

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE
MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE
LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE
UNIVERSITE MOHAMED BOUDIAF - M'SILA

FACULTE DE TECHNOLOGIE
DEPARTEMENT : GENIE ELECTRIQUE
N° :



FILIERE :ELECTROMECHANIQUE
OPTION : ELECTROMECHANIQUE

Mémoire présenté pour l'obtention
Du diplôme de Master Académique

Intitulé

**Diagnostic des défauts au rotor dans la machine
asynchrone à double stator**

Proposé et dirigé par :

Dr : Zorig Assam

Présenté par :

Louafi boumedyen

Mansori toufik

No d'ordre :

Année universitaire : 2021-2022

Remerciement

Nous remercions en premier lieu notre Dieu de Nous donner La santé et la patience pour avoir Terminer ce travail. Nous tenons évidemment à débiter ces remerciements notre encadreur Monsieur ZORIG Assam qui a bien voulu nous encadrer et pour ses conseils précieux, sa disponibilité et sa patience. Nous remercions également tous les membres de jury d'avoir accepté de jugé. Nous tenons également à remercier tous ceux qui ont participé de près ou de loin à l'élaboration de ce travail

Dédicaces

Donnez ce mémoire à mes chers parents.

Pour leur soutien moral et matériel

Les plus encourageants et les plus sacrificiels qu'ils aient endurés Laid.

À ma femme et à mon fils Adam et à ma fille Nada Elraihan

À mon frère.

À mes sœurs.

Aux leaders de M. Zorig Assam.

Et pour tous mes amis.

Nous dédions ce travail à ... mère et mon père qui me soutiennent

toujours

À nos frères et sœurs qui nous ont aidés

À nos amis et collègues qui ont été le meilleur soutien

pour nous Pour l'enseignant superviseur qui était le meilleur supporter

Pour tous les enseignants , employés et la famille universitaire.

| | |
|--|-----------|
| INTRODUCTION GÉNÉRALE | 1 |
| I CHAPITRE I : état de l'art de diagnostic des défauts au rotor dans la machine asynchrone double stator..... | 4 |
| I.1 Introduction..... | 5 |
| I.2 La machine asynchrone..... | 5 |
| I.2.1 Constitution de la machine asynchrone double stator (MASDS)..... | 5 |
| I.2.2 Stator | 6 |
| I.2.3 Rotor :..... | 7 |
| I.2.4 Principe de fonctionnement de la machine asynchrone : | 8 |
| I.3 Les organes mécaniques :..... | 9 |
| I.4 Types de Machines Multiphasées :..... | 9 |
| I.4.1 Machines Multiphasées de Type 1 :..... | 10 |
| I.4.2 Machines Multiphasées de Type 2 | 10 |
| I.5 Applications des Machines Multiphasées | 11 |
| I.6 Les avantages et les inconvénients de la MASDE :..... | 12 |
| I.6.1 Les avantages des machines multiphasées : | 12 |
| I.7 Etude statistique des défaillances de la machine asynchrone :..... | 13 |
| I.7.1 Défauts statoriques: | 14 |
| I.7.2 Défauts rotoriques | 17 |
| I.7.3 Défaillances d'ordre mécanique : | 18 |
| I.8 Présentation des différentes méthodes de diagnostic : | 19 |
| I.8.1 Diagnostic par l'analyse des courants statoriques : | 19 |
| I.8.2 Diagnostic par l'analyse vibratoire de la machine : | 20 |
| I.8.3 Diagnostic par l'analyse des flux : | 20 |
| I.8.4 Diagnostic par l'analyse du couple électromagnétique : | 20 |
| I.8.5 Diagnostic par analyse de la température : La Thermographie..... | 21 |
| I.8.6 Diagnostic par les analyses chimiques | 21 |

| | | |
|--------------|--|-----------|
| I.8.7 | Diagnostic par l'analyse de la tension de neutre..... | 21 |
| I.8.8 | Diagnostic par l'analyse des tensions statoriques induites | 22 |
| I.8.9 | Diagnostic par l'analyse de la puissance instantanée | 22 |
| I.9 | Conclusion :..... | 22 |
| II | CHAPITRE II: Simulation de la MASDE par la méthode des éléments finis..... | 23 |
| II.1 | Introduction : | 24 |
| II.2 | Méthode des éléments finis | 24 |
| II.2.1 | Modèle employé | 25 |
| II.2.2 | Mode magnétostatique | 25 |
| II.2.3 | Mode magnétodynamique | 26 |
| II.2.4 | Mode magnétique transitoire :..... | 26 |
| II.3 | Logiciel FLUX-2D..... | 27 |
| II.4 | Module pré-processeur..... | 28 |
| II.4.1 | Module processeur | 28 |
| II.4.2 | Module post-processeur de Flux-2D(PostPro_2D)..... | 28 |
| II.5 | Application à la simulation de la MASDE..... | 29 |
| II.6 | Couplage avec les équations de circuit..... | 34 |
| II.7 | Résultats de simulation..... | 35 |
| II.7.1 | Fonctionnement à vide | 35 |
| II.7.2 | Fonctionnement en charge..... | 38 |
| II.8 | Conclusion | 42 |
| III | CAPITRE III : Diagnostic des défauts de la machine asynchrone double étoile | 44 |
| III.1 | Introduction : | 45 |
| III.2 | Influence de la barre cassée sur la machine asynchrone..... | 45 |
| III.3 | Simulation des défauts des barres rotoriques est cassées: | 46 |

| | |
|---|---------------|
| III.4 comparaison de courant dans le cas sain et en présence des défauts..... | 49 |
| III.4.1 . Résultats de la simulation de la machine ave cassure de barre..... | 49 |
| III.5 Effet de la cassure des barres sur le courant : | 51 |
| III.6 Effet de la cassure des barres sur le couple | 52 |
| III.7 Effet de la cassure des barres sur le temps de démarrage du moteur | 53 |
| III.8 Analyse spectrale de courant statorique une seule barre cassée | 54 |
| III.9 Conclusion | 57 |
| CONCLUSION GENERALE:..... | 58 |
| BIBLIOGRAPHIE | 60 |

Chapitre I

| | |
|--|----|
| Figure I 1 : vue éclaté d'une machine asynchrone double étoile.[47] | 6 |
| Figure I 2 : (a).Stator en cours de bobinage. [4](b).Stator (vue d'ensemble). [4] | 6 |
| Figure I 3: Vue du rotor à cage d'écureuil | 7 |
| Figure I 4: Rotor à cage d'écureuil. | 8 |
| Figure I 5: Rotor bobinée | 8 |
| Figure I 6 : Exemple d'application d'une machine asynchrone de 6 phases.[15] | 12 |
| Figure I 7:Répartition des causes des défauts pour une machine asynchrone. [18] | 14 |
| Figure I 8:Court-circuit entre spire de la même phase. [1] | 15 |
| Figure I 9:Court-circuit entre phases. [1] | 16 |
| Figure I 10:Schématisation d'une excentricité statique, a) rotor centré, b) rotor excentré.[4] | 18 |
| Figure I 11: Mesures vibratoires sur la machine asynchrone. [31] | 20 |

Chapitre II

| | |
|--|----|
| Figure II 1 : Schéma des différents modules du logiciel Flux-2D..... | 29 |
| Figure II 2 : Dimension des encoches, a) l'encoche statorique, b) l'encoche rotorique..... | 30 |
| Figure II 3 : Bobinages statoriques de l'étoile 1 de la MASDE | 31 |
| Figure II 4: représente le maillage effectué sur le circuit magnétique de la machine | 32 |
| Figure II 6: Caractéristiques B(H) du matériau magnétique STEEL_NLIN..... | 33 |
| Figure II 7 : Circuit représentant les effets d'extrémités liés à la géométrie..... | 34 |
| Figure II 8:Circuit équivalent de la cage d'écureuil. | 35 |
| Figure II 9 : Lignes du champ magnétique et l'induction magnétique à vide à $t = 0.65s$ | 36 |
| Figure II 10:Courants statoriques à vide..... | 36 |
| Figure II 11:Couple électromagnétique | 37 |
| Figure II 12:Vitesse de rotation. | 37 |
| Figure II 13:Courants rotoriques à vide..... | 38 |
| Figure II 14:Lignes du champ magnétique et l'induction magnétique en charge à $t = 0.75 s$ | 39 |
| Figure II 15: courant de phase statorique étoile 1 dans la machine a saine..... | 39 |
| Figure II 16: courant de phase statorique étoile 2 dans la machine a saine..... | 40 |
| Figure II 17 : courant rotoriques de MASDE , dans la machine saine | 40 |
| Figure II 18 : Vitesse rotoriques de MASDE , dans la machine saine | 41 |
| Figure II 19 : couple rotoriques de MASDE , dans la machine saine..... | 41 |
| Figure II 20:Courants rototiques en charge dans les barres 1,2...5..... | 42 |

Chapitre III

LISTE DES FIGURES

| | |
|--|----|
| Figure III 1: Schéma de fonctionnement d'un rotor en défaut [42]. | 45 |
| Figure III 2 : Répartition des lignes équipotentiels :(a) machine saine, (b) une seule barre cassées, | 47 |
| Figure III 3: Répartition de l'induction dans le circuit magnétique :(a) machine saine, (b) une seule barre cassées, (c) deux barres cassées par pôle opposé, (e) trois barres cassées adjacentes | 48 |
| Figure III 4: Répartition des densités de courant :(a) machine saine, (b) une seule barre cassées, (c) deux barres cassées par pôle opposé, (e) trois barres cassées adjacentes. | 49 |
| Figure III 5 : courant de phase statorique étoile 1 , dans la machine avec un barre cassé. | 49 |
| Figure III 6 : courant de phase statorique étoile 2 dans la machine avec une barre cassée | 50 |
| Figure III 7: Courant de barre en fonction de temps. | 50 |
| Figure III 8 : la vitesse en fonction du temps. | 51 |
| Figure III 9 : couple en fonction de temps. | 51 |
| Figure III 10: Comparaison le courant de la machine saine et défaut | 52 |
| Figure III 11 : Comparaison le couple de la machine saine et défaut. | 52 |
| Figure III 12: la vitesse de la machine saine et défaut. | 53 |
| Figure III 13: Comparaison la vitesse (ZOOM) | 53 |
| Figure III 14: Analyse spectrale de courant de Phase 1 de l'étoile 1 | 54 |
| Figure III 15: Analyse spectrale de courant de Phase 1 de l'étoile 2 | 55 |
| Figure III 16: Analyse spectrale de courant de Phase 1 de l'étoile 1 | 56 |
| Figure III 17: Analyse spectrale de courant de Phase 1 de l'étoile 2. | 56 |

LISTE DES TABLEAUX

Chapitre I

Tableau 1 : Machines Multiphasées de Type 1 (Multi-Etoile). [13] 10

Tableau 2 : Machines multiphasées de type 2 [13] 11

Chapitre II

Tableau II 1 : Caractéristiques statoriques et rotoriques de la machine asynchrone. **Erreur ! Signet non défini.**

Tableau II 2 : B(H) du matériau magnétique STEEL_NLIN [15] 33

Chapitre III

Tableau III 1: Capacité du bouchon ($1 \pm 2g$) * fs, pour une seule barre cassée.55

MASDE MachineAsynchroneDoubleEtoile.

MAS : Machine asynchrone.

CEMC : la Méthode des circuits électriques magnétiquement couplés.

CEMC-A : la Méthode des circuits électriques magnétiquement couplés analytique.

RNM : la méthode des réseaux de permanées.

CIE : le Modèle à circuits internes équivalents.

MEF : Méthode des éléments Finis.

FFT : (Fast Fourier Transform).

BC : barre cassée.

exc : excentricité.

CC : court circuit

g : glissement.

n: Nombrededephas.

α : Angle électrique de décalage

Ω_m : Vitesse mécanique du rotor.

ω_s : Pulsation électriques tatorique.

ω_r : Pulsation électrique rotorique.

p : Nombre de paire de pole.

C_r : Couple résistant.

C_{em} : Couple électromagnétique.

J : Moment d'inertie.

ϕ_m : Flux magnétisant

\vec{H} : Vecteur champ magnétique [A /m]

\vec{B} : Vecteur induction magnétique [T]

\vec{H} : Champ magnétique (A/m)

\vec{E} : Vecteur Champ électrique (V/m)

\vec{B} : Induction magnétique (T)

\vec{B}_r : Induction rémanente des aimants (T)

\vec{j} : Densité de courant totale (A/m²)

μ : Perméabilité magnétique (H/m)

σ : Conductibilité électrique ($\Omega^{-1}\text{m}^{-1}$)

INTRODUCTION GÉNÉRALE

Introduction générale

Pour des applications de forte puissance, telle que la traction ferroviaire, la propulsion navale, l'automobile, l'aérospatiale, l'industrie pétrochimique, etc... Les machines polyphasées procurent beaucoup d'avantages par rapport à la machine triphasée. Le nombre élevé de phases mène à une réduction des ondulations du couple électromagnétique. La machine polyphasée constitue donc un choix intéressant pour la modération des vibrations et la discrétion des bruits. L'augmentation du nombre de phases permet d'accroître la possibilité de fonctionner en mode dégradé en gardant une qualité convenable du couple. Cette particularité est intéressante du fait que la majorité des applications doivent assurer une continuité de service. Dans un autre contexte, aller vers un nombre de phases supérieur à trois, engendre un fractionnement de la puissance, diminuant ainsi les contraintes de dimensionnement des composants de l'électronique de puissance.[3]

L'efficacité industrielle est liée à la précision et à la durabilité des appareils électriques au travail, les moteurs asynchrones devenant les plus utilisés et les plus désirés dans une circonstance donnée. En particulier sous sa position sensible dans divers secteurs de haute technologie tels que l'aéronautique, le nucléaire, la chimie, etc. Ainsi, la nécessité d'accompagner ce système d'une sorte de protection fiable et d'assurer le progrès de cette série de production doit être un bon diagnostic de la machinerie électrique. La plupart des fabricants ont mis au point des modules et des outils de détection et de prévention précoces.

Les machines asynchrones de toutes sortes restent sensibles à plusieurs troubles auxquels elles sont exposées. Les défaillances mécaniques de la machine électrique peuvent être des écarts de rotor erreurs de couplage et des roulements de corrosion tandis que électrique comme bobine de diamant en acier, tiges circulaires, cassées ou magnétiques telles que l'isolation défectueuse entre les plaques de chargement, etc. Dans ce travail, nous nous appuyerons sur la méthode de simulation d'éléments finis..

Notre travail porte sur l'étude et l'identification des paramètres MASDE, puis nous passons à des pannes dans les barres cassées où notre projet de graduation se concentre sur l'étude de ce point afin de montrer sa performance. Cette mémoire est structurée comme suit :

Dans le chapitre I, nous présentons quelques informations générales sur les mécanismes et sa types (MASDE); Caractéristiques, fonctionnement et divers avantages et inconvénients. méthodes de diagnostic pour la machine.

INTRODUCTION GENERALE

Dans le chapitre II, nous avons simulé MASDE éléments 2D limités (2D-MEF). Pour comprendre comment effectuer La machine et ses paramètres en simulant en mode transitoire en tenant compte de l'ingénierie réelle.

Dans le chapitre III, nous présentons les résultats de la simulation diagnostique des défauts de barre cassée de rotor de MASDE. Ces défauts sont diagnostiqués en étudiant et en analysant les valeurs électriques et en les comparant à celles prélevées sur la machine dans son état normal.

I CHAPITRE I : état de l'art de diagnostic des
défauts au rotor dans la machine asynchrone double
stator

I.1 Introduction

D'une part, nous présentons la structure et le fonctionnement de la machine à double stator asynchrone (MASDE), ses applications, avantages et inconvénients, et d'autre part, les types de défauts qui peuvent se produire dans cette machine. Enfin, nous rappelons brièvement les techniques de base couramment utilisées pour la détection des défauts dans cette machine. [1]

I.2 La machine asynchrone

De loin la machine la plus réactive dans l'entreprise est la machine asynchrone (MAS). De nombreux avantages justifient cet intérêt accru, y compris son énorme puissance, robustesse, facilité de mise en œuvre, faible coût, et ainsi de suite.

