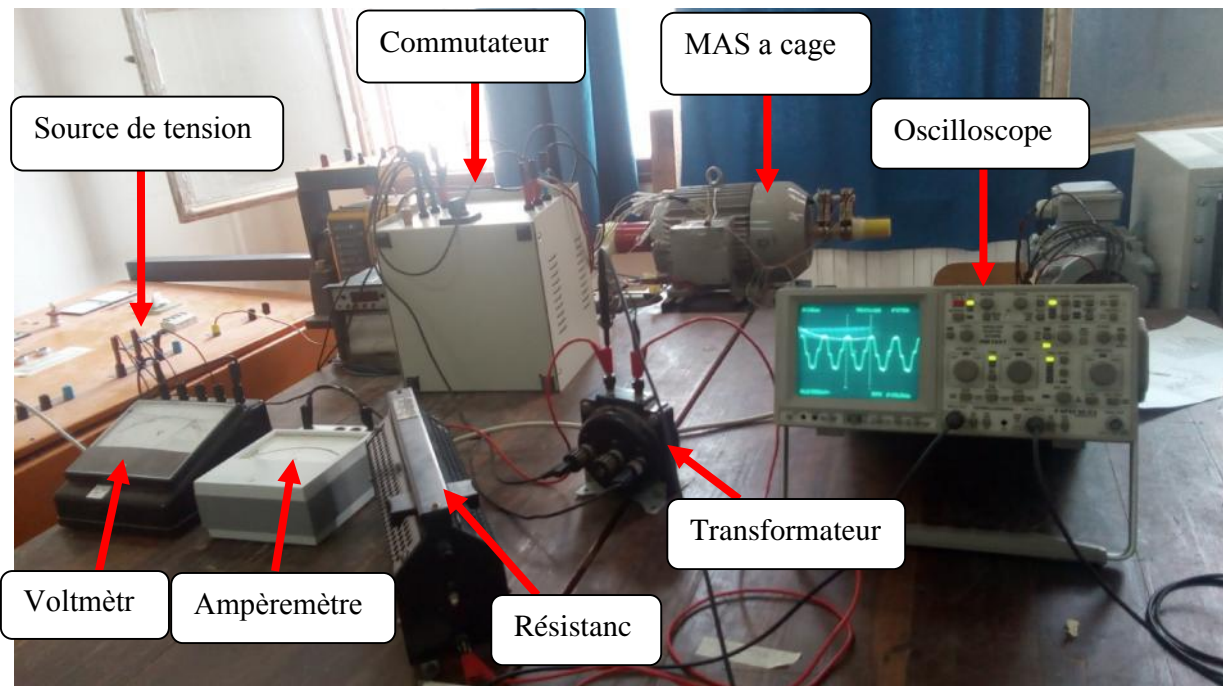


Figure III-15: Le banc d'essais comprenant le moteur, ainsi que les organes de mesure et d'acquisition.

Le banc d'essai dispose d'un moteur asynchrone à cage alimenté par une source de tension, Ampèremètre qui nous permet de mesurer le courant, un voltmètre pour mesurer les tensions entre les phases, un Oscilloscope numérique offrant la possibilité de visualiser l'allure du courant, un transformateur de courant qui nous permet de capté l'image de courant, une résistance shunt (10Ω) pour capter le signal du courant sur le l'oscilloscope, un commutateur pour réaliser le branchement du moteur en triangle .

Ce montage permet d'étudier la machine saine ou en présence de défaut rupture d'une phase en régime transitoire ou établi.

III.5.2 Fonctionnement à vide sans du défaut :

La figure III.16 présente le signal du courant de la phase A relevé sur l'oscilloscope.

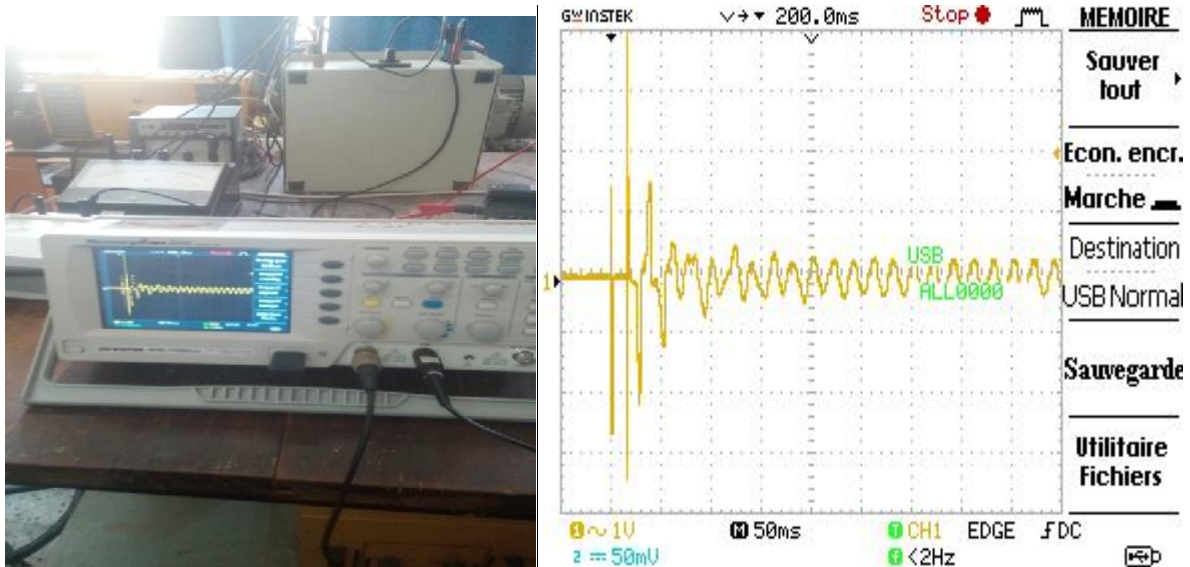


Figure III-16: Le courant statorique visualisé par l'oscilloscope numérique. Le courant relevé à été traité sous MATLAB , il est présenté sur la figure III.17 .

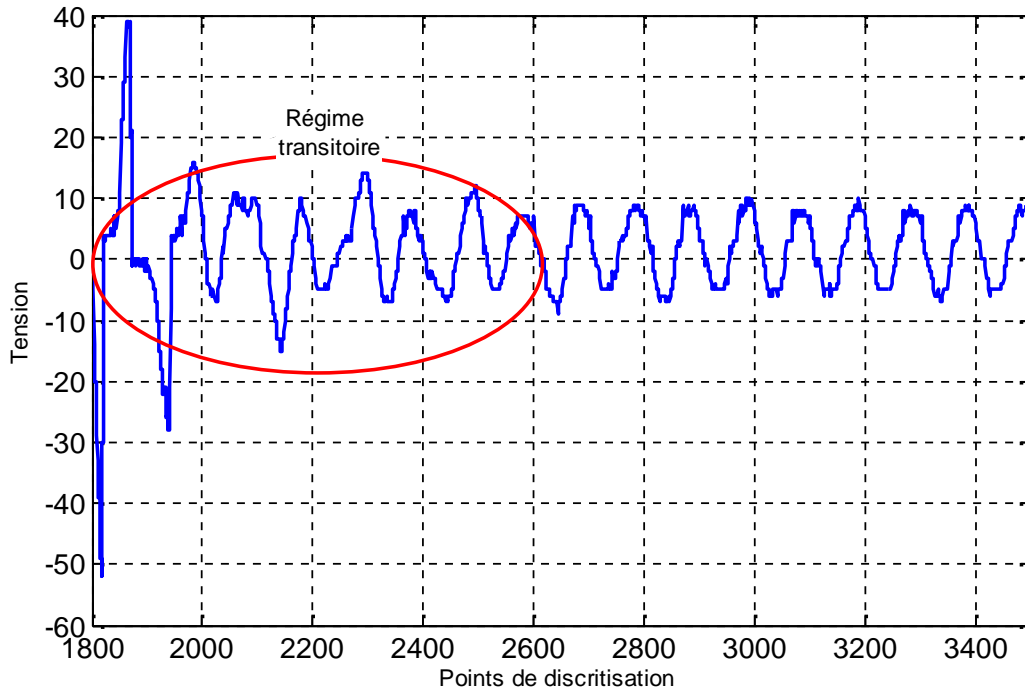


Figure III-17: Forme du courant visualisé précédemment sur l’oscilloscope traité par Matlab.

Les formes d’onde des figures représentent, respectivement, l’image de courant statorique du moteur asynchrone sans défaut dans la phase A.

III.5.3 Fonctionnement à vide avec défaut de rupture d’une phase (Phase B) :

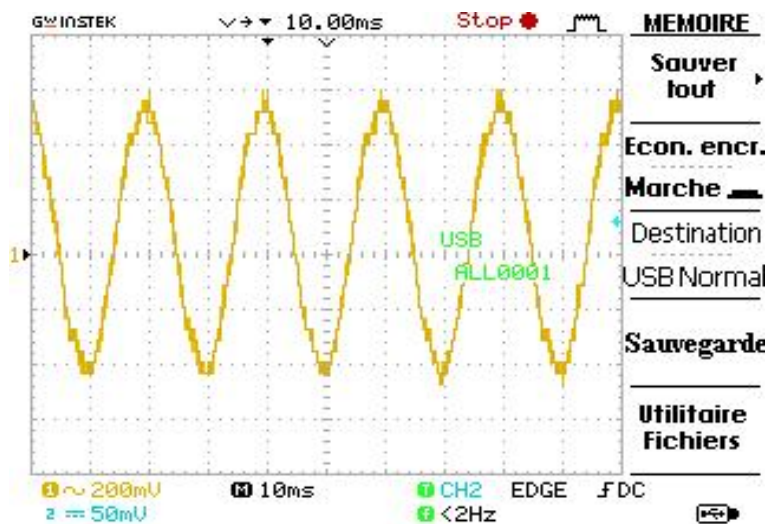


Figure III-18: Le courant statorique visualisé par l’oscilloscope numérique en régime permanent