La création de convertisseurs de fréquence, qui permettent de varier un large éventail de fréquences de rotation, a trouvé son chemin dans la conception de nombreux processus industriels impliquant des convertisseurs statiques et des machines électriques (traction électrique, laminoirs, levage, pompage, etc.)[2].

Malgré sa robustesse, la machine asynchrone, comme tout autre équipement électrique, peut subir des pannes électriques ou mécaniques. En raison des répercussions énormes et coûteuses qu'un défaut peut avoir sur les opérations industrielles, par exemple, l'identification des défauts a reçu beaucoup d'attention au cours des deux dernières décennies.[2]

I.2.1 Constitution de la machine asynchrone double stator (MASDS)

La machine asynchrone double stator est composée d'une partie fixe appelée stator et d'une partie tournante appelée rotor, contrairement aux machines asynchrones triphasés elle possède plus de 3 phases au stator (2x3 phases), et contrairement aux machines synchrones et à courant continu, seuls les enroulements statoriques sont couplés à un réseau d'alimentation, les enroulements rotoriques sont raccordés sur eux-mêmes. [1]

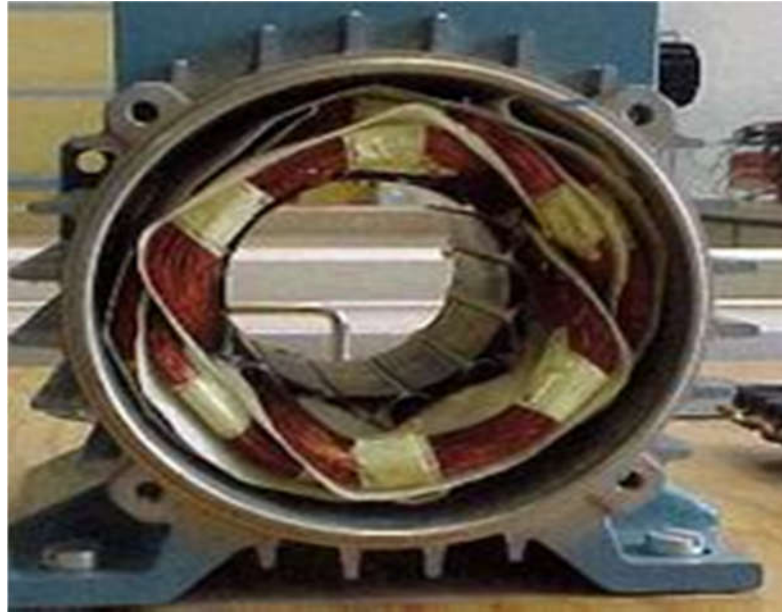


Figure I 1 : vue éclaté d'une machine asynchrone double étoile.[47]

I.2.2 Stator

Chaque étoile est décalée de l'autre par un angle électrique (α) et alimentée par un réseau triphasé équilibré. Le stator est composé d'un certain nombre de bobines distribuées en encoches qui composent 6 enroulements indépendants, composent deux groupes de trois phases appelées étoiles, chaque étoile est décalée de l'autre par un angle électrique (α) et alimentée par un réseau triphasé équilibré. Ils sont destinés à créer un champ magnétique rotatif lorsqu'ils sont alimentés par des systèmes de tension ou de courant triphasés. [3]

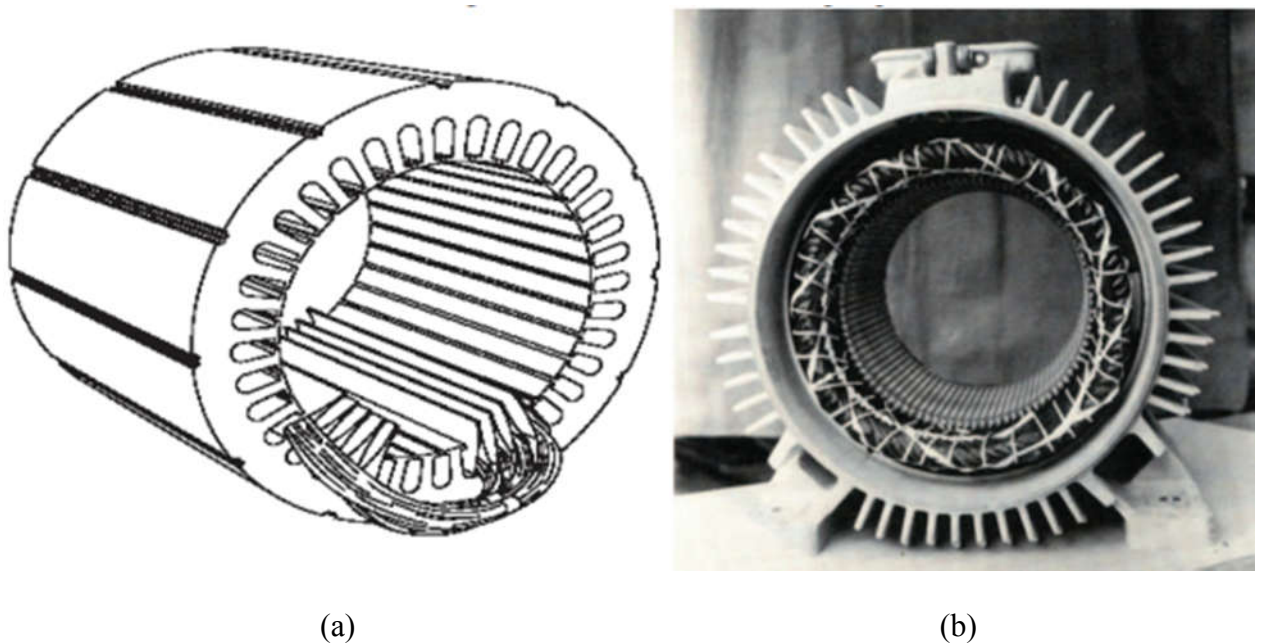


Figure I 2 : (a).Stator en cours de bobinage. [4](b).Stator (vue d'ensemble). [4]

I.2.3 Rotor :

Nous distinguons le rotor enroulé, qui supporte trois enroulements semblables au stator, où ces trois enroulements sont couplés en étoile et court-circuités sur eux-mêmes, du rotor déroulé, qui supporte trois enroulements semblables au stator, où ces trois enroulements sont couplés en étoile et court-circuités sur eux-mêmes. Le rotor de cage d'écureuil est le deuxième arrangement le plus populaire dans l'industrie, et il est également celui employé dans de nombreux domaines d'étude sur la machine asynchrone.

Les anneaux de court-circuit dans le rotor de la cage permettent au courant de circuler d'un conducteur d'encoche (barres du rotor) à un autre. Le circuit du rotor est constitué de ces tiges conductrices, qui sont uniformément dispersées. [3]

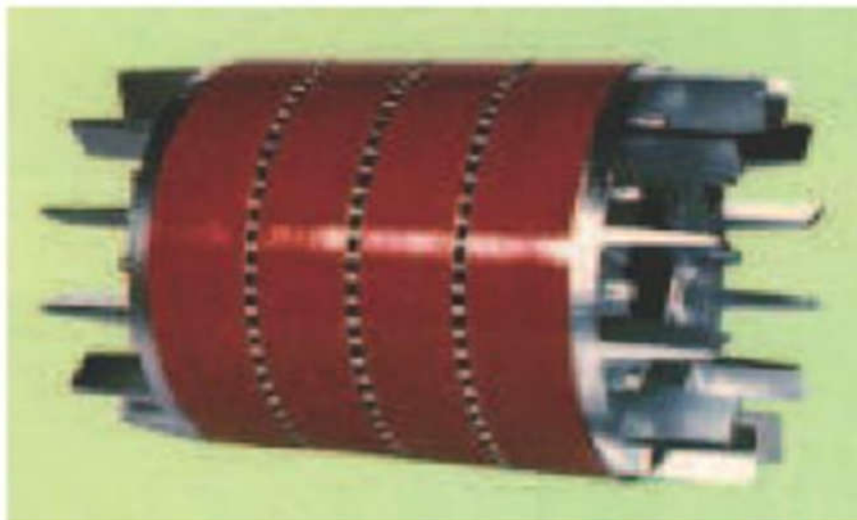


Figure I 3: Vue du rotor à cage d'écureuil

I.2.3.1 Le rotor à cage d'écureuil :

Courants circulant d'un conducteur d'encoche à l'autre (barre de rotor). Le circuit rotor est constitué de ces tiges conductrices qui sont espacées de façon égale (figure I.4). Cette cage est insérée dans un circuit magnétique constitué de disques en plaques empilés sur l'arbre de la machine, semblable à celui d'un moteur rotor enroulé triphasé. Cette couronne est maintenue en place par un cadre en fonte.[5]



Figure I 4: Rotor à cage d'écureuil.

I.2.3.2 Rotor bobiné :

Ces plaques de rotor ont des fentes pour les conducteurs qui forment les joints à recouvrement. Trois anneaux et trois balais donnent accès à ces rouleaux. Cet appareil vous permet de changer les qualités électromécaniques du moteur. [6]



Figure I 5: Rotor bobinée

I.2.4 Principe de fonctionnement de la machine asynchrone :

La machine asynchrone à double étoile sera utilisée comme exemple de son fonctionnement. Dans les deux stators (étoile 1 alimentée par des courants triphasés et étoile 2 alimentée par les mêmes courants triphasés mais décalés par un angle), les courants du stator

forment un champ magnétique tournant. La fréquence des courants du stator de f_s détermine la fréquence de rotation de ce champ; ainsi, sa vitesse de rotation est liée à la fréquence de l'alimentation électrique; la vitesse ω_s de ce champ de rotation est connue sous le nom de vitesse de synchronisation. Voici ce qu'il dit: [7]

$$\omega_s = \frac{f_s}{p} \quad [\text{Rad/s}] \quad (\text{I.1})$$

Ces deux Champs tournants produits par les deux enroulements statoriques vont induire des courants dans les conducteurs du rotor. Ainsi générant des forces électromotrices qui feront tourner le rotor à une vitesse ω_r inférieure à Celle du synchronisme ($\omega_r < \omega_s$), ainsi les effets de l'induction statoriques sur les courants induits rotoriques se manifestent par L'élaboration d'un couple de force électromagnétique sur le rotor tel que l'écart des vitesses soit réduit.

La différence de vitesse entre le rotor et le champ statorique est dite vitesse relative : [8]

$$\omega = \omega_s - \omega_r$$

On dira alors que ces deux champs glissent par rapport au rotor et on définit ce Glissement par le rapport : [8]

$$g = \frac{\omega}{\omega_s} = \frac{\omega_s - \omega_r}{\omega_s} \quad (\text{I.2})$$

I.3 Les organes mécaniques :

La carcasse sert de support, d'enveloppe et de protection contre les éléments. L'arbre sert de moyen de transmission. Il est composé d'une partie centrale qui agit comme un support pour le corps du rotor et une extrémité d'arbre qui est couplé à un demi-accouplement. Il est généralement construit en acier forgé ou moulé. Ses dimensions sont déterminées par les forces de flexion (force centrifuge exercée, attraction magnétique radiale, etc.), les forces radiales et tangentielles des forces centrifuges et les forces détonantes (couple électromagnétique transmis à l'état stationnaire, transitoire). Un ou plusieurs roulements sont utilisés pour le supporter. Le rotor est soutenu par ces roulements, qui permettent une rotation sans entrave. La dilatation thermique de l'arbre est assurée par le deuxième roulement, qui est libre. une méthode de séparation électrique. [9]

I.4 Types de Machines Multiphasées :

En raison du grand nombre de phases supérieures à trois qui peuvent être présentes dans le stator, deux types de machines multiphasées sont habituellement distingués selon que le nombre de

phases du stator est un multiple de trois (type 1 ou multi-tar, et type 2 comprend le reste des machines où le nombre de phases est impair), et nous considérons rarement les cas où le nombre de phases est un nombre pair. [11] [10]

I.4.1 Machines Multiphasées de Type 1 :

Les machines multiphasées de type 1 ont un numéro de phase multiple triphasé, ce qui leur permet d'être classées comme étoiles n triphasées : $q = 3i$ ($i=1, 2, 3, 4, 5\dots$). Les machines multi-tar sont un autre nom pour ses appareils.

Ce type de machine est distingué à plusieurs configurations possibles, à savoir pour un nombre donné de phases suivant le décalage angulaire α entre deux bobines adjacentes, en effet, une machine double étoile ($q = 6$) dont les étoiles sont décalées de $\alpha = \pi/6$ a des caractéristiques différentes de celles d'une machine dont les étoiles sont décalées de $\alpha = \pi/3$ [11] [12].

Pour pouvoir faire la différence entre les configurations possibles, on introduit un terme appelée le nombre de phases équivalent qui est défini comme suit :

$$q_\alpha = \frac{\pi}{\alpha} \tag{I.3}$$

Avec (α) désigne le décalage angulaire entre deux bobines adjacentes.

On illustre dans le tableau I.1 quelques exemples de machines multiphasées de type 1 [12]

| Nombre de phases (N_{ph}) | Nombre de phases ($N_{ph\gamma}$) | Décalage angulaire (γ)degré | Nom correspondant |
|-------------------------------|-------------------------------------|--------------------------------------|-------------------|
| 3 | 1.5 | 120 | Triphasée |
| 3 | 3 | 60 | Semi six-phasée |
| 6 | 3 | 60 | six-phasée |
| 6 | 6 | 30 | Semi 12-phases |
| 12 | 6 | 30 | 12 phases |
| 9 | 4.5 | 40 | 9 phases |
| 9 | 9 | 20 | Semi-18phases |
| 18 | 9 | 20 | 18 phases |

Tableau 1 :Machines Multiphasées de Type 1 (Multi-Etoile). [13]

I.4.2 Machines Multiphasées de Type 2

Si le nombre de phase statorique des machines multiphasées est impair et différent de trois (nombre de phases n'est pas multiple de trois.) donc, c'est le cas des machines multiphasées de

type 2. Dans ce type, les phases sont régulièrement décalées de $2\pi/q = 2\alpha$. On a donc toujours : [14]

$$q = q_\alpha = \frac{\pi}{\alpha} \quad (I.4)$$

Le tableau I.2 illustre quelques exemples de machines multiphasées de type 2

| Nombre de phases (N_{ph}) | Nombre de phases ($N_{ph\alpha}$) | Décalage angulaire (α) degré | Nom correspondant |
|----------------------------------|--|--|-------------------|
| 2 | 2 | 90 | Biphasée |
| 4 | 2 | 90 | Titra-phasée |
| 4 | 4 | 45 | semi-8phasée |
| 8 | 4 | 45 | 8-phases |
| 5 | 5 | 36 | 5- phases |
| 7 | 7 | 25.71 | 7- phases |
| 10 | 10 | 18 | Semi-10 phases |
| 11 | 11 | 16.36 | 10 phases |

Tableau 2 : Machines multiphasées de type 2 [13]

I.5 Applications des Machines Multiphasées

Dans les applications à haute puissance, les machines multiphases sont beaucoup plus courantes. Les pompes, les ventilateurs, les compresseurs, les usines de compression, les cimenteries et d'autres applications similaires en font partie [8]. Une autre application est l'utilisation de machines multiphases dans les systèmes de production d'énergie éolienne : la machine à double étoile génère de l'énergie à l'aide de deux systèmes triphasés reliés à un transformateur qui convertit les tensions des six phases en tensions réseau (Figure I.6) .[15]

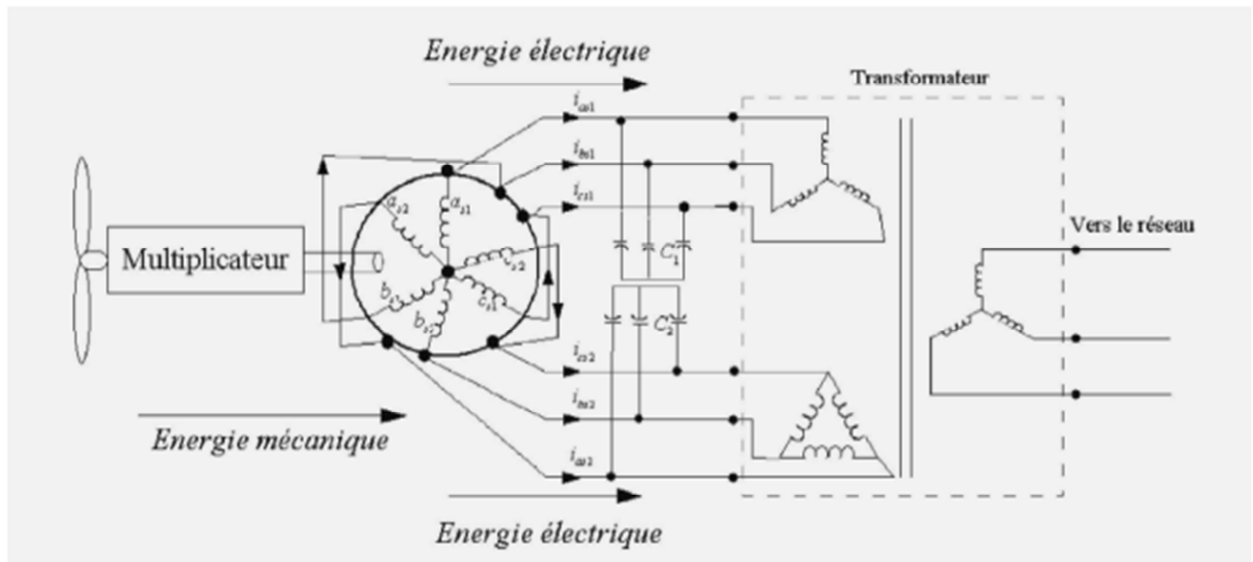


Figure I 6 : Exemple d'application d'une machine asynchrone de 6 phases.[15]

I.6 Les avantages et les inconvénients de la MASDE :

I.6.1 Les avantages des machines multiphasées :

Avantage de la MASDE La MASDE présente plusieurs avantages par rapport aux machines conventionnelles triphasées [16] [11]

- Segmentation de puissance
- Amélioration de la fiabilité
- Amélioration du facteur de puissance
- Minimisation des ondulations du couple et des pertes rotoriques.

I.6.2 Inconvénients des machines multiphasées

- L'augmentation du coût de l'ensemble convertisseur- machine : Le nombre de semi-conducteurs augmente avec le nombre de phases élevées [11].
- L'inconvénient majeur des machines double étoile est l'apparition de courants harmoniques de circulation lors d'une alimentation par onduleur de tension [11].
- la structure dynamique est fortement non linéaire et l'existence d'un fort couplage entre le couple et le flux présente un inconvénient, ce qui complique sa commande.
- L'augmentation du nombre de semi-conducteurs complique évidemment le système de commande. Il est nécessaire de développer des techniques de commande rapprochées pour les convertisseurs statiques spécifiés et adaptées pour les machines multiphasées de type 2, puisque

les méthodes élaborées pour les systèmes triphasés ne peuvent pas directement être appliquées aux systèmes à un nombre de phases impaires tel que (5 phases, 7 phases, etc.) [11]

I.7 Etude statistique des défaillances de la machine asynchrone :

Les défaillances peuvent être d'origines diverses, électriques, mécaniques ou bien magnétiques. Leurs causes sont multiples et peuvent se classer en trois groupes [17]:

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

- Les amplificateurs de défauts: surcharge fréquente, vibrations mécaniques, environnement humide, échauffement permanent, mauvais graissage, etc.

- Les vices de fabrication: défauts de fabrication, composants défectueux, protections inadaptées, mauvais dimensionnement de la machine, etc.

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

- thermique (surcharge)
- électrique (diélectrique)
- mécanique (bobinage)
- environnemental (agression)

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

- thermique (surcharge)
- électromagnétique
- résiduel (déformation)
- dynamique (arbre de transmission)
- mécanique (roulement)
- environnemental (agression).

Malgré le fait que plusieurs des études statistiques mentionnées ci-dessus ont été menées pour déterminer l'impact de chacun d'eux, il a mentionné le type d'erreur dans la fiabilité de la machine et ses proportions dans plusieurs publications. Par contre, les résultats varient beaucoup d'une étude à l'autre.

Les anomalies de grosseur sont les plus fréquentes, suivies par les défauts de stator, et enfin les dysfonctionnements de la cage du rotor, selon toutes les études.

Les causes de la défaillance de la machine sont illustrées à la figure 1.8 : En conséquence, la mécanique est la principale source de défauts; La surchauffe du moteur, qui accélère le vieillissement des composants, est la deuxième cause de défauts. La troisième justification est que les défaillances de l'isolant qui entraînent un court-circuit sont des défauts indiqués.[18]

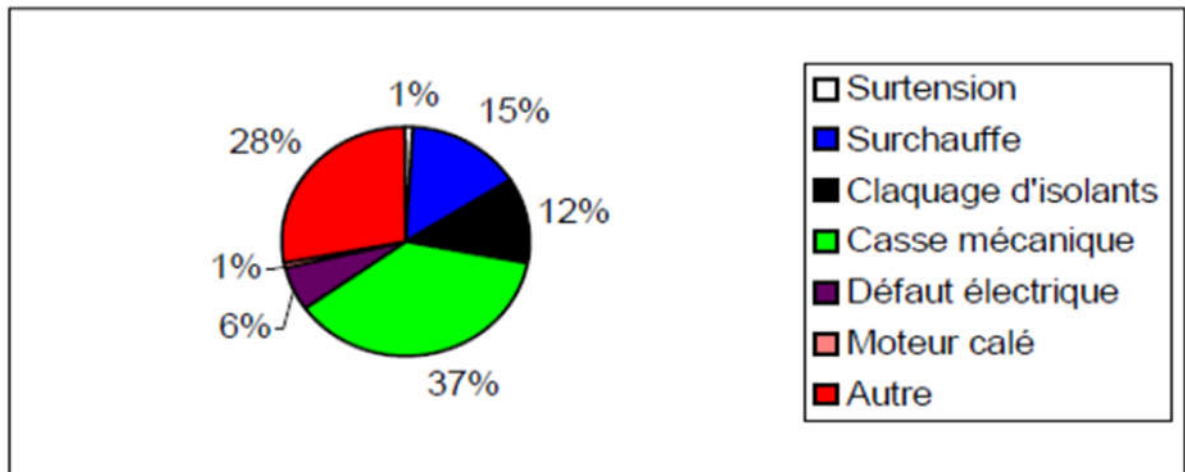


Figure I 7: Répartition des causes des défauts pour une machine asynchrone. [18]

I.7.1 Défauts statoriques:

Les défauts du stator sont en fait des défauts d'enroulement du stator, ce qui entraîne divers courts-circuits au niveau de l'enroulement du stator en raison de la dégradation de l'isolation électrique (surchauffe du moteur, surchauffe du moteur, vieillissement des composants, etc.) :

- Court-circuit entre phases statoriques.
- Court-circuit entre spires d'une même phase.
- Ouverture d'une phase.
- Défaut du circuit magnétique (ruptures de tôles).

La machine serait complètement arrêtée en raison du court-circuit entre les phases. Un court-circuit entre les bobines, d'autre part, provoque un déséquilibre de phase qui a un effet direct sur le couple électromagnétique. [19]

I.7.1.1 Défauts d'isolant dans un enroulement :

Des courts-circuits peuvent se produire si l'isolation dans les enroulements se détériore. En effet, diverses pertes (Joule, fer, mécanique, etc.) provoquent des phénomènes thermiques, qui élèvent la température des différents composants du moteur. Les matériaux isolants, quant à eux,

ont une température, une tension et une limite mécanique. Par conséquent, si l'environnement de travail d'un matériau isolant dépasse l'une de ces limites, le matériau isolant se dégrade prématurément ou plus rapidement et finit par ne pas remplir sa fonction.

Voici quelques-unes des causes possibles de ce type de défaut :

- 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, une surcharge. Ceci entraîne une élévation de la température dégradant prématurément le matériau d'isolation.
- vieillissement naturel 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. [20]

I.7.1.2 Un court-circuit entre spires de la même phase

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. Ainsi, chaque 10°C additionnel augmente la détérioration de l'enroulement deux fois plus rapidement que dans un fonctionnement à température normale [21]. Ce type de défaut provoque une détérioration de la machine. Il conduit à un déséquilibre de phases, ce qui perturbe les commandes développées. Un défaut de court-circuit est une connexion directe entre deux points du bobinage. [22].



Figure I 8: Court-circuit entre spire de la même phase. [1]

I.7.1.3 Court-circuit entre phases différentes :

L'apparition d'un court-circuit entre deux phases proches de l'alimentation provoquerait l'un des très forts courants qui fusionneraient les conducteurs. Un court-circuit quasi neutre, par contre, provoque un déséquilibre sans fusion des conducteurs. De plus, lorsque le défaut apparaît, les courants des barres sont amplifiés. [23]



(a) Court-circuit due à un rotor bloqué

(b) Court-circuit due à une surcharge

Figure I 9: Court-circuit entre phases. [1]

I.7.1.4 Court-circuit phase/bâti Le bâti :

Bien qu'il ait un potentiel flottant, il est souvent connecté à la masse en raison de connexions mécaniques. Un court-circuit entre le bobinage et le châssis n'a aucun effet matériel si le potentiel est flottant; toutefois, à l'exception des effets capacitifs, le châssis prend le potentiel du bobinage au point du court-circuit. Cependant, en termes de sécurité humaine, ce type de défaut peut être extrêmement dangereux, nécessitant l'installation de dispositifs de protection (disjoncteurs différentiels). [9]

La tension de la phase en question ne change pas lorsque ce type de défaillance se produit. Cependant, à mesure que la résistance et l'inductance sont réduites, le courant dans cette phase augmente. À mesure que le courant augmente, la température augmente, ce qui peut causer des défauts d'isolation dans l'enroulement. De plus, cette défaillance produira un composant homopolaire, qui apparaîtra comme un couple pulsé. Ce type de défaut a pu être détecté à l'aide d'une mesure de courant de fuite. [9]

I.7.1.5 Défaillances du circuit magnétique :

Les plaques de circuit magnétique sont normalement isolées les unes des autres, mais elles peuvent être court-circuitées par accident. Cette défaillance pourrait être causée par :[24]

- un court-circuit du conducteur, qui peut provoquer un chauffage local intense dans les feuilles.
- Les matières étrangères dans l'air peuvent causer l'abrasion et les courts-circuits de la tôle.
- Un grave défaut d'excentricité statique et/ou dynamique peut provoquer un fort contact stator-rotor, entraînant la destruction du circuit magnétique.

I.7.2 Défauts rotoriques

I.7.2.1 Ruptures de barres dans les machines asynchrones :

Une barre brisée ou brisée est l'un des défauts de rotor les plus courants. Elle peut se trouver à l'encoche ou à l'extrémité de la bague de court-circuit. La détérioration des barres abaisse la valeur moyenne du couple électromagnétique et augmente l'amplitude des oscillations, entraînant des oscillations de vitesse de rotation, des vibrations mécaniques et un fonctionnement anormal de la machine. La grande amplitude de ces oscillations accélère la dégénérescence de la machine. Par conséquent, le couple diminue considérablement à mesure que le nombre de barres brisées augmente, ce qui entraîne un effet de défaillance cumulatif. L'effet d'une barre brisée augmente de façon exponentielle à mesure que le nombre de barres brisées augmente. [25]

I.7.2.2 Ruptures d'anneaux :

La rupture de portion d'anneau est un défaut qui apparaît aussi fréquemment que la cassure de barres. Ces ruptures sont dues soit à des bulles de coulées ou aux dilatations différentielles entre les barres et les anneaux [9], Comme il est difficile de le détecter [26], Dans la recherche statistique, ce défaut est souvent associé, sinon confondu, avec la rupture des barres. Les courants véhiculés par ces zones de courts-circuits sont plus élevés que ceux véhiculés par les barres de rotor. En conséquence, un dimensionnement incorrect des anneaux, une détérioration des conditions de fonctionnement (température, humidité, etc.) ou une surcharge de couple et, par conséquent, des courants, peuvent provoquer leur défaillance. La rupture d'une section de l'anneau perturbe la distribution du courant dans les tiges du rotor, provoquant un effet de modulation d'amplitude sur les courants du stator qui est comparable à celui induit par la rupture. [9].

I.7.2.3 Excentricité statique et dynamique

- L'excentricité statique : correspond au cas où le centre de rotation de l'arbre du rotor n'est pas celui du centre géométrique du stator [27], [28].

La position de l'épaisseur minimale d'écart est fixée dans l'espace avec cette forme d'excentricité. Elle peut être causée par la partie interne du stator étant ovale ou par le rotor ou le stator étant installé incorrectement pendant le processus de construction. [29]

- L'excentricité dynamique : correspond à un centre de rotation du rotor diffère du centre géométrique du stator mais, de plus, le centre du rotor tourne autour du centre géométrique de ce stator [27], [30]. Dans ce type d'excentricité, le centre du rotor n'est pas en son centre de rotation et de ce fait la position d'épaisseur minimale d'entrefer tourne avec le rotor. Parmi les causes de ce type d'excentricité, on cite : la flexion de l'arbre du rotor, l'usure ou le défaut d'alignement du roulement. [29]

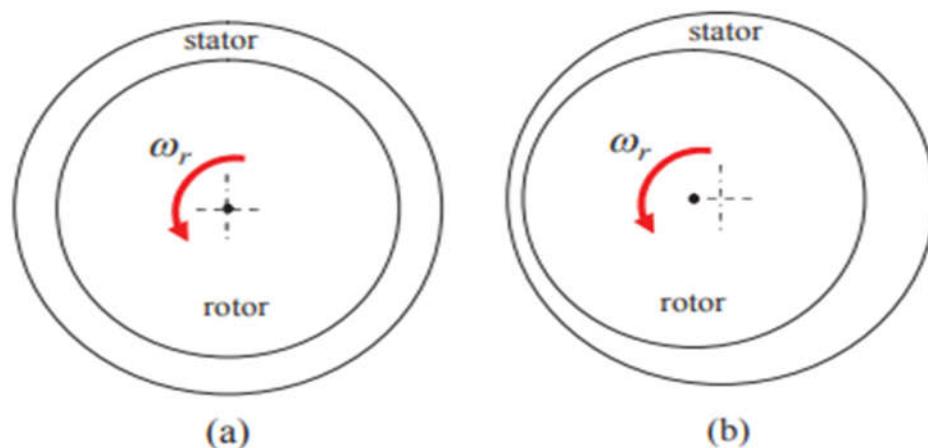


Figure I 10:Schématisation d'une excentricité statique, a) rotor centré, b) rotor excentré.[4]

I.7.3 Défaillances d'ordre mécanique :

Les défaillances mécaniques, en général, sont les plus courantes de tous les défauts Le dispositif asynchrone répond à. [31]

Ces défauts se situent généralement au niveau des boules, des lèvres ou des tiges Moteur tel que balourd et désalignement

I.7.3.1 Défaillances des roulements :

Les roulements à billes sont essentiels au fonctionnement de nombreux types de machines électriques. Une mauvaise sélection des matériaux tout au long du processus de fabrication peut entraîner des problèmes de roulement. Les perturbations dans la machine peuvent être causées par

des problèmes de rotation à l'intérieur de la tête de palier, qui sont causés par un roulement brisé, ébréché ou fissuré. Des courants électriques ont circulé dans les roulements d'une machine asynchrone, provoquant la dégradation des roulements. La graisse, qui permet de lubrifier les roulements et de les faire pivoter correctement, peut geler dans certaines circonstances, provoquant une résistance à la rotation. Ce type de panne peut être reconnu par l'analyse des vibrations de la machine ou l'analyse harmonique des courants du stator.. [31]



Fig. I.12 : Vue des roulements sains et défectueux (billes écorchées) [4].