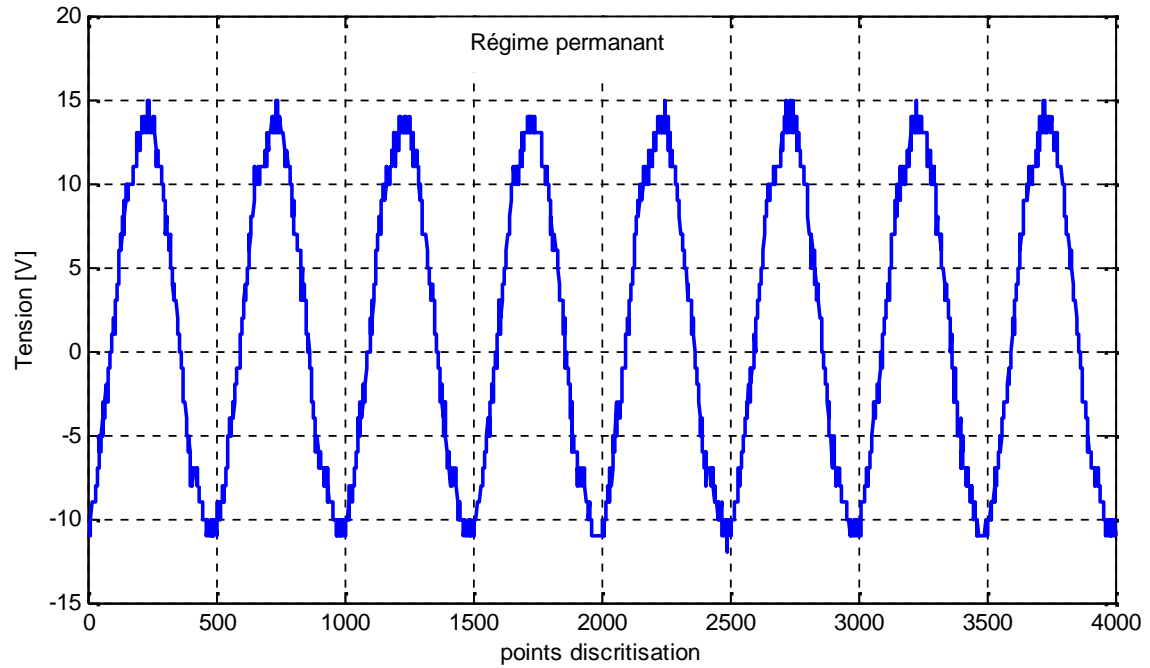


Figure III-19: Forme du courant visualisé en régime permanent traité par Matlab en présence de défaut de la phase.

Les formes d'onde des figures représentent, respectivement, l'image des courants statoriques du moteur asynchrone avec défaut de rupture d'une phase en régime permanent à une fréquence 50 [Hz].

Conclusion :

Dans ce chapitre nous avons étudié et analysé les performances du moteur asynchrone à cage d'écuriel triphasé en présence du défaut de rupture d'une phase (Phase B) avec le logiciel Maxwell 14.0. Nous avons effectué une simulation du modèle à vide est en charge, puis nous avons comparé les résultats obtenus pour voir le comportement de la machine, ainsi que les effets apportés sur ses paramètres. Une validation expérimentale des résultats obtenus a été faite par la réalisation d'un essai à vide sans et avec défaut.

Conclusion générale

Les travaux menés au cours de ce mémoire s'inscrivent dans le cadre de la contribution dans le domaine de la modélisation des machines électriques et la maîtrise du Logiciel Maxwell 2D basé sur la méthode des éléments finis. On a conçu, simulé et analysé les performances d'une machine asynchrone à cage d'écurieil 2.2 kw. La conception et l'analyse ont été effectuées en utilisant l'outil RMXprt et Maxwell 14.0

Le logiciel Maxwell nous a permis d'avoir la géométrie et les paramètres de notre machine grâce à l'application RMXprt de ce dernier les paramètres et les caractéristiques obtenus par RMXprt sont proches des valeurs de la plaque signalétique et les mesures expérimentales déjà effectuées sur la machine.

Les performances du moteur asynchrone triphasé sous défaut obtenus grâce au logiciel montrent qu'une rupture d'une phase affecte négativement ces derniers car les performances de la machine ont diminué ainsi que l'apparition d'un taux d'oscillations important au niveau du couple et de la vitesse.

Ces résultats ont été vérifiés expérimentalement à travers les signaux visualisés, les grandeurs mesurées et le bruit excessif remarqué dans le moteur.

Finalement ce travail effectué nous permet de vérifier l'efficacité du logiciel Maxwell 2D pour étudier le comportement et les performances de la machine

Pour la continuité de ce travail d'autres études peuvent être effectuées pour tester d'autres défauts de nature mécanique.

Annexe

Notice d'utilisation Maxwell14.0

Nous avons utilisé le logiciel Maxwell 14.0 pour étudier les performances de la machine asynchrone à cage, en suivant les étapes suivantes :

- 1- On clique sur l'icône Maxwell 14.0 suivante

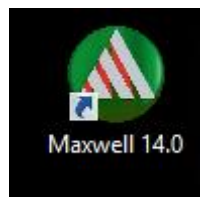


Figure .A.1 : Icône Maxwell 14.0.

La fenêtre ci-dessous s'affiche par défaut :

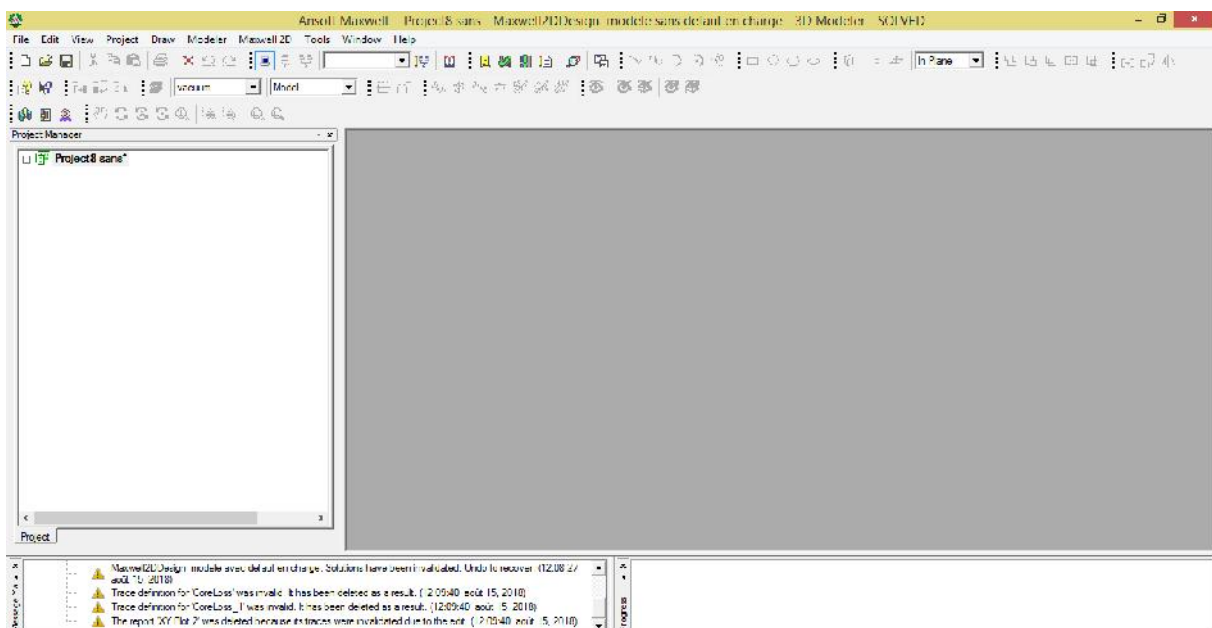


Figure .A.2 : Une fenêtre vide.

- 2- Une fois entré on clique sur Insert RMxp qui nous permettra de choisir le modèle dont on a besoin « Three phase Induction motor » renommé au choix.

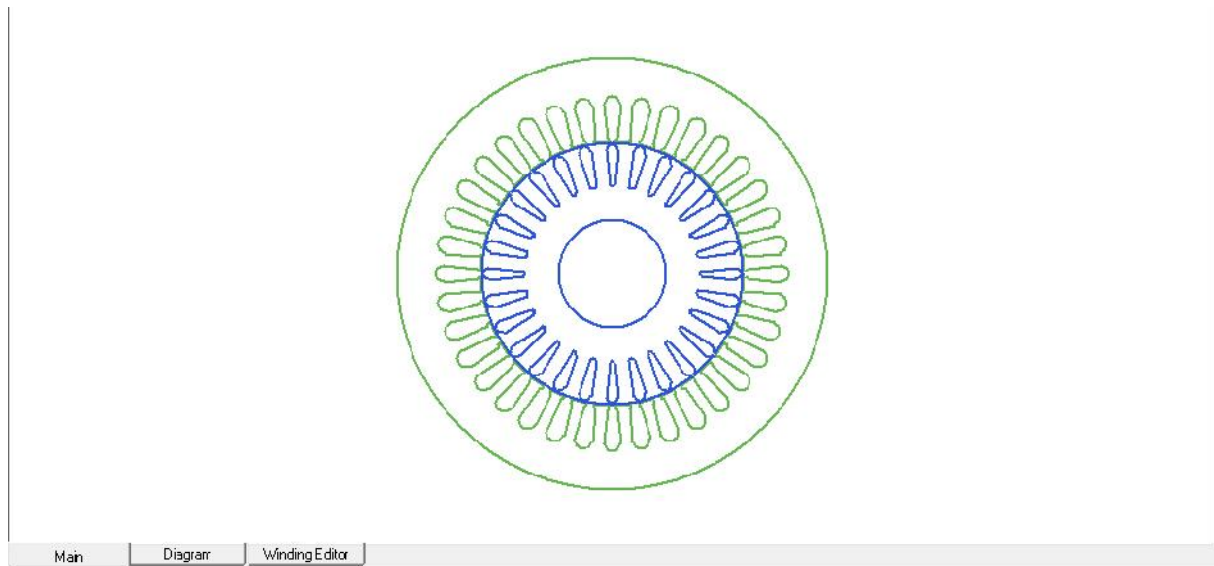


Figure .A.3 : Modèle de la machine selon RMXprt.

3- Faire entrées le paramètre de notre machine réelle pour les différentes parties (stator, rotor, arbre), avec un double clique sur :

-La machine : un tableau s'affiche on entre les paramètres de notre machine.

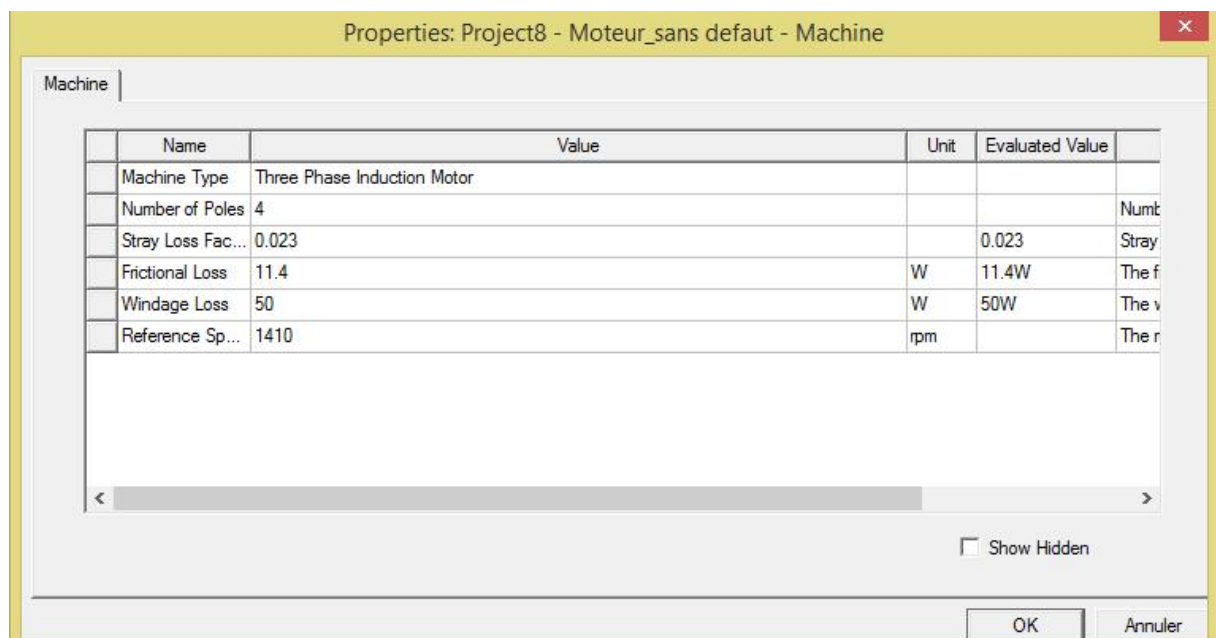


Figure .A.4 : Paramètres de la machine

-Le stator : un tableau sa fiche et on fait entré les paramètres de notre machine :

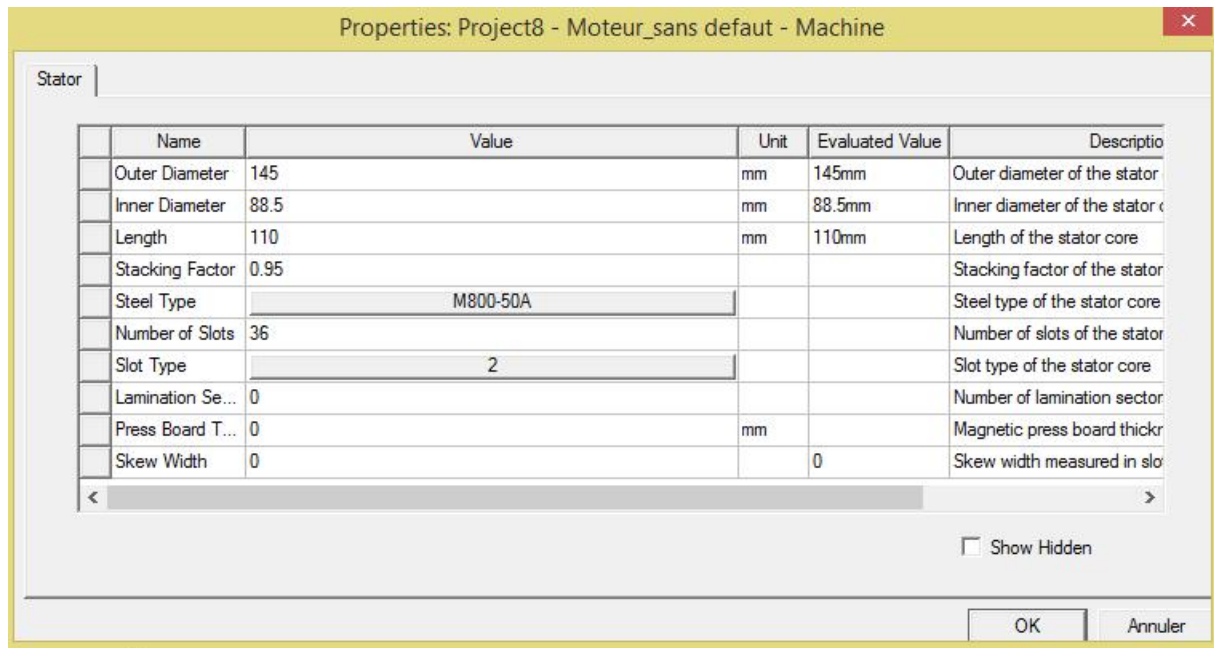


Figure .A.5 : Paramètres de stator

) Types d'encoche sous RMxprt est le type 2 comme la montre la figure ci-dessous

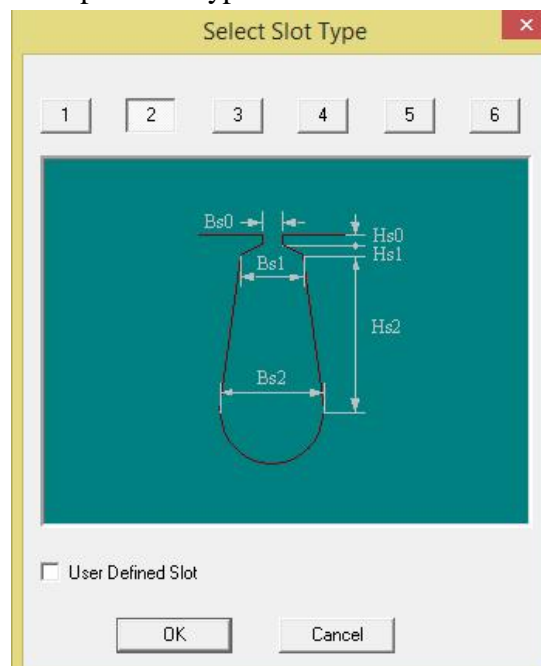


Figure A.6 : Type d encoche statorique

NB : Le type de matériau (M800-50A) est un matériau ferromagnétique doux qui n'est pas inséré dans la bibliothèque des matériaux de RMxprt, on va l'ajouté manuellement, on clique sur « steel type » la fenêtre suivante va s'ouvrir :

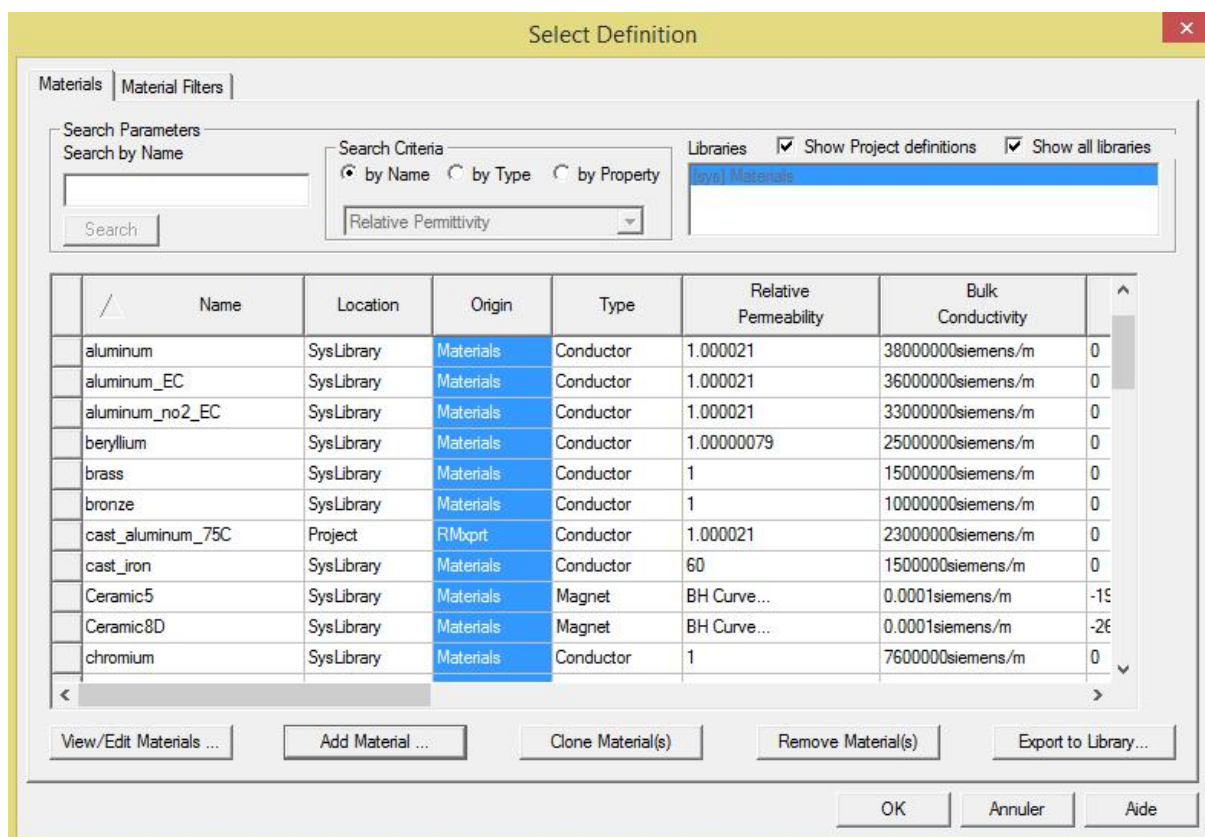


Figure A.6 : Types des matériaux

On clique sur « add material » → sélectionné type « nonliar » dans le tableau suivant :