I.7.3.2 Autres défaillances mécaniques :

Comme il n'y a pas de pièces mobiles dans le stator, il n'y a pas de défaillance mécanique a priori. Cependant, l'oxydation peut se produire dans l'environnement de la machine, notamment dans la salinité, affectant l'étanchéité et les contacteurs.

I.8 Présentation des différentes méthodes de diagnostic :

I.8.1 Diagnostic par l'analyse des courants statoriques :

La manière la plus populaire est d'analyser les courants de stator dans le domaine destator dans le domaine de fréquence puisque le spectre résultant contient des informations sur la majorité des problèmes électriques et magnétiques qui pourraient se produire dans une machine asynchrone. [32]

Nous savons déjà que la mesure de l'amplitude des composantes de fréquence caractéristiques dans le spectre actuel nous donne des informations sur l'état de la cage du rotor. Spectre de courant du stator lorsque la machine fonctionne avec un rotor sain et un rotor défaillant, par exemple (une barre brisée). L'amplitude de ces composantes a nettement augmenté, indiquant la présence d'un défaut de cage d'écureuil. [13] [32]

I.8.2 Diagnostic par l'analyse vibratoire de la machine :

Des accéléromètres installés sur les roulements dans les directions verticale, axiale et radiale peuvent être utilisés pour effectuer des études de vibrations sur la machine asynchrone. Les vibrations de la machine, en plus des courants, offrent des informations sur pratiquement tous les défauts mécaniques qui sont couramment rencontrés. Les composants de fréquence qui identifient les problèmes énumérés dépendent de la fréquence de rotation du rotor, comme nous l'avons découvert. Par conséquent, leurs signatures ne sont pas assez différentes les unes des autres. Leur utilisation créerait des problèmes de discrimination entre différents types de défauts. Les vibrations de la machine, par contre, semblent être des signes essentiels pour détecter un défaut ou un déséquilibre dans le rotor. [31]

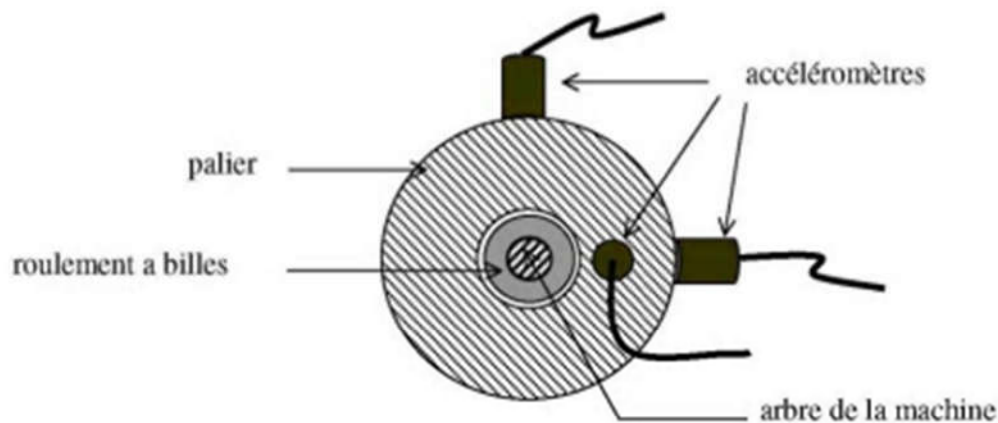


Figure I 11: Mesures vibratoires sur la machine asynchrone. [31]

I.8.3 Diagnostic par l'analyse des flux :

Le vide d'air est l'endroit où le transfert d'énergie électromécanique a lieu. Tout déséquilibre magnétique, mécanique, électrique ou électromagnétique au niveau du rotor ou du stator affecte cette conversion. Le débit d'air, le débit piégé dans les enroulements du stator et le débit de fuite dans l'axe du rotor sont tous des facteurs qui doivent être examinés en raison de leur susceptibilité à tout déséquilibre de la machine. [32]

I.8.4 Diagnostic par l'analyse du couple électromagnétique :

L'étude harmonique peut découvrir quelques défauts mécaniques dans le spectre du couple électromagnétique mesuré, qui est le résultat d'une interaction flux-courant. Ce couple peut être calculé en utilisant deux ou trois courants de stator ou un modèle physique de la machine. L'utilisation de ce signal pour détecter les défauts de charge pourrait être une option utile. Les

variations de couple de charge provoqueront en fait des changements dans le débit et le courant de la machine. De même, la torsion de l'arbre fait apparaître des harmoniques dans le spectre de couple. Les harmoniques des dents du rotor se développent à la suite de la dissymétrie électrique du rotor, modifiant l'espace d'air. Le problème peut alors être identifié en examinant les fréquences d'encoche dans les données estimées. [9]

I.8.5 Diagnostic par analyse de la température : La Thermographie

Les capteurs infrarouges peuvent détecter les points chauds où les températures dépassent les seuils prédéfinis. Un balayage complet de l'équipement électrique complet, y compris le moteur asynchrone, est effectué à cette fin. Les composants du système électrique sont soumis à une charge normale puisque les systèmes examinés sont en fonctionnement. En réalité, ils nous sembleront émettre plus ou moins sur l'image infrarouge, en fonction de leur travail, de leur conception, de leur charge et de leur substance. L'opérateur fait la distinction entre les températures de fonctionnement typiques et les anomalies. Leur conception, leur charge et leur matériau sont tous des facteurs importants. L'opérateur distingue les températures de fonctionnement normales des anomalies. Les anomalies étant géographiquement confinées, l'ajustement des propriétés de l'objet (émissivité, atmosphère, etc.) permet de calculer directement la température maximale enregistrée et éventuellement la surchauffe. Si le système ne fonctionne pas à pleine capacité, un calcul supplémentaire peut être effectué pour estimer la réduction de la surchauffe à un fonctionnement normal. On rapproche la surchauffe de la cinétique de détérioration et donc des degrés d'urgence en la calculant. Cette décision est cruciale car elle permet une localisation en temps réel et donc un contrôle plus facile des anomalies du traitement. Le défaut est enregistré dans une image infrarouge et une photo visible. A la suite de l'examen du spectrogramme obtenu, une détection serait possible, dans laquelle les zones et d'autres contrôles thermographiques.[44]

I.8.6 Diagnostic par les analyses chimiques

La majorité des moteurs sont refroidis à l'air ou sont refroidis en circuit fermé par un échangeur de chaleur refroidi à l'eau. Le monoxyde de carbone est produit par la détérioration de l'isolation électrique du moteur et peut être identifié à l'aide d'une approche d'absorption infrarouge. Dans certaines circonstances, l'huile de palier est testée régulièrement, et si des composés de dégraissage sont présents, une action est nécessaire. [44]

I.8.7 Diagnostic par l'analyse de la tension de neutre

Elle est basée sur l'exploitation du contenu spectral de la tension entre le neutre de la source d'alimentation et le neutre de la machine asynchrone. Cette méthode a démontrée son efficacité quant à la détection des défauts statoriques, ainsi que les défauts rotoriques. Cependant, l'utilisation de cette technique devient un peu compliquée dans le cas où le neutre de la machine est très loin par rapport à celui de la source. [45]

I.8.8 Diagnostic par l'analyse des tensions statoriques induites

En 1999 J. Milimonfared a proposé une autre technique pour la détection des défauts rotoriques dans les machines asynchrones. Cette technique, est basée sur l'exploitation du contenu fréquentielle de la tension induite par le flux rotorique dans les enroulements statoriques, pendant la déconnexion du moteur du réseau. La rupture d'une barre va affecter directement la tension induite dans les enroulements statoriques. Cependant, l'application de cette technique est impossible lorsqu'il s'agit d'un moteur appartenant à une chaîne de production.[45]

I.8.9 Diagnostic par l'analyse de la puissance instantanée

Il est clair que le niveau d'informations portées par le signal de la puissance est plus grand que celui donné par le courant d'une seule phase, ce qui représente l'avantage de cette méthode par rapport aux autres. Cette méthode est utilisée pour la détection des défauts mécaniques ou encore les défauts électriques tels que les courts-circuits entre spires statorique. Dans cette direction, M. Drif et al. ont démontrés l'efficacité de l'utilisation de la puissance apparente pour la détection d'un défaut d'excentricité [46].

I.9 Conclusion :

. Dans ce chapitre, nous avons discuté de certaines des erreurs qui peuvent accompagner les machines asynchrones, ainsi que des éléments constitutifs de la machine asynchrone double étoile en particulier et de la machine synchrone en général. Et d'aborder les mécanismes de diagnostic des erreurs en les détectant avant qu'elles ne surviennent. Dans le chapitre suivant, nous nous intéresserons à la modélisation d'une machine asynchrone double étoile basée sur la méthode des éléments finis

II CHAPITRE II: Simulation de la MASDE par la méthode des
éléments finis

II.1 Introduction :

la méthode à éléments limités (FEM) est devenue un outil commun et très utile et plus fiable. Ces outils numériques permettent au concepteur d'étudier des problèmes difficiles à résoudre au moyen de méthodes analytiques. [33]

La modélisation et la simulation de la machine asynchrone double étoile a fait l'objet de nombreux travaux, que ce soit dans le but de conception, de la commande ou le diagnostic. La diversité des objectifs a fait paraître plusieurs techniques de la modélisation et des outils de la simulation selon le domaine étudié.

Mais ces outils sont souvent trop spécifiques à une topologie ou à une machine bien déterminée. Il serait, cependant, intéressant de disposer d'un outil simple et générique, pouvant servir comme un banc d'essai pour les machines électriques [34].

Dans ce chapitre, nous intéressons, alors, à l'élaboration d'un modèle qui tient compte de la topologie, des dimensions ainsi que de la composition de la machine asynchrone double étoile, basée sur la méthode des éléments finis.

II.2 Méthode des éléments finis

Cette méthode se base non pas sur les équations électriques de la machine comme c'est le cas pour le schéma équivalent mais sur la résolution numérique des équations de Maxwell [35].

Les informations fournies par ce type de simulation sont d'une grande précision et elles nous apportent la prise en compte de la géométrie de la machine, l'effet de saturation des matériaux magnétiques, les effets d'harmoniques de l'espace ainsi que l'effet de peau dans les barre statoriques, lorsque le problème est correctement posé (géométrie, physique, lien avec les équations de circuit...) et que l'on utilise le mode de résolution adéquate (magnétostatique, magnétodynamique, magnétique évolutif). D'autre part, d'un point de vue pratique, il est très facile de faire varier les conditions de fonctionnement de la machine (fréquence et flux magnétisant), en modifiant, directement, les paramètres dans le programme du calcul (Logiciel) d'où une grande souplesse d'utilisation [36].

Dans les machines électriques les équations qui régissent le champ électromagnétique sont les équations de Maxwell associées aux relations constitutives du milieu considéré..

On les définit comme suit [36] :

- Les relations de couplage électromagnétique.

$$\overrightarrow{rot} \vec{H} = \vec{J} \quad (II.1)$$

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

➤ Les relations de la conservation des flux :

$$\text{div} \vec{E} = \rho \quad (II.3)$$

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

➤ La relation régissant les propriétés des matériaux magnétiques :

$$\vec{B} = \mu \vec{H} + \vec{B}_r \quad (II.5)$$

➤ La relation de la loi d'Ohm:

$$\vec{J} = \sigma \vec{E} \quad (II.6)$$

Où,

\vec{H} : Champ magnétique (A/m)

\vec{E} : Champ électrique (V/m)

\vec{B} : Induction magnétique (T)

\vec{B}_r : Induction rémanente des aimants (T)

\vec{J} : Densité de courant totale (A/m²)

μ : Perméabilité magnétique (H/m)

σ : Conductibilité électrique (Ω⁻¹m⁻¹)

II.2.1 Modèle employé

Selon les résultats escomptés et le temps de simulation dont on dispose, trois modes de résolutions peuvent être employé [34] :

II.2.2 Mode magnétostatique

Ce mode ne pourra donc être utilisé que pour simuler un instant donné d'un fonctionnement essentiellement à vide (sans courant induits) de la machine car il impose de connaître les valeurs des courants dans les différentes barres du rotor. On s'en servira essentiellement pour la détermination de l'inductance magnétisante du moteur. Dans ce mode les sources sont indépendantes du temps.

Le terme $\frac{\partial B}{\partial t} = 0$

Par conséquent, les équations du modèle deviennent:

$$\overrightarrow{rot}\vec{H} = \vec{J} \quad (II.7)$$

$$div\vec{B} = \quad (II.8)$$

$$\vec{B} = \mu\vec{H} + \vec{B}_r \quad (II.9)$$

La condition (2.8) permet de définir une fonction en vecteur potentiel A telle que:

$$\vec{B} = \overrightarrow{rot}\vec{A} \quad (II.10)$$

Pour que A soit totalement défini, il faut également fixer la valeur de sa divergence. On ajoute alors la condition $div(A) = 0$ appelée jauge de Coulomb. Qui vérifiée automatiquement l'unicité de la solution.

Par la substitution de (2.10) et (2.9) dans (2.7) nous obtenons l'équation électromagnétique en magnétostatique, exprimée par le système d'équations suivant :

$$\overrightarrow{rot}(v \cdot \overrightarrow{rot}\vec{A}) = \vec{J} + \overrightarrow{rot}(v \cdot \vec{B}_r) \quad (II.11)$$

Où

$v = 1/\mu$: est la réflectivité magnétique.

II.2.3 Mode magnétodynamique

Ce modèle s'applique aux dispositifs qui ont des sources du courant ou de la tension variant en fonction du temps.

Le terme $\frac{\partial B}{\partial t}$ n'est pas nul.

Et qui suppose la densité de courant sinusoïdale, et simuler en régime permanent. Ce qui permet d'obtenir des valeurs convenables du courant efficace. Ce mode pourra être utilisé pour étudier un schéma équivalent de la machine.

Le système à résoudre est le suivant:

$$\overrightarrow{rot}(v \cdot \overrightarrow{rot}\vec{A}) + \vec{J}\omega\sigma\vec{A} = \vec{J} \quad (2.12)$$

$\omega = 2\pi f$: pulsation électrique (rad.s^{-1}), j : unité imaginaire ($j^2 = -1$).

II.2.4 Mode magnétique transitoire :

Est le plus complet. Il transfère correctement la rotation du moteur. Étant donné que l'alimentation est en courant transitoire dans ce scénario, l'ensemble antérieur d'équations caractéristiques doit être traité étape par étape dans le temps.

Donc le système à résoudre est le suivant :

$$\overrightarrow{\text{rot}}(\nabla \cdot \overrightarrow{\text{rot}}\vec{A}) + \sigma \frac{\partial A}{\partial t} - \overrightarrow{\text{rot}}\vec{B}_r + \sigma \overrightarrow{\text{grad}}V = 0 \quad (\text{II.13})$$

Logiciel de résolution

Les logiciels à éléments finis modernes sont souvent à structure modulaire où les différentes étapes de résolution [36]:

- Introduction des données géométriques et des propriétés physiques.
- maillage.
- résolution.
- exploitation des résultats. Sont séquentiellement exécutées.

Les modules associés à ces tâches doivent pouvoir être séparément accessibles. Ainsi, une géométrie discrétisée pourra servir à traiter plusieurs cas où seules les sources d'excitation ou les conditions aux limites sont modifiées. Lors d'une optimisation de formes, l'utilisateur doit également pouvoir faire varier un paramètre géométrique sans devoir refaire le maillage ou réintroduire les conditions aux limites.

Toutefois, en utilisant une Méthode des Eléments Finis conventionnelle, il serait difficile de calculer les performances de la machine tenant compte à la fois des courants de Foucault induits dans les conducteurs massifs, des non-linéarités des matériaux magnétiques et des sources externes.