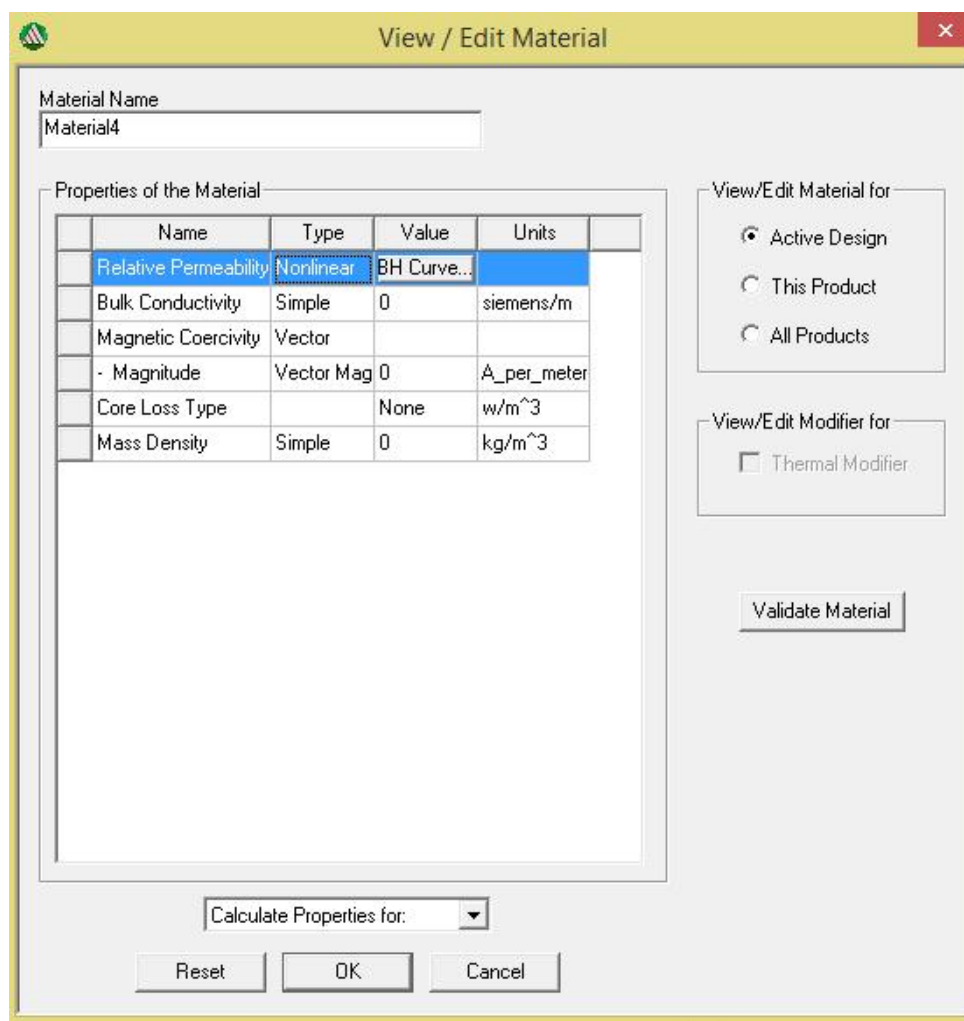


Figure A.7 : Parmètres de materiau

En suite on clique sur « BH Curv », faire entré les coordonnées de B (tesla) et H (A/m) dans le tableau qui s'affiche.



VETTINER

RAPPORT DE MESURE

ECHANTILLON : H025 12

jeudi 26 avril 2012

Masse active : 0,9864 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)	Ss (VA/Kg)	µs
1,797	8,060 e+3	6,360 e+0	1,882 e+2	1,774 e+2
1,760	6,333 e+3	7,560 e+0	1,285 e+2	2,212 e+2
1,722	4,606 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
1,646	2,698 e+3	6,880 e+0	4,942 e+1	4,932 e+2
1,608	1,839 e+3	6,520 e+0	3,456 e+1	6,603 e+2
1,573	1,420 e+3	6,240 e+0	2,484 e+1	8,815 e+2
1,536	1,039 e+3	5,990 e+0	1,833 e+1	1,176 e+3
1,499	7,740 e+2	5,850 e+0	1,396 e+1	1,541 e+3
1,463	5,853 e+2	5,327 e+0	1,106 e+1	1,956 e+3
1,425	4,652 e+2	5,038 e+0	9,006 e+0	2,436 e+3
1,389	3,803 e+2	4,775 e+0	7,705 e+0	2,996 e+3
1,353	3,180 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	2,303 e+2	4,065 e+0	5,412 e+0	4,307 e+3
1,243	2,092 e+2	3,857 e+0	4,943 e+0	4,728 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	3,829 e+0	5,748 e+3
1,097	1,470 e+2	3,089 e+0	3,650 e+0	5,929 e+3
1,060	1,421 e+2	2,994 e+0	3,416 e+0	5,936 e+3
1,024	1,370 e+2	2,732 e+0	3,162 e+0	5,948 e+3
0,987	1,340 e+2	2,584 e+0	2,991 e+0	5,951 e+3
0,950	1,313 e+2	2,395 e+0	2,891 e+0	5,740 e+3
0,914	1,287 e+2	2,248 e+0	2,715 e+0	5,651 e+3
0,877	1,264 e+2	2,104 e+0	2,554 e+0	5,521 e+3
0,841	1,234 e+2	1,968 e+0	2,396 e+0	5,423 e+3
0,805	1,221 e+2	1,841 e+0	2,257 e+0	5,246 e+3

ECHANTILLON : H025 12

jeudi 26 avril 2012

B (Tesla)	H (A/m)	Ps (W/Kg)	Ss (VA/Kg)	Ss (VA/Kg)
0,789	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	4,849 e+3
0,698	1,155 e+2	1,475 e+0	1,847 e+0	4,705 e+3
0,669	1,129 e+2	1,369 e+0	1,716 e+0	4,552 e+3
0,622	1,115 e+2	1,259 e+0	1,597 e+0	4,429 e+3
0,587	1,094 e+2	1,145 e+0	1,478 e+0	4,270 e+3
0,550	1,069 e+2	1,040 e+0	1,360 e+0	4,094 e+3
0,513	1,040 e+2	9,351 e-1	1,256 e+0	3,925 e+3
0,477	1,014 e+2	8,359 e-1	1,145 e+0	3,743 e+3
0,441	9,960 e+1	7,480 e-1	1,039 e+0	3,523 e+3
0,404	9,820 e+1	6,543 e-1	9,272 e-1	3,342 e+3
0,367	9,360 e+1	5,672 e-1	8,207 e-1	3,129 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
0,258	8,540 e+1	3,310 e-1	5,335 e-1	2,413 e+3
0,223	8,240 e+1	2,625 e-1	4,477 e-1	2,154 e+3
0,186	7,880 e+1	1,979 e-1	3,702 e-1	1,878 e+3
0,148	7,440 e+1	1,404 e-1	2,846 e-1	1,594 e+3
0,114	6,890 e+1	9,130 e-2	2,071 e-1	1,317 e+3
0,077	6,130 e+1	5,110 e-2	1,355 e-1	9,996 e+2
0,040	4,350 e+1	2,210 e-2	7,151 e-2	6,430 e+2
0,004	3,120 e+1	5,300 e-3	2,239 e-2	1,020 e+2
0,000	1,000 e-1	1,000 e-4	7,000 e-6	0,000 e+0

VETTERER E05AH025 12.T4

2

Figure A.8 : Valeurs de B(H) et B(Ps)

On aura la courbe par la quelle ce matériau est caractérisé comme la montre la figure suivante :

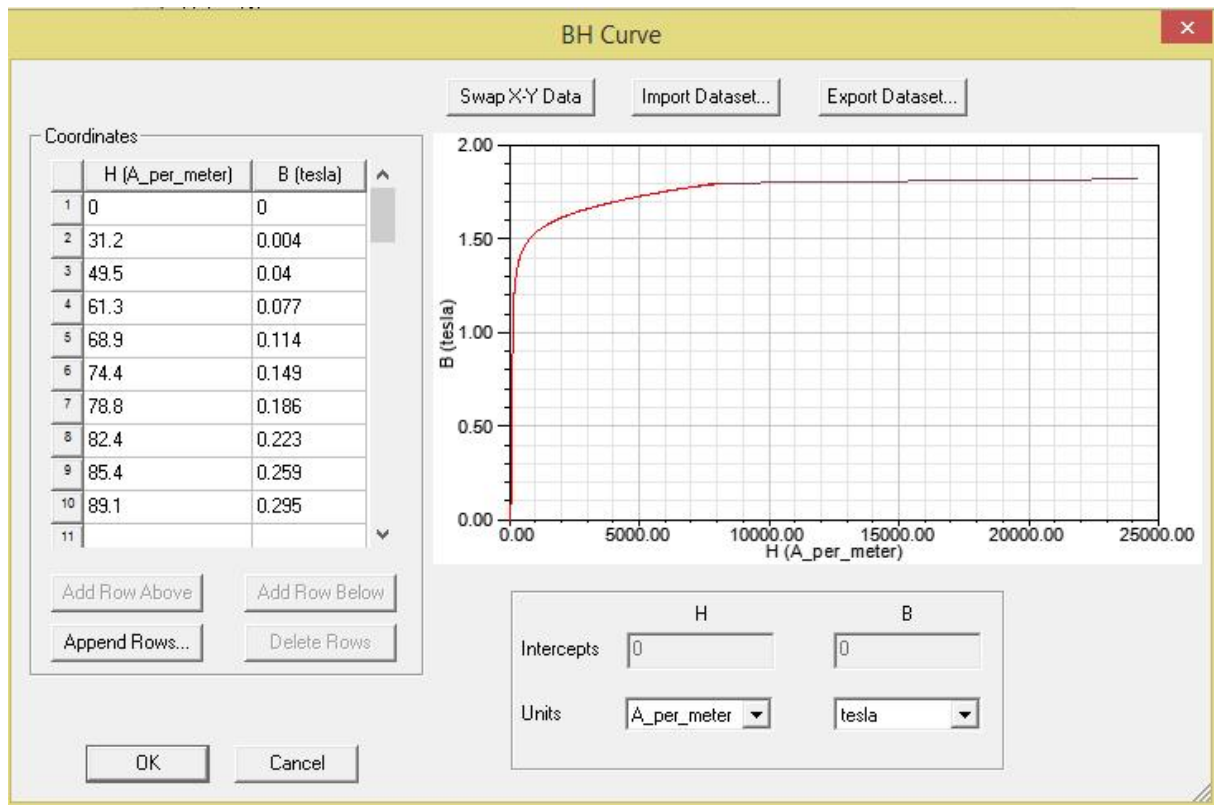


Figure A.9 : Courbe de B(H)

-Une fois terminé on valide notre matériau et on aura la géométrie de stator ci dessous:

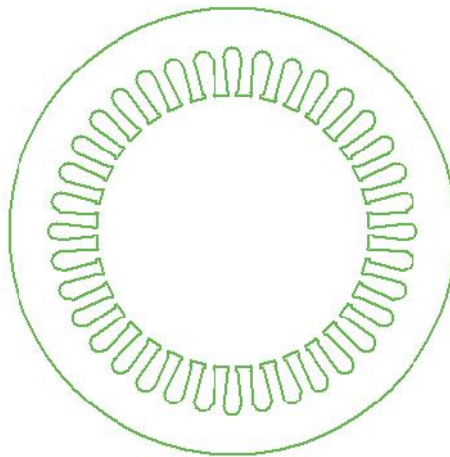


Figure A.10 : La géométrie de stator

) En suite on a les paramètres consternants les déférentes partys de stator :

-Slot (encoche) : Un tableau s'affiche, on fait entré les paramètres :

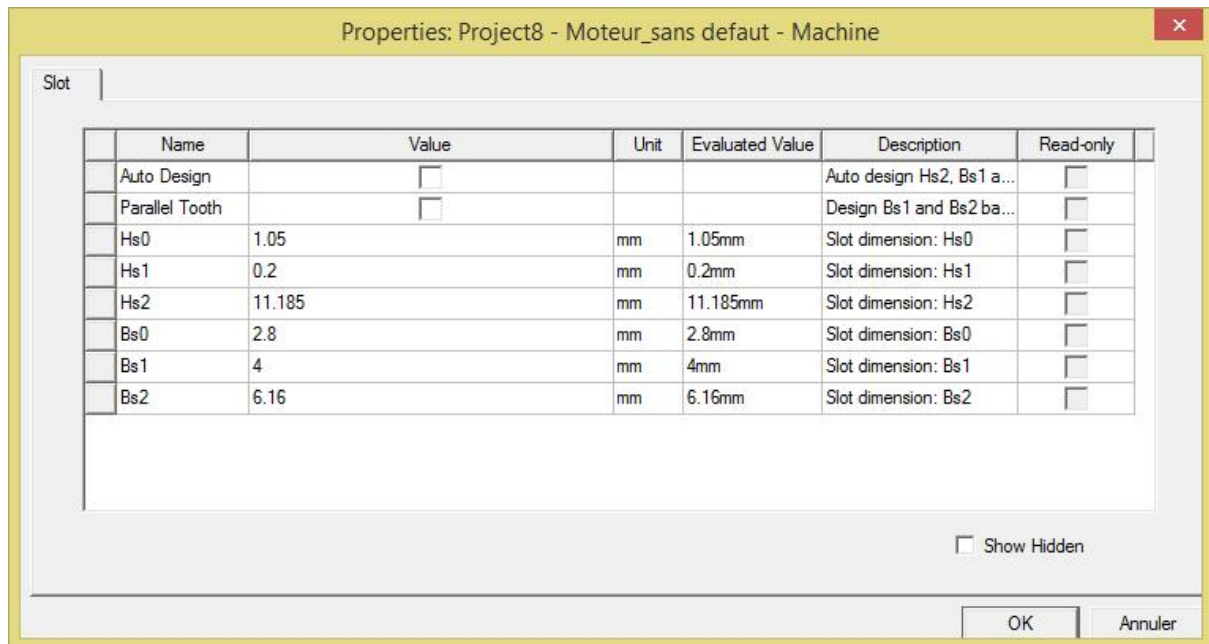


Figure .A.11 : Paramètres d'encoche statorique

-Le rotor : le tableau suivant sa fiche, on entre les paramètres quels faut :

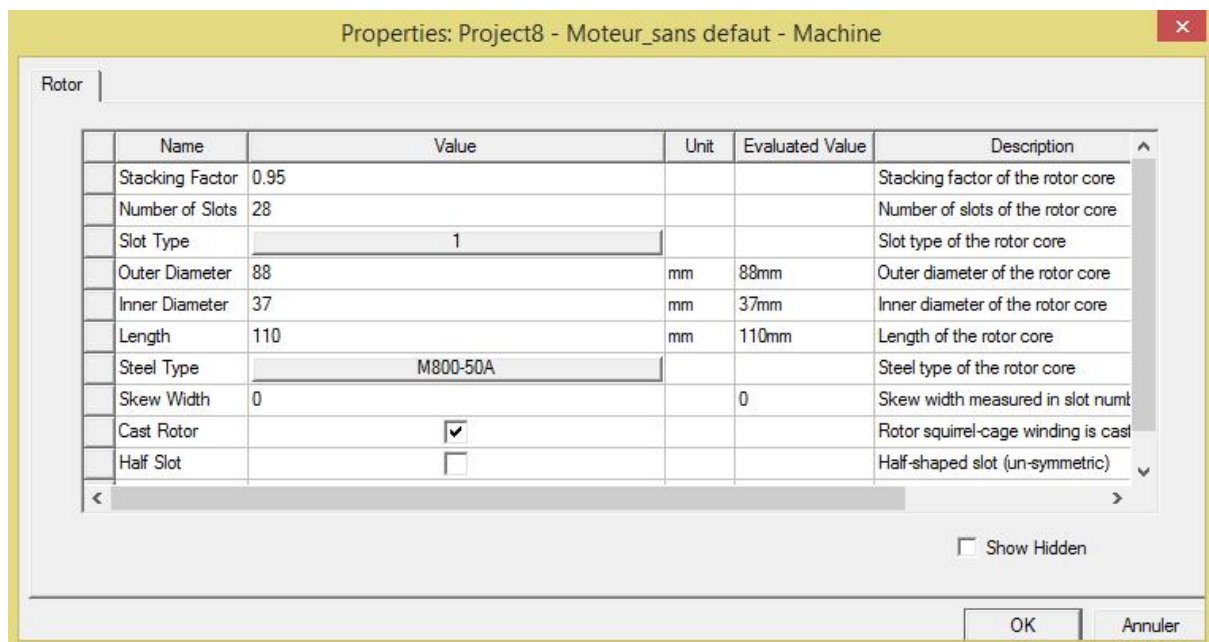


Figure .A.12 : Paramètres de rotor

) Types d'encoche sous RMxprt est le type 1 comme la montre la figure ci-dessous :

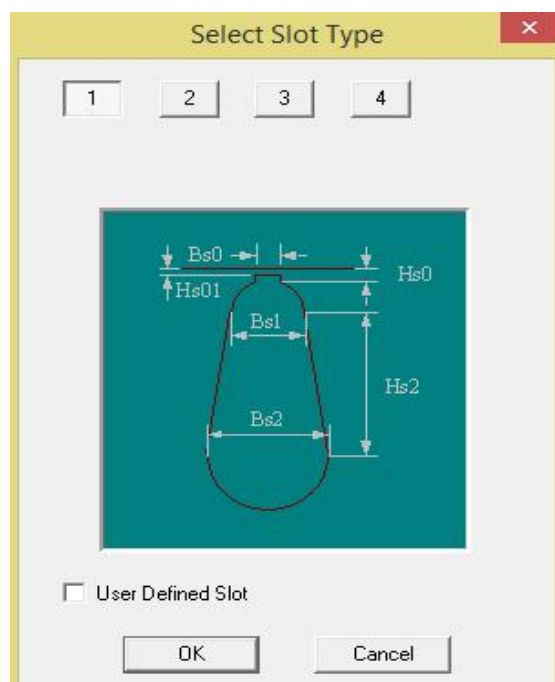


Figure A.13 : Type d'encoche rotorique.

On aura la géométrie suivante :

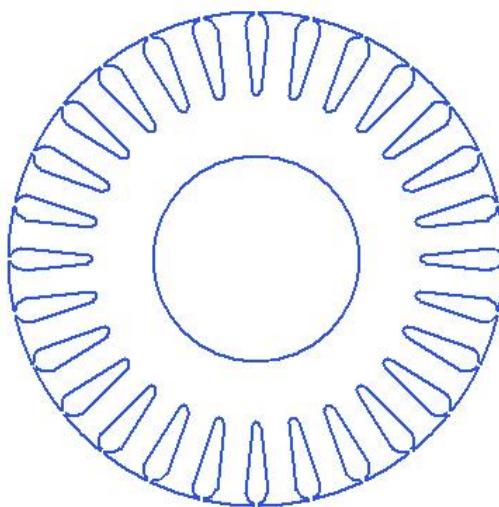


Figure A.14 : La géométrie de rotor

-Shaft (arbre) :

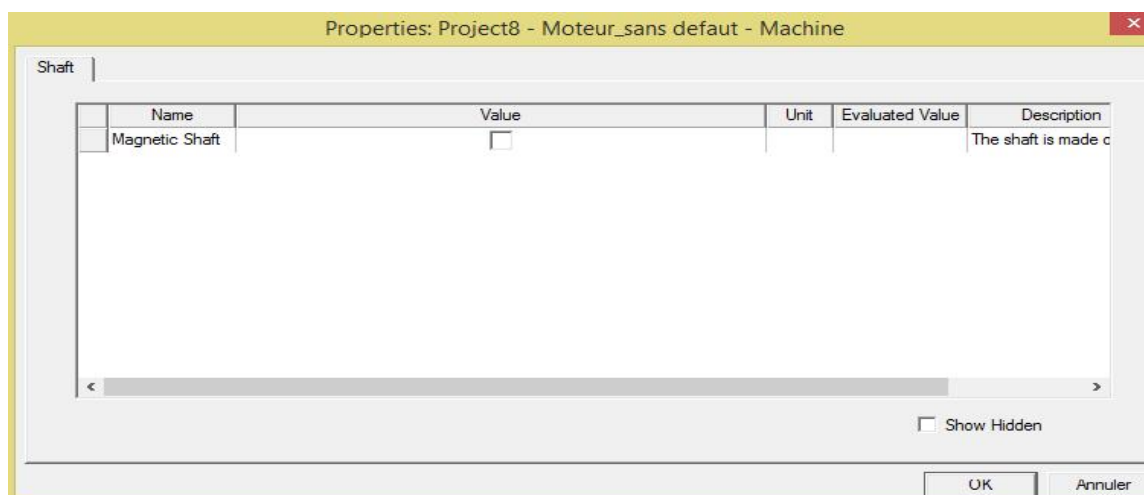


Figure .A.15 : Arbre non magnétique

A la fin (après insertion de tous les paramètres), on aura la géométrie de la machine entière qui est présenté dans la figure ci dessous :

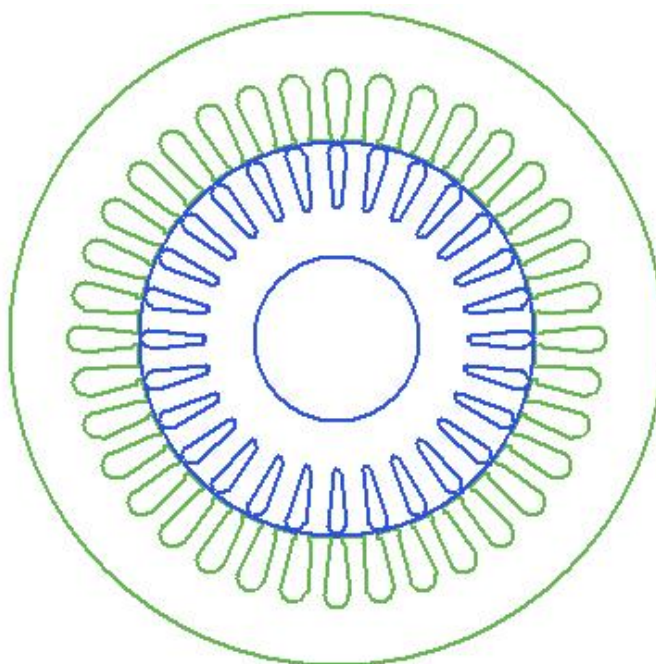


Figure A.16 : La deométrie complite de la machine obtenu

-Analysis : On clique sur « Setup » et on rempli le tableau suivant :

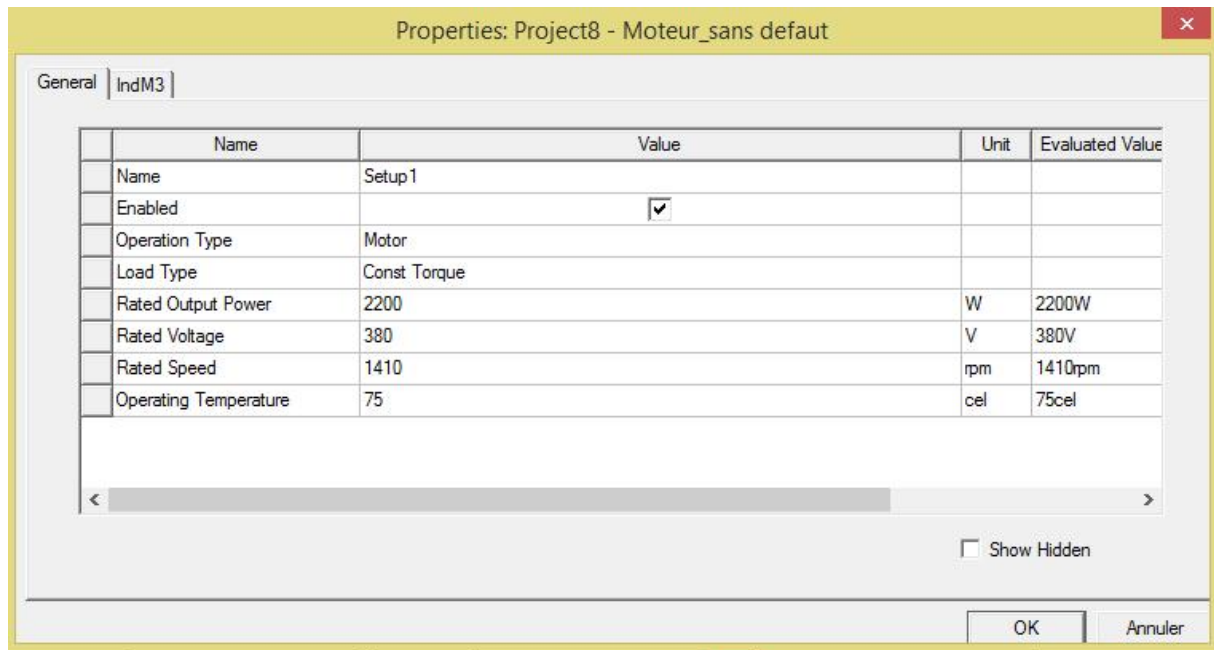



Figure .A.17 : Paramètres nominaux de la machine

- 4- Une fois terminé on valide notre modèle avec un clic sur « Valider » () une fenêtre s'affiche, qui indique si notre modèle est prêt pour être utilisé.

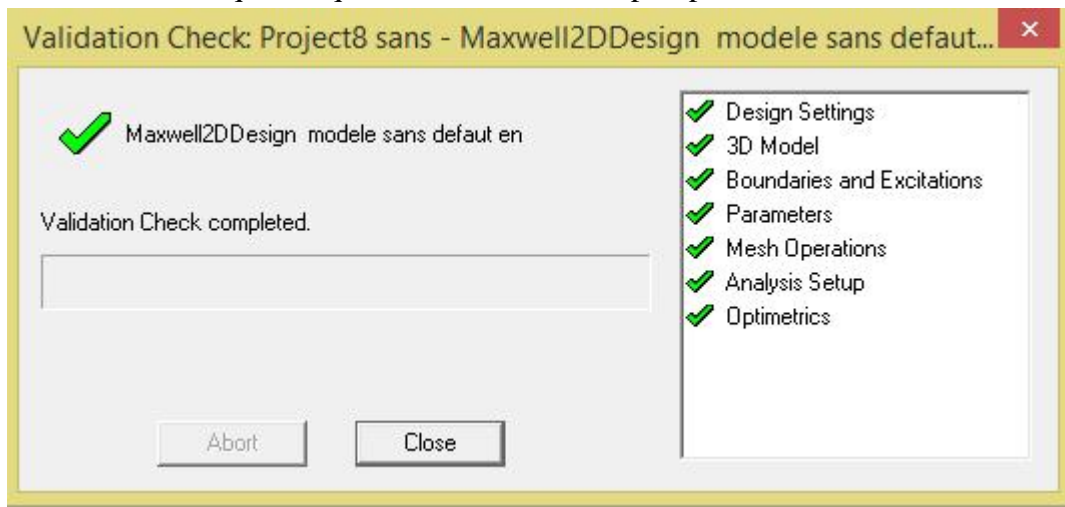



Figure .A.18 : Modèle validé

- 5- Puis on lance l'analyse avec « Analyze all » (), on aura les résultats avec un clic sur « Results » → « Solution Data ».

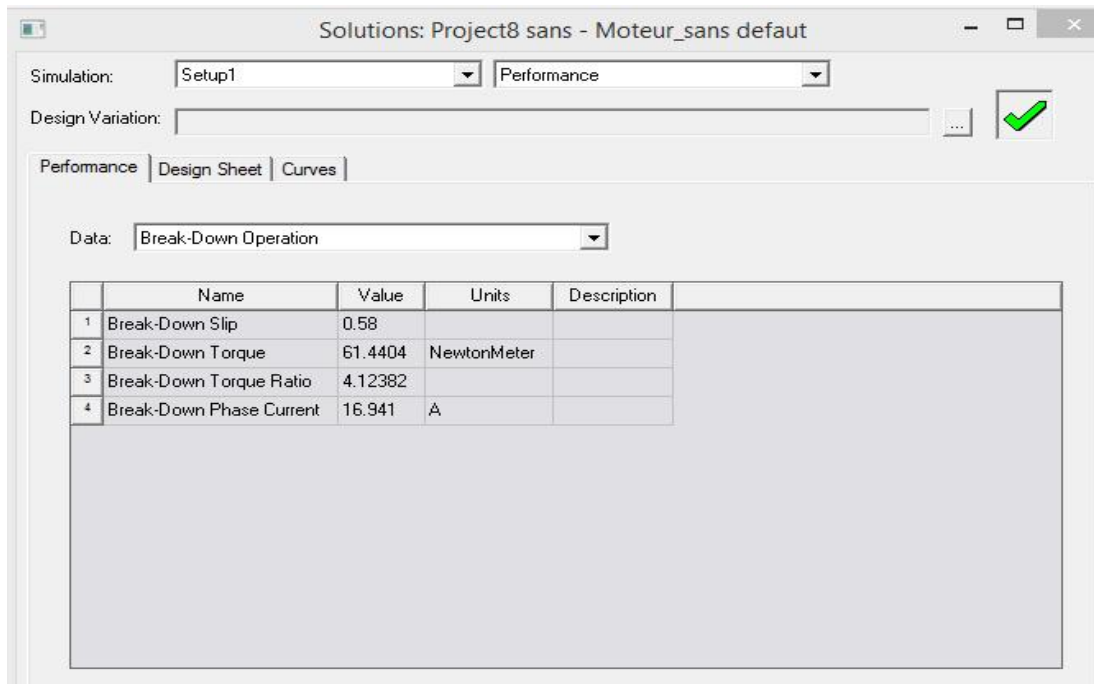


Figure .A.19 : Résultats d'analyse

Pour le modèle 2D

1-On clique sur « Setup » —> sélectionnez « Create Maxwell Design » une fenêtre s'affiche —> On sélectionne « Maxwell2D ».

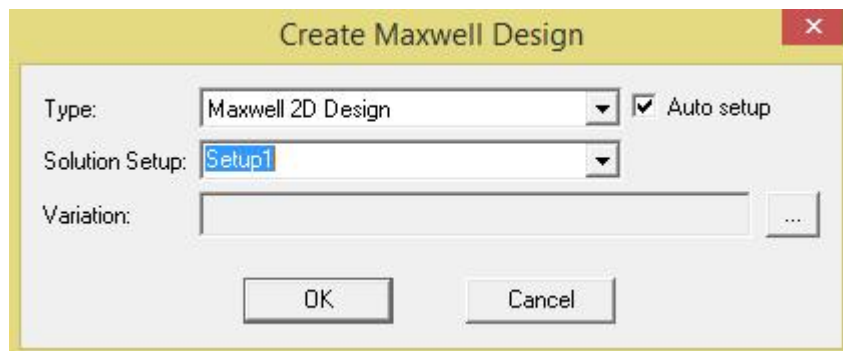


Figure .A.20 : Modèle en 2D

2-le modèle Maxwell2D est créé on clique sur ce dernier —> sélectionnez « Solution type » —> définit le type de la solution (pour nous c est magnétique transitoire « Magnetic transient »).