C'est dans cette perspective que nous avons opté pour une nouvelle formulation, mieux adaptée pour notre problème : il s'agit d'une méthode dite directe permettant de résoudre.

Simultanément les équations couplées du champ magnétique et des circuits électriques. Cette formulation est implantée dans le logiciel d'éléments finis Flux-2D.

II.3 Logiciel FLUX-2D

Il s'agit d'un programme de modélisation d'éléments limités qui prend en compte les phénomènes magnétiques et thermiques et permet des systèmes évolutifs. En conséquence, c'est un logiciel qui est parfaitement adapté à nos exigences. Nous ne nous attarderons pas sur son fonctionnement car les tutoriels sont bien conçus et ce n'est pas le but. [15].

Le programme calcule et visualise les valeurs pertinentes pour les ingénieurs pour les dispositifs de révolution bidimensionnels ou symétriques faits de matériaux aux propriétés linéaires ou non linéaires, isotropes ou non. C'est un programme complet avec l'avantage de permettre la liaison avec des équations de circuit ainsi que l'inclusion d'une région de surface spécifique appelée

«bande de roulement» pour l'étude des machines rotatives avec des emplacements de rotor variables sans avoir à ajuster la géométrie et le maillage. [15].

La résolution d'un problème fait appel à des modules spécialisés [15]:

II.4 Module pré-processeur

permet de déterminer l'ingénierie du dispositif à étudier (PREFLU), pour la sélection et/ou la conception d'une banque de matériaux (CLSMAT), l'identification des caractéristiques physiques de différents domaines d'ingénierie prédéfinis (PROPHY), la description des circuits électriques et/ou des données (CIRFLU). Il permet également le réseau automatique pour la forme bidimensionnelle (PREFLU).

II.4.1 Module processeur

Constitué principalement d'un module de résolution 2D (SOLVER_2D) des différents modèles usuels de l'électromagnétisme et des problèmes thermiques.

II.4.2 Module post-processeur de Flux-2D(PostPro_2D)

Permet, entre autres, de tracer les équipotentielles ou les lignes de flux, le maillage, la géométrie et les courbes 2D ou 1D selon un chemin prédéfini. Il permet aussi de calculer des grandeurs globales telles que le couple ou la force appliqués à un contour fermé, les inductions, les flux, les inductances, etc.

De façon générale, l'enchaînement des programmes de Flux-2D, doté d'une interface de Windows est schématisé par la figure(II.1).

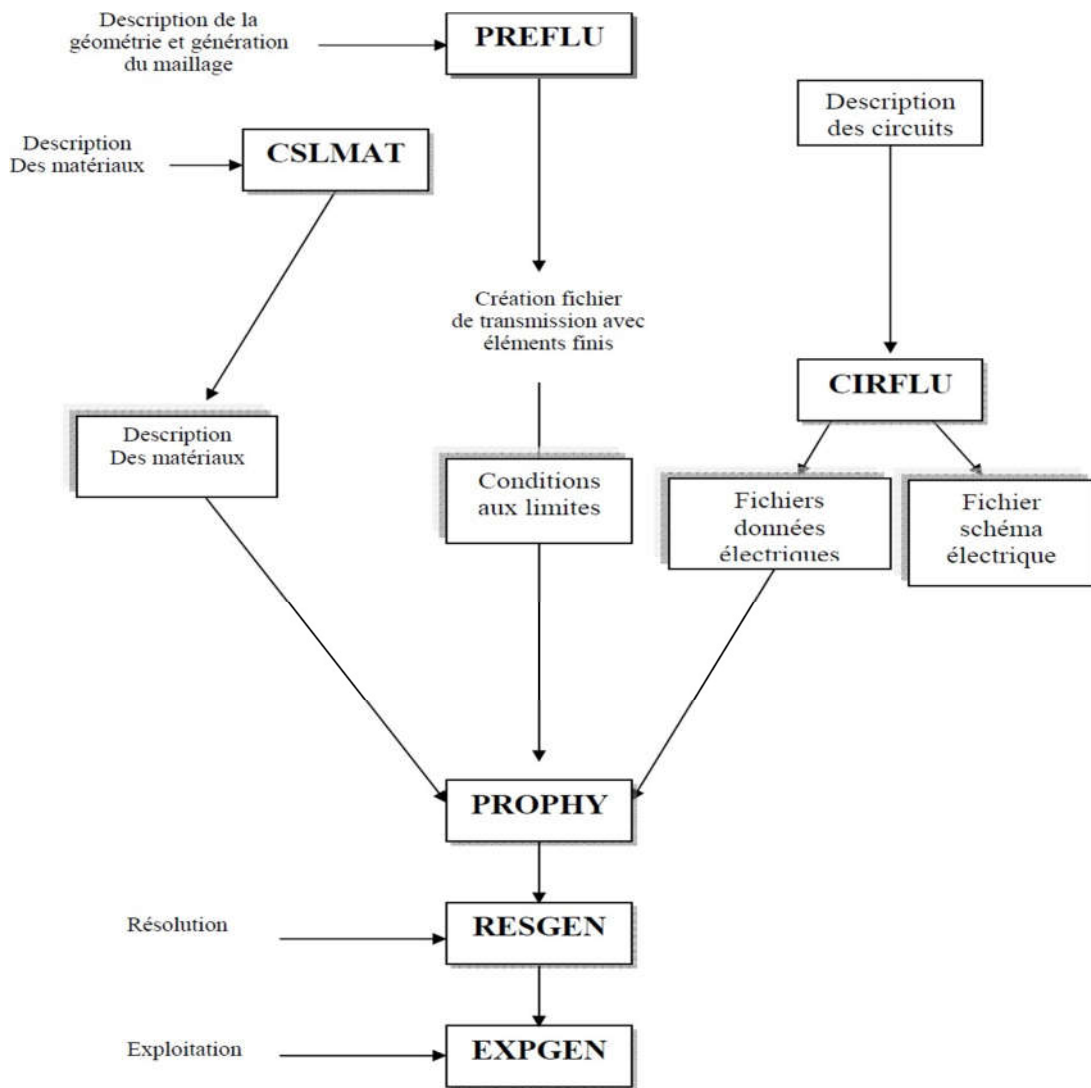


Figure II 1 : Schéma des différents modules du logiciel Flux-2D

Bien que le logiciel de flux sera utilisé en 2D, l'inclinaison des encoches et les conséquences finales nécessiteront une présentation 3D pour un examen précis. Les motifs de cette décision sont clairs. [35]:

- Le temps de simulation est bien plus long en 3D qu'en 2D.
- L'influence de l'inclinaison des encoches n'est pas le but principal de notre étude.
- Les effets d'extrémités sont modélisés par des inductances et résistances calculées de façon analytique. Cette méthode semble relativement précise si l'on la compare à des simulations sous Flux3D.

II.5 Application à la simulation de la MASDE

On obtient une machine asynchrone double étoile à partir de la bobinage de la machine asynchrone qui a les caractéristiques suivantes :

| Partie | Paramètre | Valeur | Unité |
|---------|---------------------------|--------|--------|
| Machine | Puissance nominale | 7.5 | kW |
| | Tension nominale | 380 | V |
| | Vitesse nominale | 2898 | tr/min |
| | Nombre de pôles | 2 | |
| | Fréquence | 50 | Hz |
| | Longueur active | 125 | mm |
| Stator | Nombre de phases | 3 | |
| | Type de connexion | Y | |
| | Nombre d'encoches | 24 | |
| | Diamètre interne | 120 | mm |
| | Diamètre externe | 212 | mm |
| Rotor | Diamètre externe | 119 | mm |
| | Diamètre interne | 40 | mm |
| | L'épaisseur de l'entrefer | 0.5 | mm |
| | Nombre de barres | 20 | |

Tableau II 1 : Caractéristiques statoriques et rotoriques de la machine asynchrone.

La forme et les dimensions des encoches de stator et de rotor sont montrées sur la figure II.2.

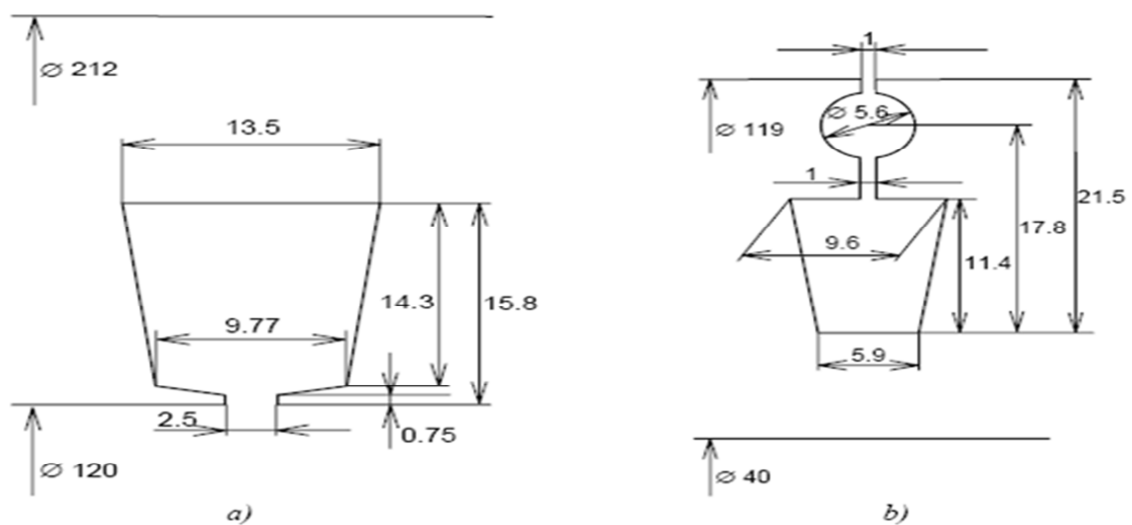


Figure II 2 : Dimension des encoches, a) l'encoche statorique, b) l'encoche rotorique

L'enroulement de stator de la machine asynchrone est un enroulement à deux-couche, avec pas raccourci de 8/12 et de $W_{MAS}=208$ tours par phase.

Pour obtenir une machine asynchrone double étoile à la même puissance que la machine asynchrone, on divise le nombre de spires à deux et la tension nominale aussi à deux pour garder le même courant nominal.

$W_{MASDE} = 104$ tours par phase. $V_n=190$ V.

Donc l'enroulement de stator de la MASDE est un enroulement à quatre-couche, (Fig.II.3), avec nombre des pires de $W_{MASDE} = 104$ tours par phase. [15].

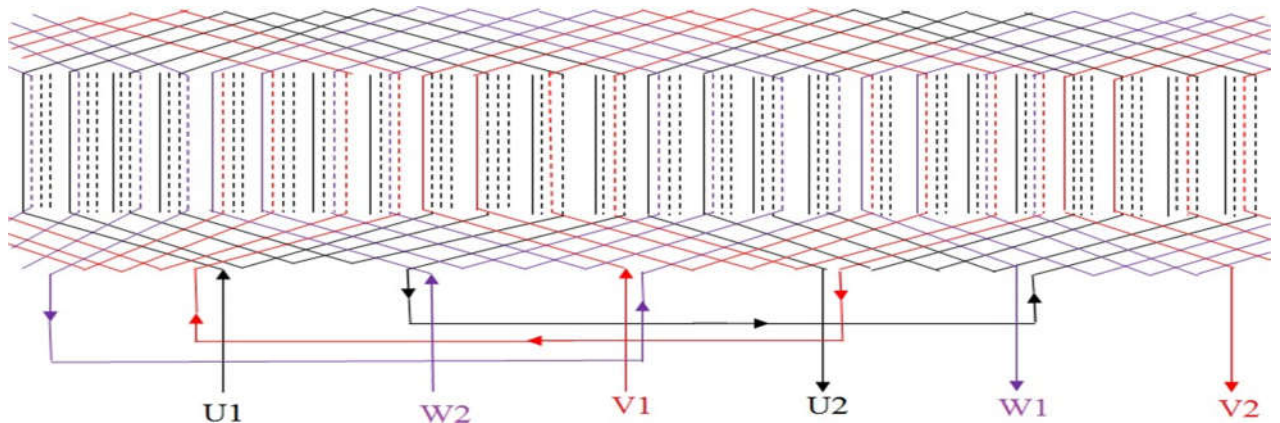
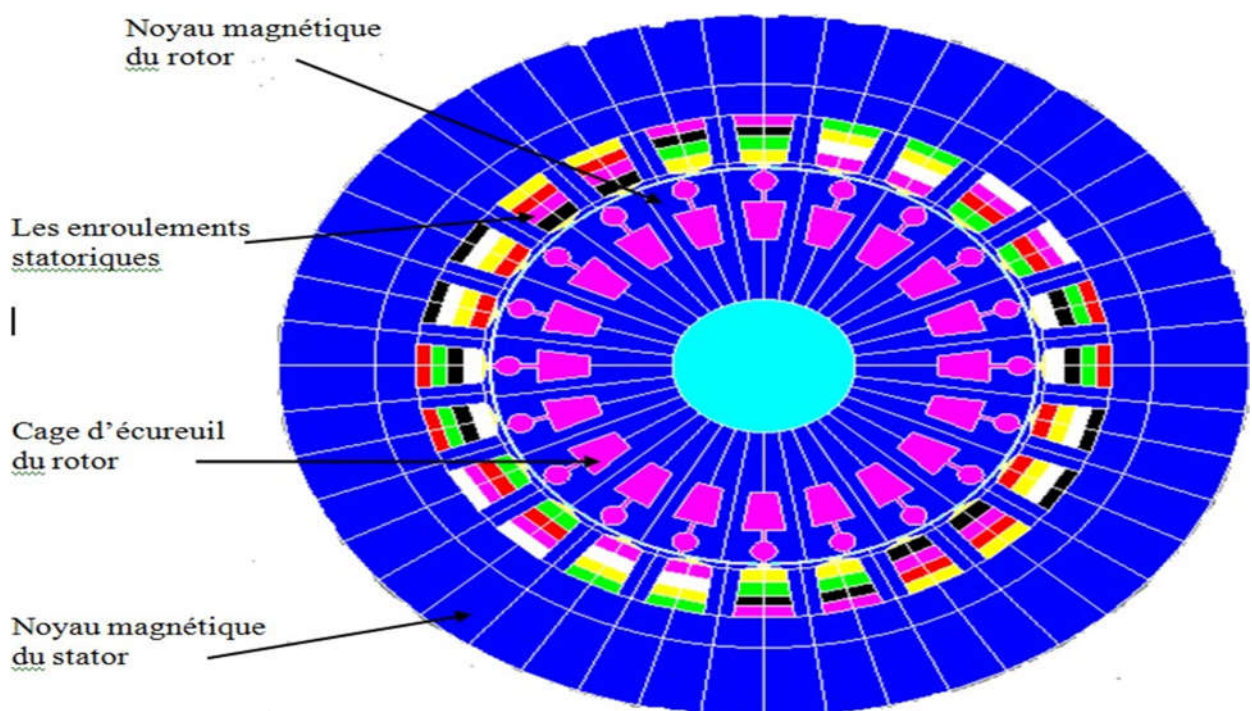


Figure II 3 : Bobinages statoriques de l'étoile 1 de la MASDE

Même chose pour l'étoile 2, mais avec un décalage de deux encoches.

La figure II.4 représente le maillage effectué sur le circuit magnétique de la machine.