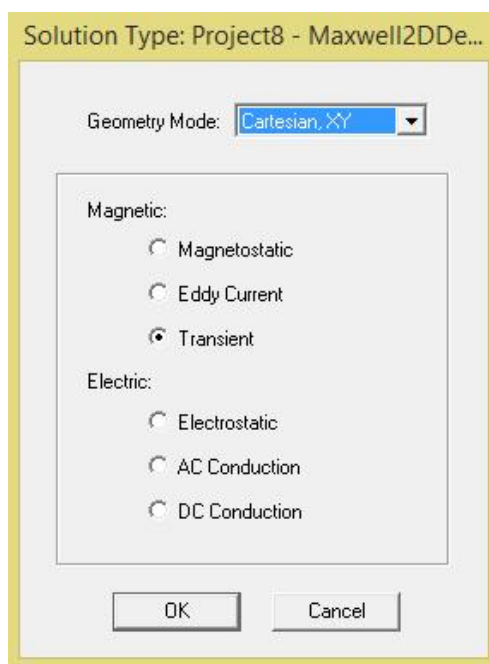


Figure .A.21 : type de la solution transitoire.

On aura la géométrie d'un quart de modèle en 2D :

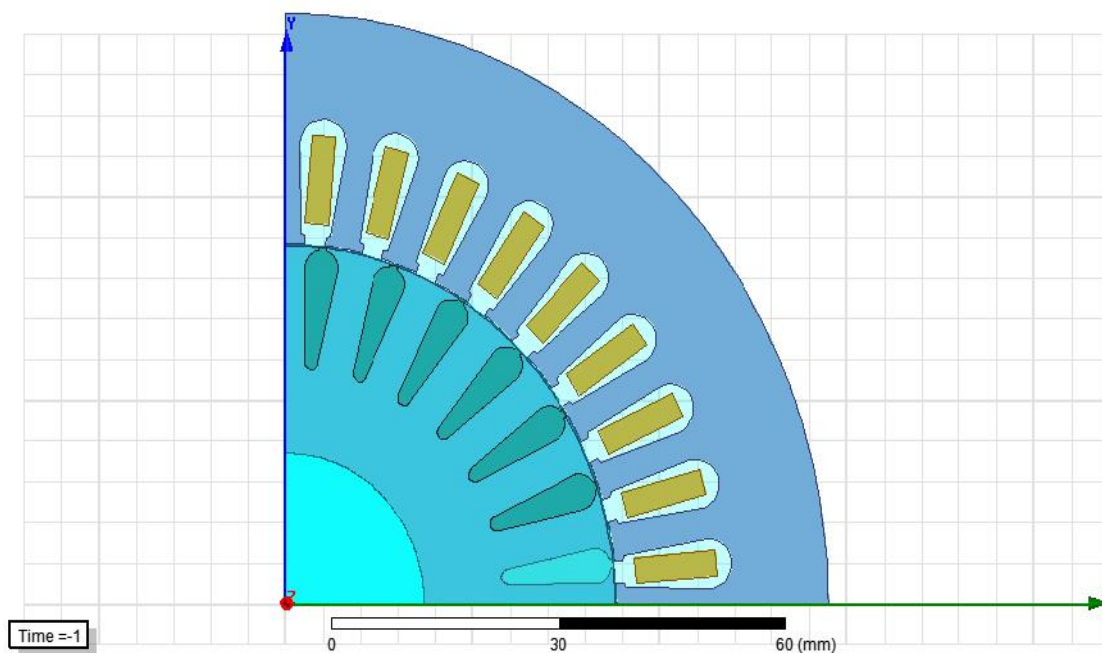


Figure A.22 : La géométrie d'un quart de la machine asynchrone a cage en 2D.

3-On choisit le temps de simulation et le pas avec un clique sur « Analysis »
→ « Add Solution setup ».

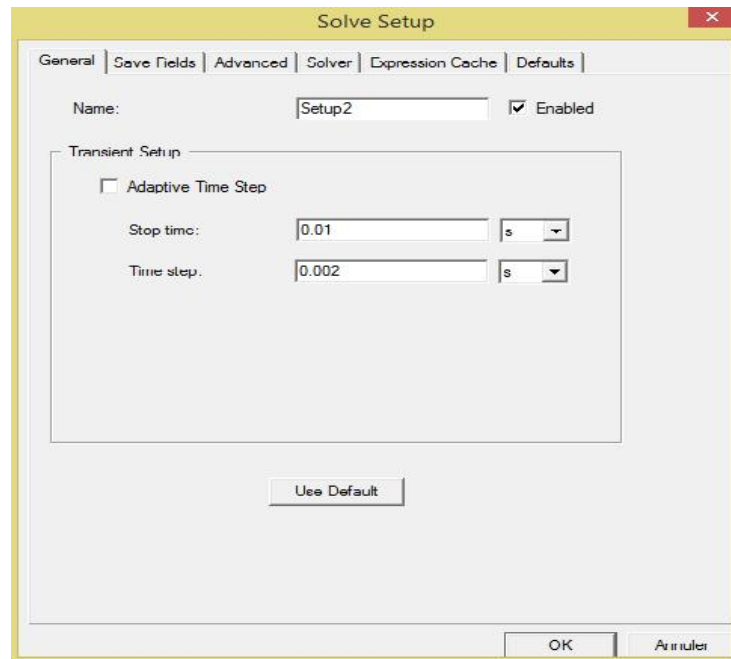
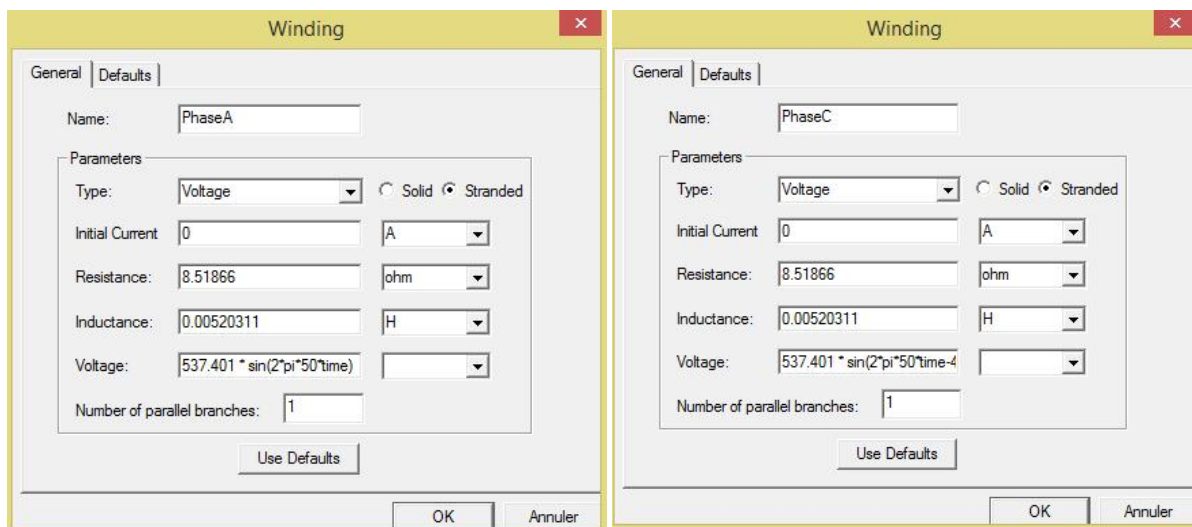


Figure A.23 : Temps de solution

4- pour l'excitation : Faite un clique sur excitation → sélectionnez la phase avec un double clique → entres les paramètres des trois phases (A.B.C).

Comme la montre les figures suivantes :



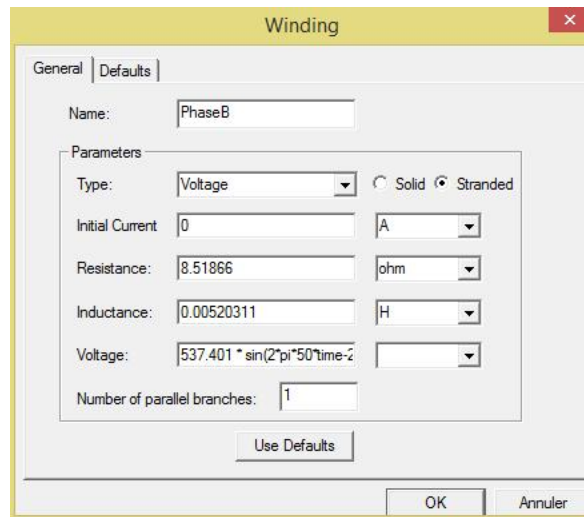


Figure A.24 : Paramètres des trois phases (A, B, C)

5-on insère les paramètres mécanique de la machine pour les deux essais à vide et en charge avec un clic sur « Modele » → «Motion Setup » → Properties

→ « Machinical », dans la fenêtre suivante :

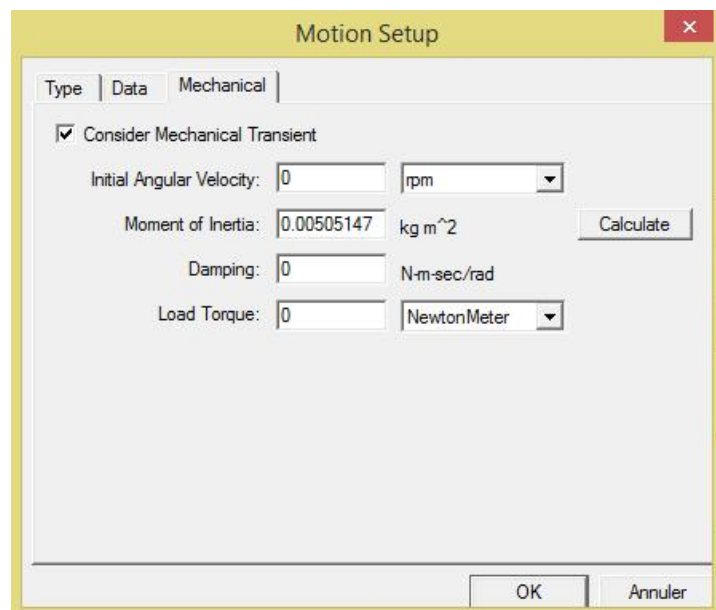


Figure A.24 : Paramètres mécaniques à vide.