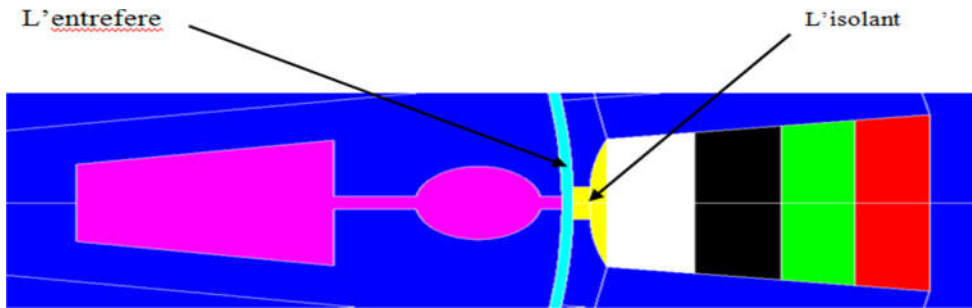


Figure II 4: représente le maillage effectué sur le circuit magnétique de la machine

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

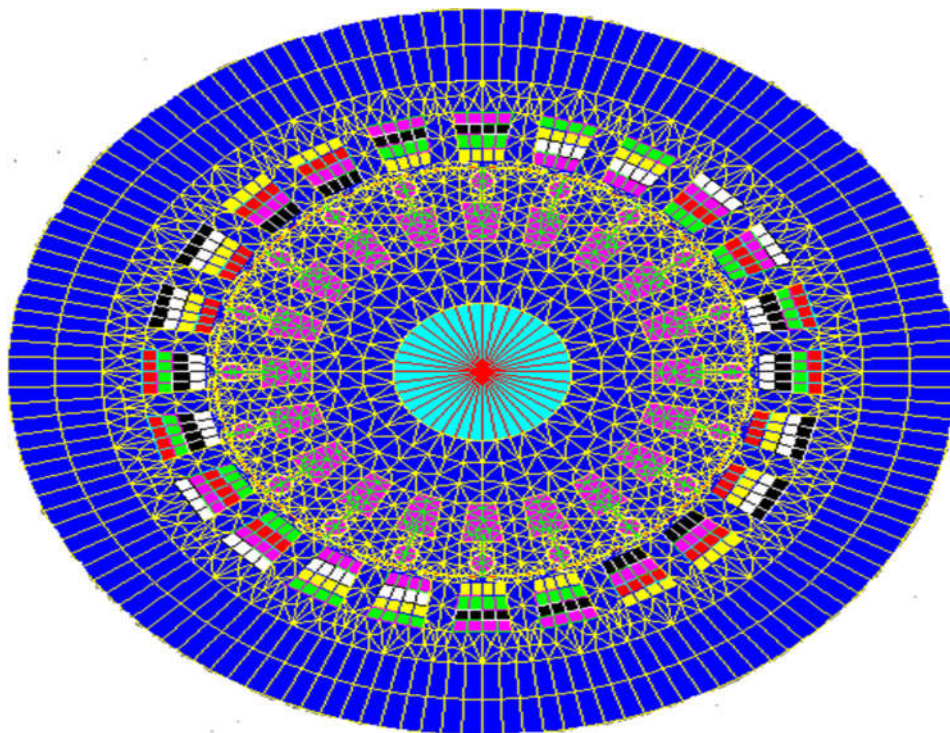
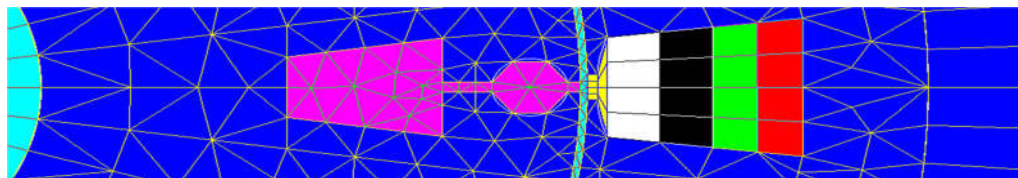


Fig.III.8.L'induction magnétique.

Le maillage est plus dense au voisinage de l'entrefer puisque dans cette région se développe l'énergie électromagnétique. Par contre le maillage est plus grossier vers l'arbre et vers

L'extérieur de la culasse pour alléger les temps de calcul sans perte sensible d'information. La carcasse externe de la machine étant conductrice et généralement reliée à latere.

Matériaux conducteurs

Pour les conducteurs de stator, on supposera qu'ils sont répartis uniformément dans les encoches, et la résistivité du cuivre à une certaine température d'enroulement, le gonflement et le nombre de bobines par encoche seront attribués à cette région. Nous utiliserons la résistivité de l'aluminium à une température donnée au niveau du rotor. [35].

Matériaux magnétiques

Pour ce qui est des propriétés magnétiques des matériaux ferreux, on prendra en compte lanon- Linéarité des caractéristiques B(H). (Tableau II.3)

| H [A/m] | B[T] | H[A/m] | B[T] | H [A/m] | B[T] | H[A/m] | B[T] |
|---------|------|--------|------|---------|------|--------|------|
| 0 | 0 | 2000 | 1.61 | 7000 | 1.83 | 40000 | 2.14 |
| 300 | 0.66 | 3000 | 1.69 | 8000 | 1.85 | 50000 | 2.16 |
| 500 | 1.09 | 4000 | 1.73 | 10000 | 1.89 | 60000 | 2.18 |
| 1000 | 1.45 | 5000 | 1.76 | 20000 | 2.04 | 70000 | 2.19 |
| 1500 | 1.56 | 6000 | 1.79 | 30000 | 2.11 | / | / |

Tableau II 2 : B(H) du matériau magnétique STEEL_NLIN [15]

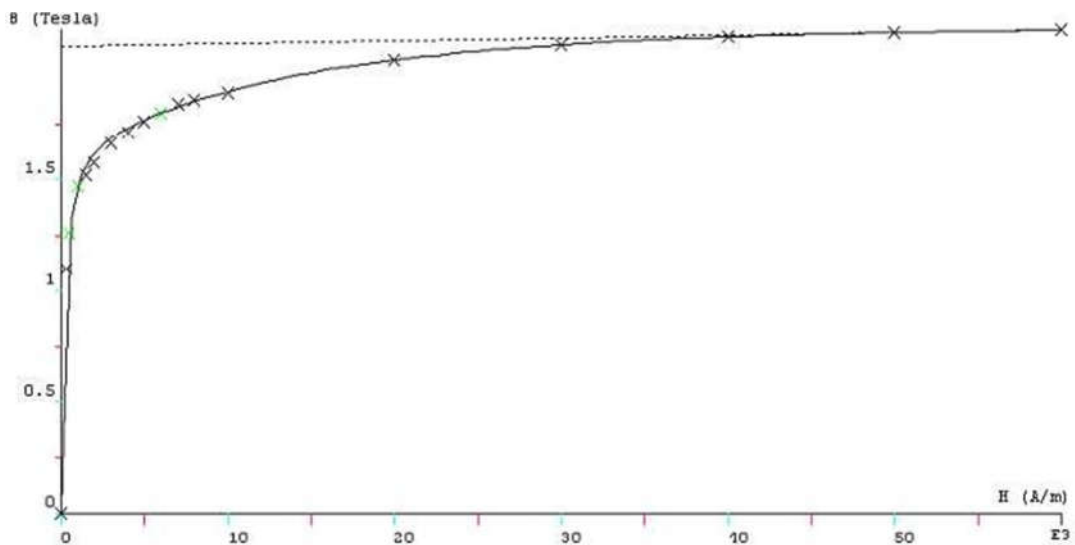


Figure II 5: Caractéristiques B(H) du matériau magnétique STEEL_NLIN

II.6 Couplage avec les équations de circuit

Pour représenter fidèlement le moteur, il faut tenir compte des effets d'extrémités (inductance, résistance de tête de bobine et d'anneau de court circuit).

Le circuit électrique, (Fig. II.8),représentant : les sources de tension d'alimentation ($V_U, V_V, V_W, V_{U1}, V_{V1}, V_{W1}$), Les bobinages statoriques ($B_U, B_V, B_W, B_{U1}, B_{V1}, B_{W1}$), les Inductances de fuite, ($L_U, L_V, L_W, L_{U1}, L_{V1}, L_{W1}$), les résistances de chute de tension dans le réseaux ($R_U, R_V, R_W, R_{U1}, R_{V1}, R_{W1}$), les résistances des voltmètres pour mesurer les tensions statoriques ($R1, R2, R3, R4, R5, R6$).

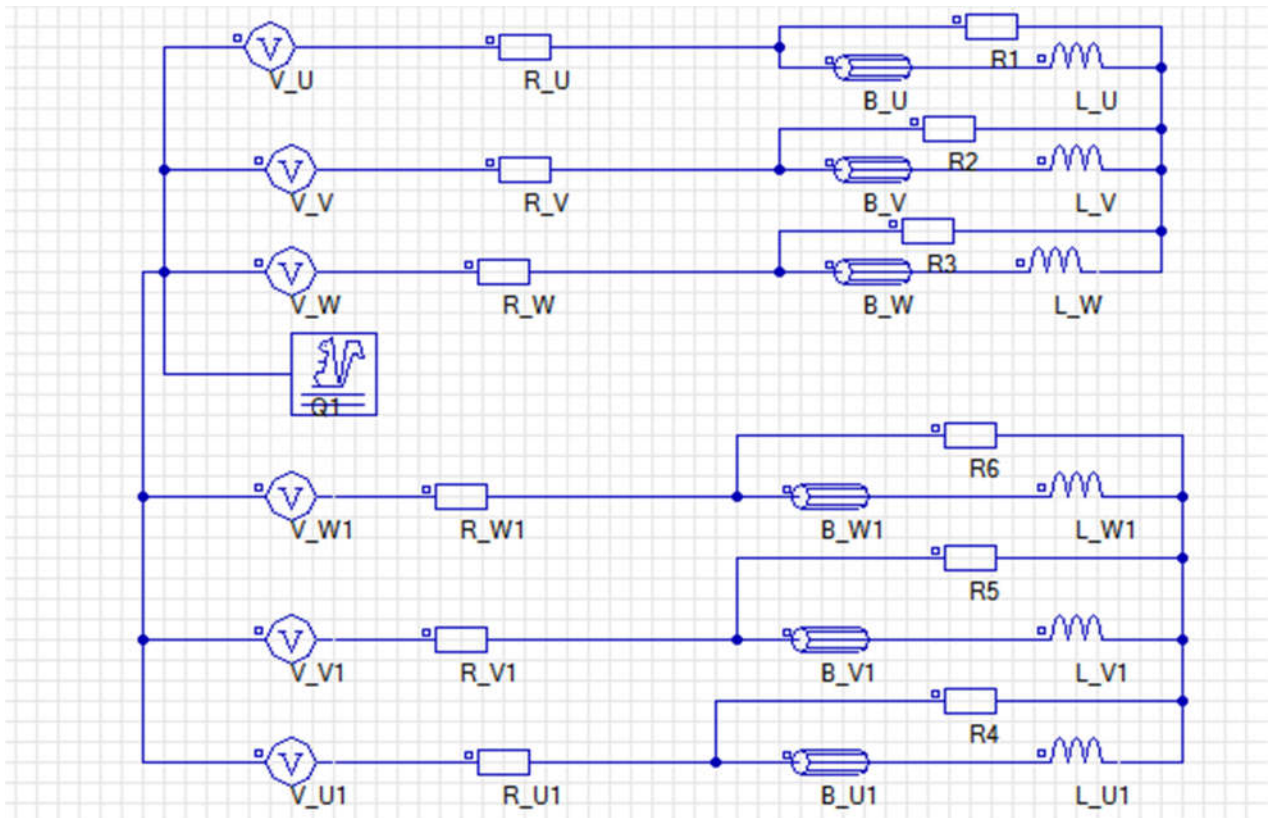


Figure II 6 : Circuit représentant les effets d'extrémités liés à la géométrie.

Q1 : est un macro-circuit (un dispositif du logiciel Flux 2D[®]) utilisé pour modéliser la cage d'écuréuil de la machine, c'est un circuit fermé contient des barres rotoriques

(Fig.II.8) : Barre (bark), résistances (R_{ik}), inductances de fuite ($L_{\sigma ik}$), correspondent aux régions d'inter-barre d'annaux de court-circuit (arcs entre deux barres adjacentes).

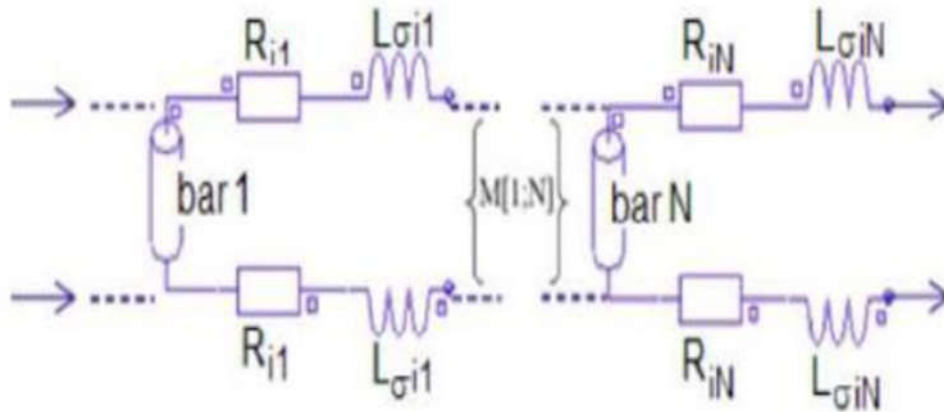


Figure II 7: Circuit équivalent de la cage d'écureuil.

Ce lien est utilisé depuis les simulations destinées à recréer les variables du moteur lors d'une opération de charge. Les courants générés par le rotor ne seront plus ignorés comme ils l'étaient auparavant, rendant nécessaire la modélisation des circuits de la cage. De plus, cette méthode permet une mise en tension directe du moteur plutôt qu'un fonctionnement continu, comme cela serait nécessaire sans l'accouplement. [37].

II.7 Résultats de simulation

Indépendamment des nombreuses approches numériques utilisées, la modélisation du régime magnétodynamique dans les machines reste un défi difficile en raison de la présence de mouvement relatif du rotor par rapport au stator, ce qui rend le couplage magnétique problématique. [38]. Le calcul électromagnétique du MASDE en mode transitoire est présenté ci-dessous.

II.7.1 Fonctionnement à vide

Les figures II.9 montrent l'évolution des valeurs locales (lignes de champ magnétique, induction magnétique) et des quantités globales à vide à une tension nominale de 190 V. (courants, couple électromagnétique, vitesse, puissance).

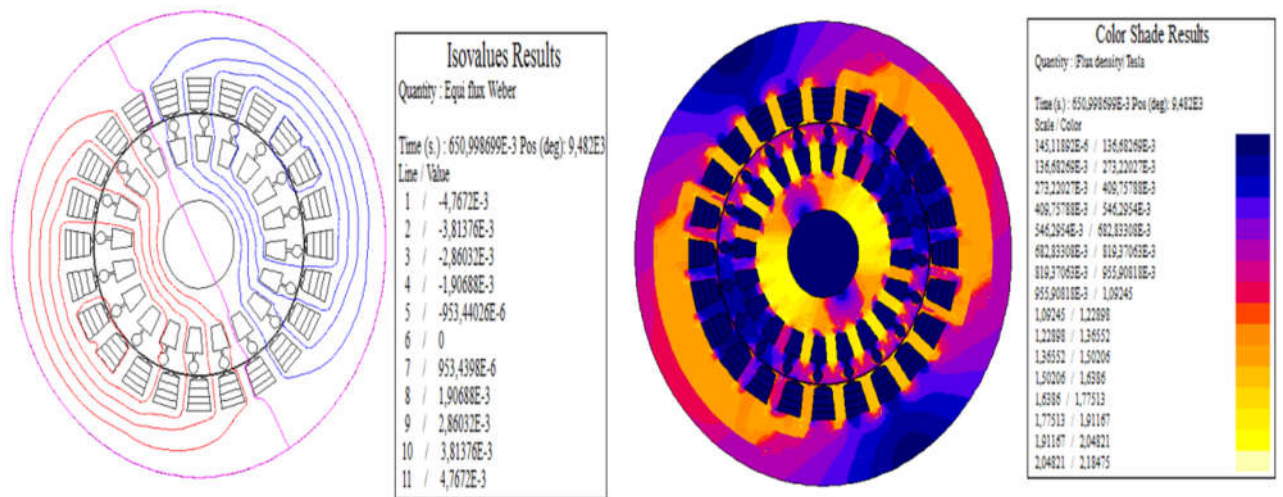


Figure II 8 : Lignes du champ magnétique et l'induction magnétique à vide à $t = 0.65s$.

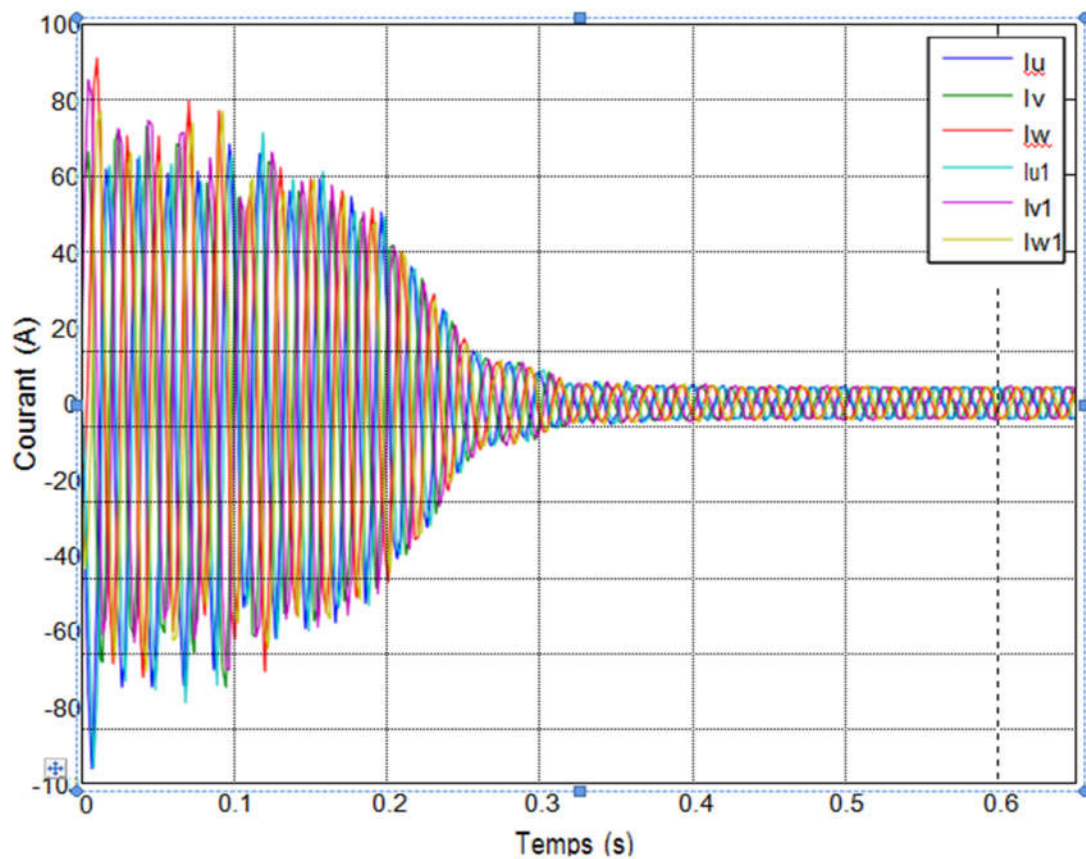


Figure II 9: Courants statoriques à vide.

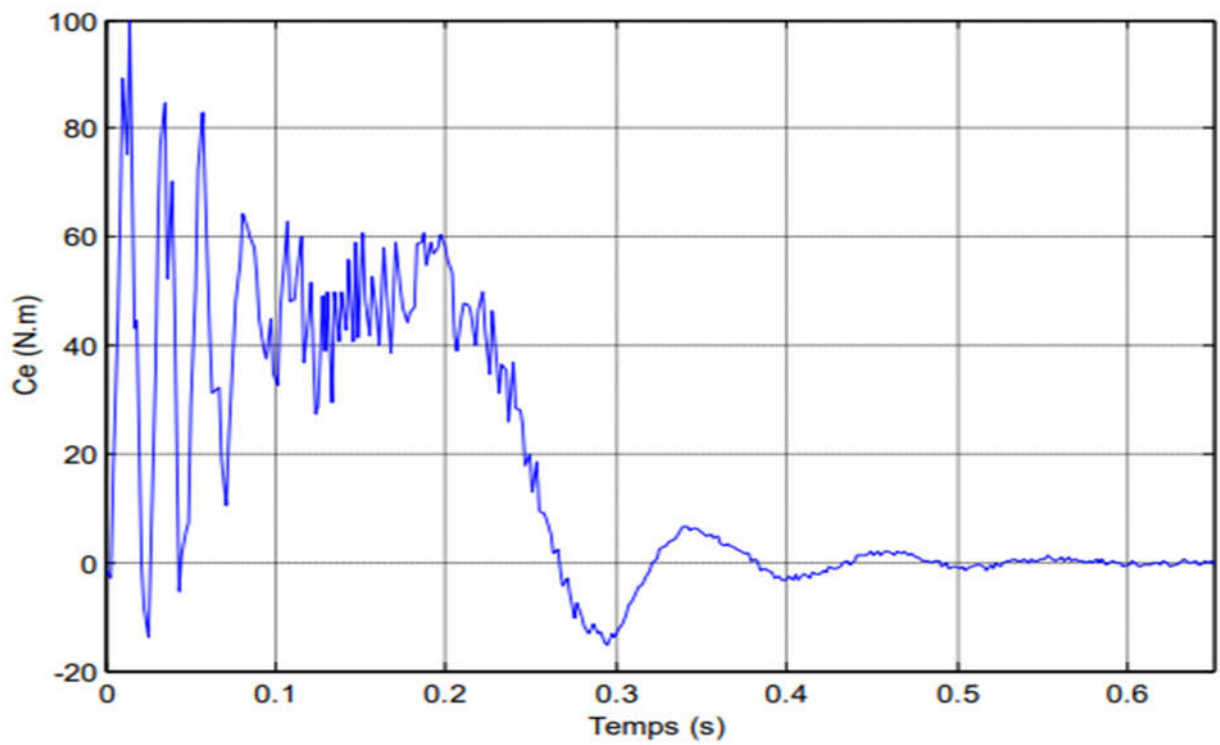


Figure II 10:Couple électromagnétique

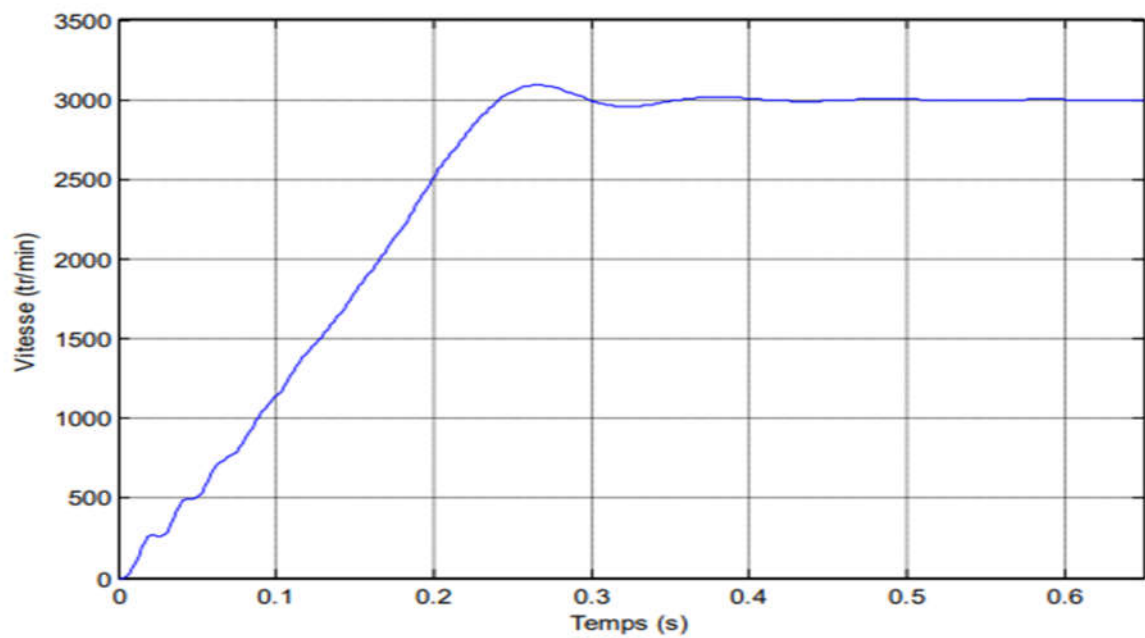


Figure II 11:Vitesse de rotation.

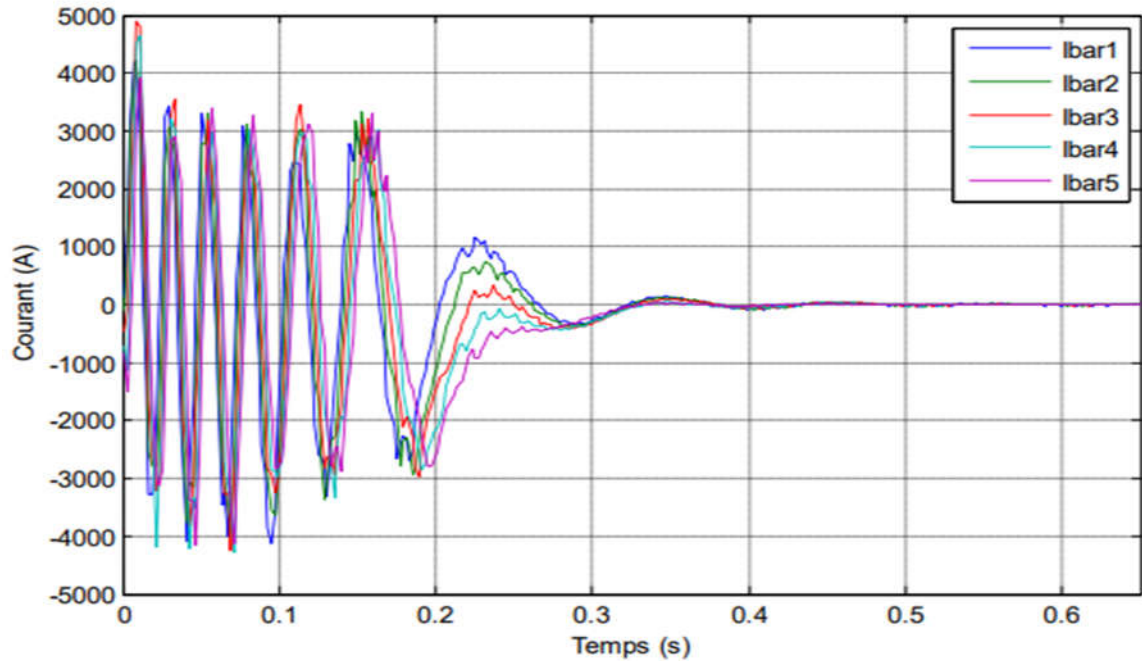


Figure II 12: Courants rotoriques à vide.

Après une vitesse transitoire d'environ 0,4 s (Figure. II.11), au cours de laquelle la machine magnétise, les courants du stator s'approchent d'un état stable avec une valeur effective de 3,61 A. Les trois courants d'une étoile sont électriquement hors phase de 120° , alors que les deux systèmes de courant sont électriquement déphasés de 30° . Donc on découvre le comportement équilibré de la machine, mais à une forme d'onde qui n'est pas exactement sinusoïdale. Ceci est principalement dû aux effets de la saturation de la machine et de l'encochage. À l'état stable, le couple électromagnétique du vide est presque négligeable (Figure. II.12). Les lignes de champ magnétique et l'induction à $t = 0,65$ s (Figure. II.10) indiquent le couplage des lignes de champ à l'intervalle d'air

II.7.2 Fonctionnement en charge

Sous la même tension (190v), nous avons présenté sur les Figures II.14, les caractéristiques de la machine en régime nominal.

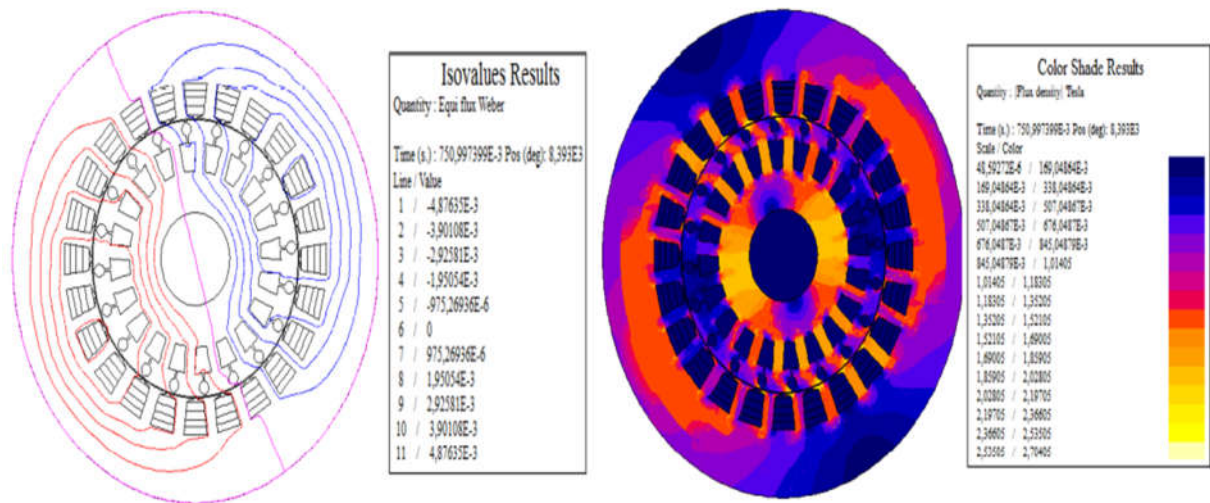


Figure II 13: Lignes du champ magnétique et l'induction magnétique en charge à $t = 0.75$ s.