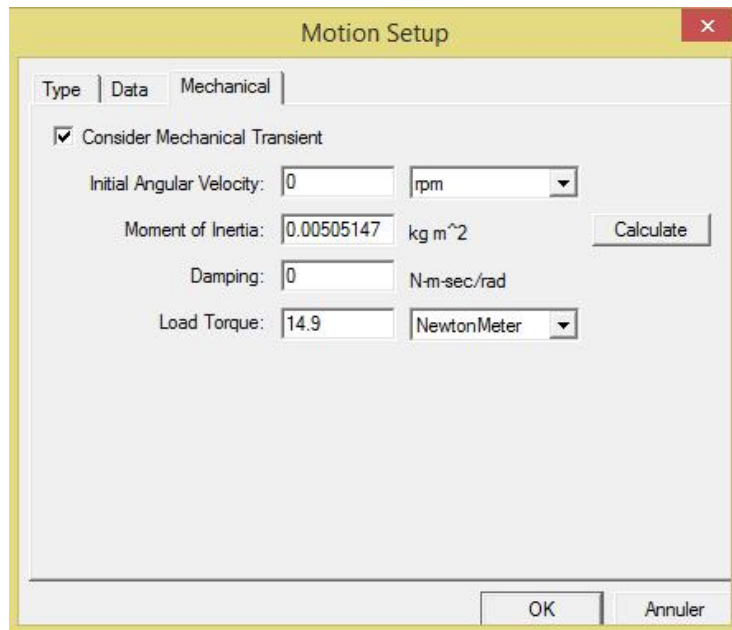


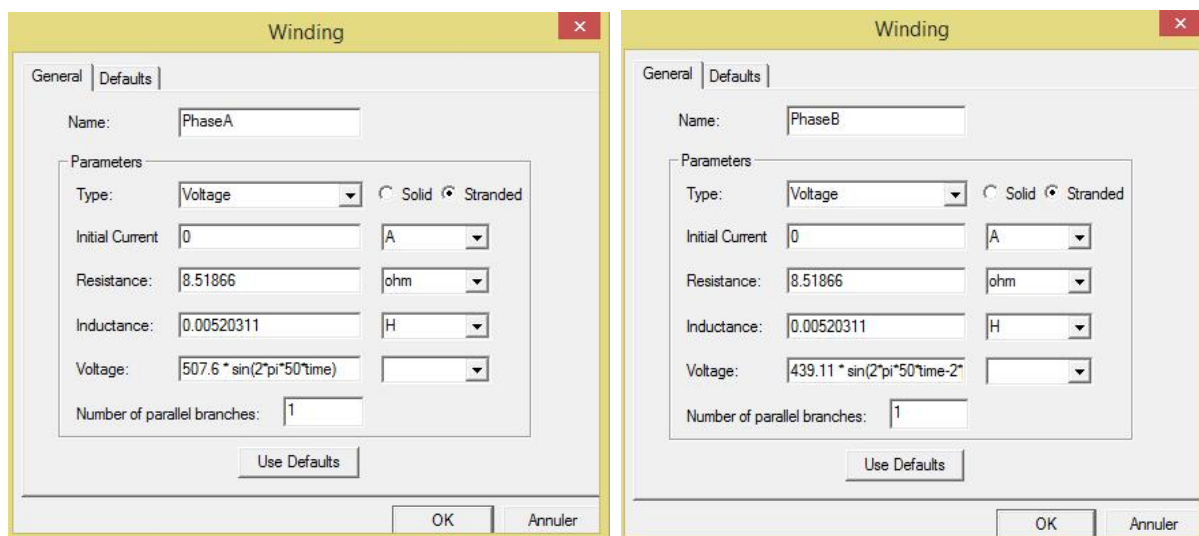


Figure A.25 : Paramètres mécaniques en charge.

6- Une fois terminé on valide notre modèle avec un clic sur « Valider » () puis on lance l'analyse avec « Analyze all » ().

Modèle avec défaut (rupture d'une phase)

Pour créer un défaut de rupture d'une phase on va apporter des changements au paramètre de la phase concernée (phase B).



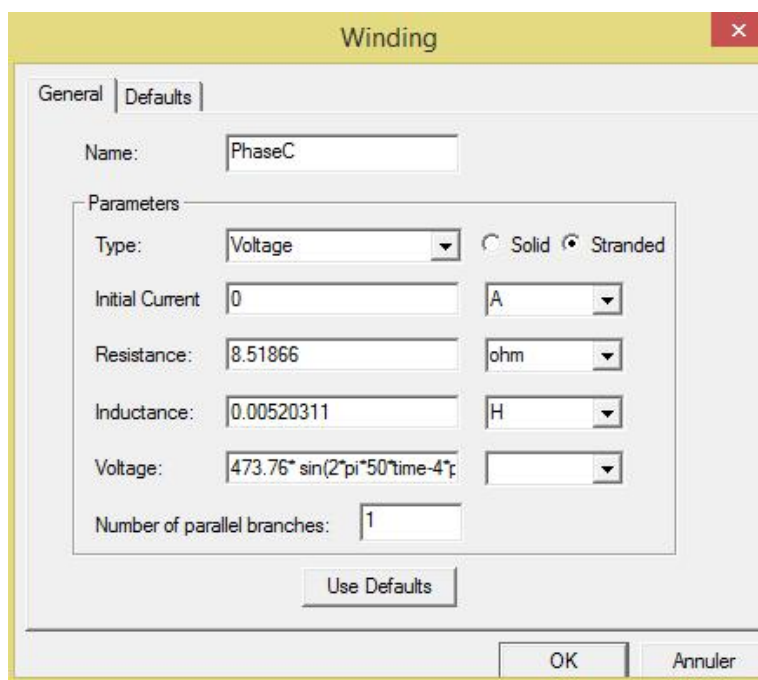


Figure A26 : Paramètres de la phase A , B et C avec défaut.

Partie expérimentale :

Présentation de la maquette d'essai



Figure A27: Le banc d'essais comprenant le moteur, ainsi que les organes de mesure et d'acquisition.

Bibliographie

- [1]. ZERROUK Ahmed. Diagnostic des défauts de cassure de barres rotoriques dans la machine asynchrone triphasée. Mémoire de fin d'étude 2013
- [2]. Medoued Ammar. Surveillance et diagnostic des défauts des machines électriques : applications aux moteurs asynchrones. Thèse de doctorat 2012
- [3]. La <https://www.researchgate.net/publication/237508249>
- [4]. Mohamed El Kamel Oumaamar .Surveillance et diagnostic des défauts rotoriques et mécaniques de la machine asynchrone avec alimentation équilibrée ou déséquilibrée. Thèse de doctorat. Université de Lorraine2012
- [5]. <https://www.Sciences de l'ingénieur.net/Moteurs asynchrones NB-2005>
- [6] .<Http://pagesperso-orange.fr/fabrice.sincere/2>
- [7]. <Https://www.blogger.com/dyn-css/authorization.css/> électronique et technologie2011
- [8] .Ali IBRAHIM. Contribution au diagnostic de machines électromécaniques : Exploitation des signaux électriques et de la vitesse instantanée. Thèse de doctorat. Université de Saint Etienne2009
- [9]. Thorsen O. V. and Dalva M., "A survey of fault on induction motors in offshore oil industry, petrochemical industry, gas terminals, and oil refineries" IEEE Transactions on Industry Applications, Vol.31(5), pp. 1186-1196, September 1995.
- [10]. EPRI. Improved motors for utility applications. Final report Publication EL-2678, vol. 1, 1763-1, EPRI. October 1982.
- [11]. L'Ondel O. «Diagnostic par reconnaissance des formes : Application a un ensemble convertisseur – machine asynchrone» Thèse de Doctorat, Ecole centrale de Lyon, France, 2006.
- [12]. DAHMANE Housseem . Commande et diagnostic de la machine asynchrone à l'aide d'observateur. Mémoire de fin d'étude. UNIVERSITE KASDI MERBAH OUARGLA 2016
- [13]. Abla Bouguerne. Diagnostic automatique des défauts des moteurs asynchrones . Mémoire de fin d'étude. Université Mentouri - Constantine2009
- [14] .Mr HARIR Miloud Etude des Défauts dans La Machine Asynchrone à Cage d'Ecureuil par l'Emploi de la Fonction d'Enroulement Modifiée. Mémoire de fin d'étude Université Mohamed Boudiaf d'Oran 2009.
- [15].S. Nandi, T. C. Ilamparithi, L. Sang Bin, and H. Doosoo , « Detection of Eccentricity Faults in Induction Machines Based on Nameplate Parameters », IEEE Transactions on Industrial Electronics, vol. 58, pp. 1673-1683, May 2011.

- [16] .T. Boumegoura, " Recherche de signature électromagnétique des défauts dans une machine asynchrone et synthèse d'observateurs en vue de diagnostic ", Thèse Doctorat, Ecole centrale de Lyon, Mars 2001.
- [17]. Rafik Merad. Outils de diagnostic appliqués à la machine asynchrone triphasée à cage d'écurie. Magister en Electrotechnique. Université de Constantine.2006
- [18]. Radouane Bousseksou. Modélisation analytique des machines Asynchrone application au diagnostic. Mémoire de fin d'étude .Université Mentouri Constantine.2007
- [19]. J. Morlet, "Sampling theory and wave propagation," Acoustic Signal/Image Processing And Recognition, Springer-Verlag , Vol. F1, NATO ASI, pp. 233–261, 1983.
- [20]. N. Paterson. The analysis and detection of faults in three-phase induction machines using finite element techniques. Doctoral thesis, Robert Gordon University, Wetherby British Library, Aberdeen, UK 1998.
- [21]. Sadok BAZINE. Conception et implementation d'un Meta-modèle de machines asynchrones en défaut. Thèse Doctorat. L'Université de Poitiers2009
- [22]. https://fr.wikipedia.org/wiki/Machine_asynchrone
- [23]. Bonnett, A.H; Soukup, G.C "Cause and analysis of stator and rotor failures in three-phase squirrel-cage induction motors", Industry Applications, IEEE Transactions on, Volume: 28, Issue: 4, July-Aug. 1992, pp.921 – 937, 1992.
- [24].General Information: AnsoftInfo@ansys.com. Canonsburg. November 2010 Inventory: 002889
- [25] .Ansoft Links, Maxwell, RMxpert and Simplorer are trademarks of ANSYS, Inc.All other trademarks are property of their respective owners.© 2010 ANSYS, Inc.
- [26]Gaetan Didier. Modélisation et diagnostic de la machine asynchrone en présence de défaillances. Thèse Doctorat.Université Henri Poincaré,Nancy-I.2004.
- [27] Babak Vaseghi. CONTRIBUTION A L'ETUDE DES MACHINES ELECTRIQUES EN PRESENCE DE DEFAUT ENTRE-SPIRES Modélisation – Réduction du courant de défaut. Thèse Doctorat. L'Institut National Polytechnique de Lorraine2009.
- [28] Mellal Mourad. Etude des performances de la machine asynchrone sous défauts. Mémoire de fin d'étude. Université Mouloud Mammeri Tizi-Ouzou .2017.