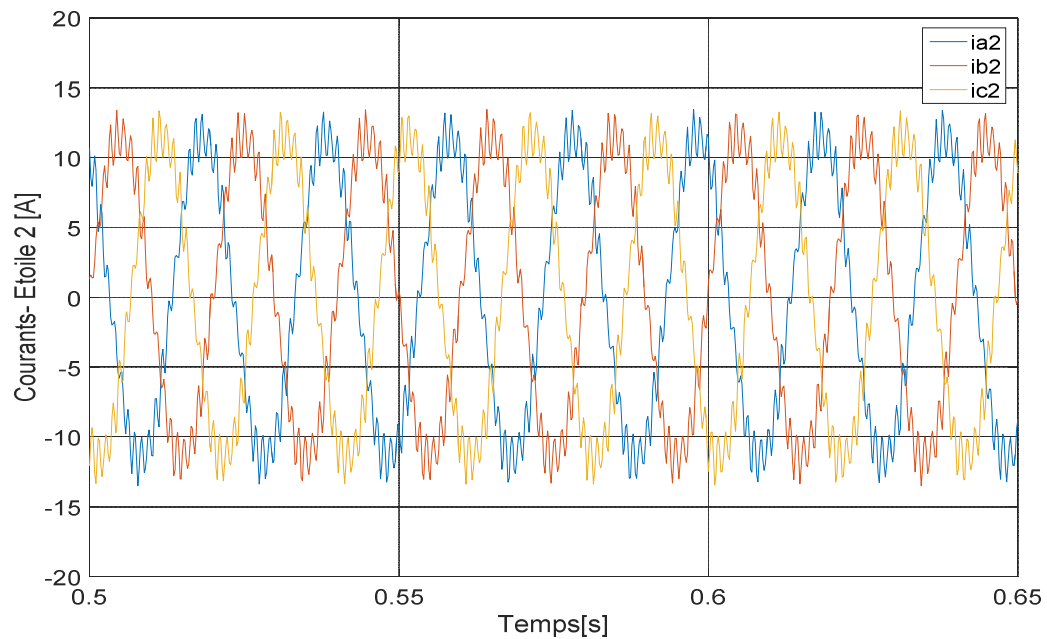


Figure II 14: courant de phase statorique étoile 1 dans la machine a saine

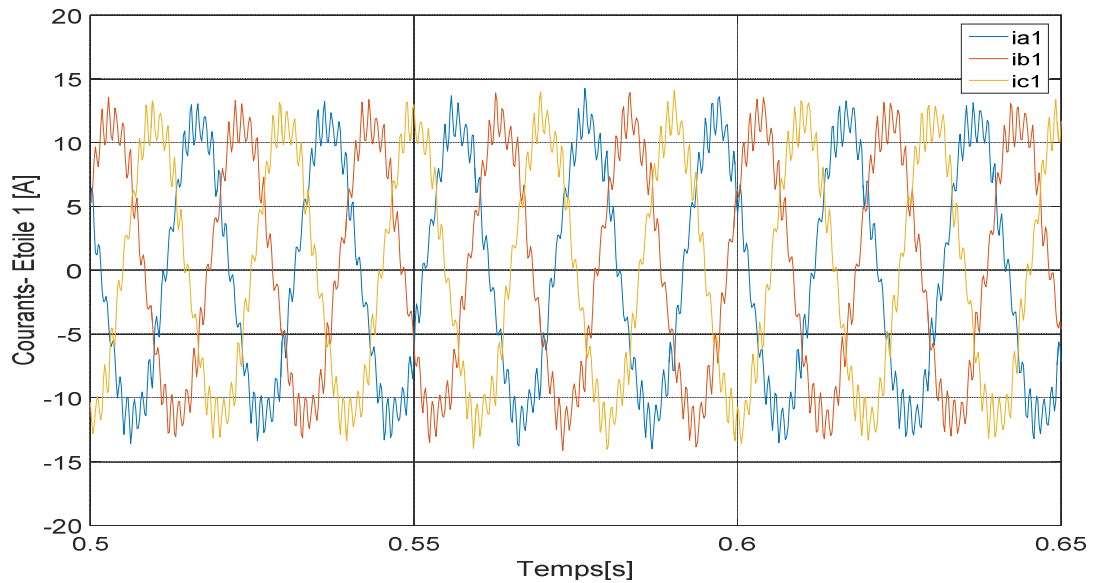


Figure II 15: courant de phase statorique étoile 2 dans la machine a saine

Les courants du stator des étoiles 1 et 2 s’approchent de la vitesse d’équilibre avec une valeur efficace de 13 A. Comme les trois courants de phase sont décalés de 120 degrés l’un par rapport à l’autre, la machine se comporte sans à-coups.

La figure III.17 montre les courants dans les barres. Dans notre enquête, le courants effectif dans une barre est de 4490 (A) et la fréquence est de $(1-g)*f_s/p$.

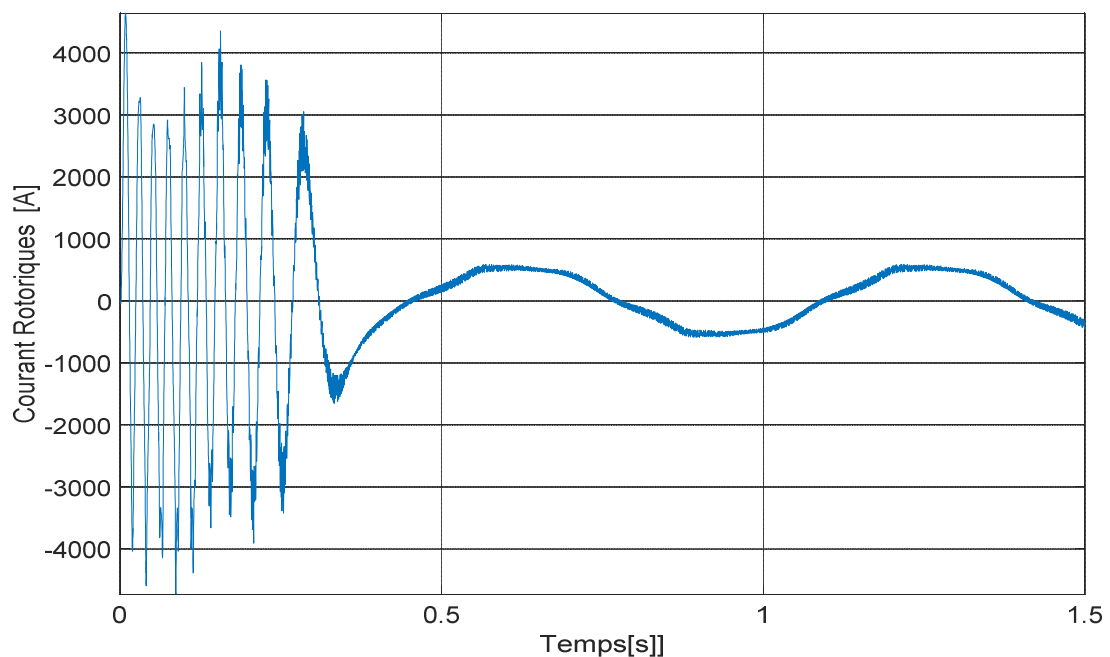


Figure II 16 : courant rotoriques de MASDE , dans la machine saine

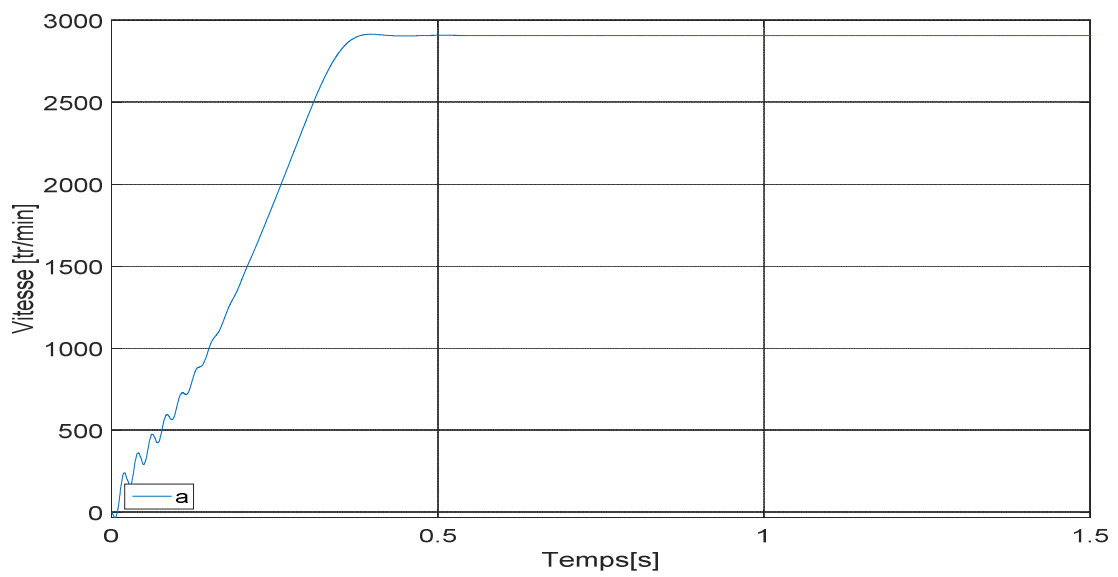


Figure II 17 : Vitesse rotoriques de MASDE , dans la machine saine

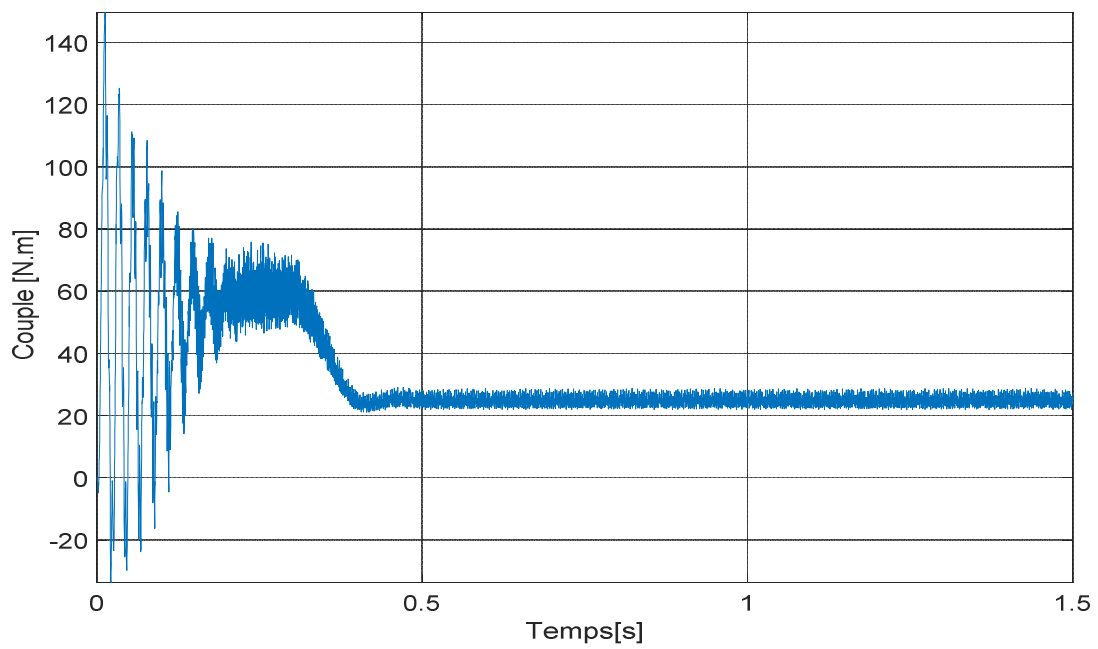


Figure II 18 : couple rotoriques de MASDE , dans la machine saine

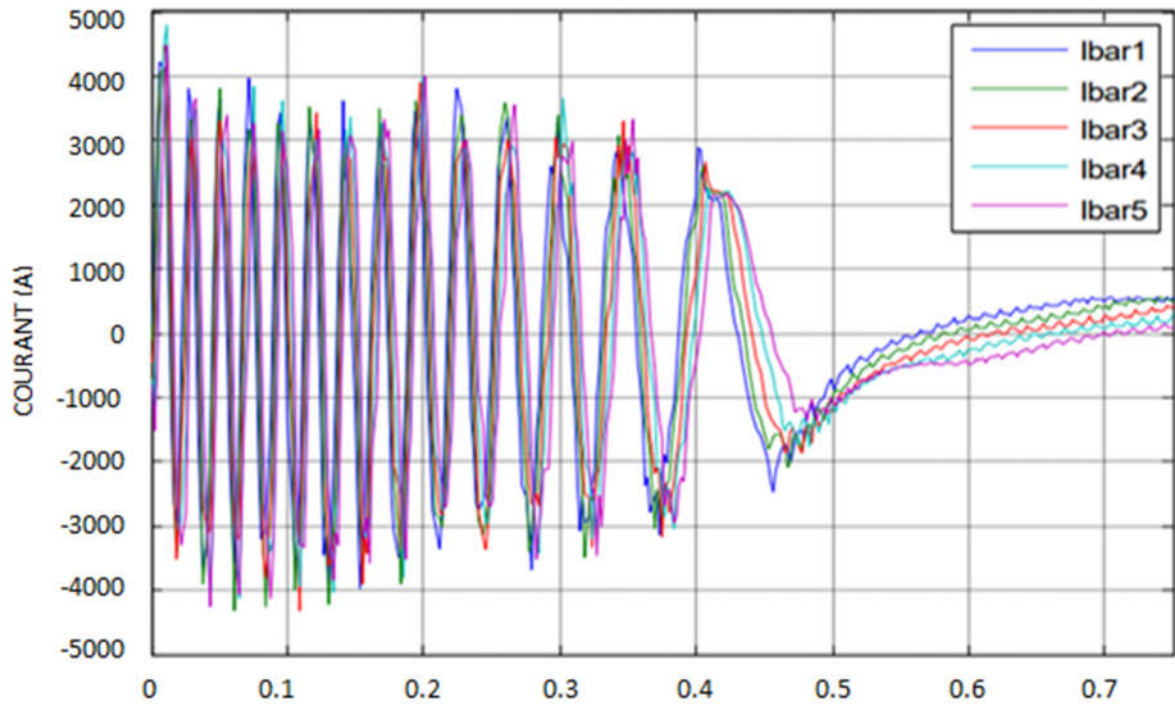


Figure II 19: Courants rotatifs en charge dans les barres 1,2...5.

A vitesse nominale, l'effet de saturation sur l'absorbant de la machine est moins clair (figure.II.18).

Pendant le calcul de la vitesse transitoire, le couple (figure II.19) commence à zéro et augmente jusqu'à la valeur nominale de 27 Nm. Le couple se stabilise autour de la valeur nominale en raison de la présence d'ondulations pendant la vitesse nominale.

II.8 Conclusion

Dans ce deuxième chapitre, nous avons présenté un modèle numérique de la machine asynchrone à deux étoiles, basé sur la méthode à éléments finis, dans l'environnement logiciel 2D Flux®.

L'objectif principal de ce travail est de simuler le comportement de la machine(MASDE) basé sur la méthode à éléments limités 2D Flow ® pour l'obtention de propriétés électromagnétiques. Nous avons modélisé et simulé ce travail modeste et effectué des tests de simulation des comportements dynamiques de MASDE dans deux cas lorsque la machine est enceinte et sous vide. Nous avons déduit les propriétés électromagnétiques obtenues dans quelle mesure elles sont acceptables. Ces résultats peuvent fournir une simplification pratique et une visibilité de la machine soumise à des spécifications prédéterminées afin d'améliorer considérablement les propriétés et les performances électromagnétiques.

Ensuite, nous sommes passés à la simulation en mode transit, approchant la simulation des comportements dynamiques de MASDE (simulation de fonctionnement en vide et en chargement).

III CAPITRE III : Diagnostic des défauts de la machine asynchrone double étoile

III.1 Introduction :

Comme il a été déjà mentionné précédemment, selon les enquêtes menées sur les différents modes de défaillance dans les machines à cage d'écureuil, que les défauts liés au rotor contribuent à 20% du total des défaillances, notamment le défaut de la rupture de barres rotoriques. Ce défaut sera donc abordé en détail dans ce chapitre. Cependant, ce pourcentage minimise la part de ce défaut dans l'ensemble des atteintes de la machine car, les défauts de cassure de barres ou ceux des portions d'anneau de court-circuit, sont difficiles à diagnostiquer en raison de l'inaccessibilité au rotor [39.40]. L'analyse spectrale est certainement la méthode la plus naturelle pour le diagnostic des défauts. En règle générale, la seule grandeur intéressante accessible au stator est le courant et l'intérêt de son analyse spectrale est de pouvoir détecter et identifier l'élément défectueux en fonction de sa fréquence.

Ce chapitre sera consacré à l'étude des inconvénients des barres de rupture avec le déséquilibre simulé en utilisant la méthode à éléments limités, l'objectif de cette étude est de vérifier l'effet des tiges cassées dans les rotors sur la distribution de l'écoulement autour des électrodes et son équilibre et le diagnostic de ce type de défaut.

III.2 Influence de la barre cassée sur la machine asynchrone

Les pannes rotoriques sont souvent à l'origine de nuisances dues aux ondulations de couple électromagnétique provoquant des oscillations de la vitesse de rotation. L'information rupture de barre se trouve donc véhiculée par le flux magnétique, et par conséquent dans le courant absorbé au réseau électrique. Il est donc nécessaire de connaître les fréquences résultant d'une rupture de barres afin de pouvoir les détecter à travers une analyse spectrale des courants.

Suite à une rupture de barre, les circuits rotoriques créent en plus du champ rotorique direct un champ magnétique inverse de pulsation gfs du au déséquilibre des enroulements rotoriques (Figure III.1).

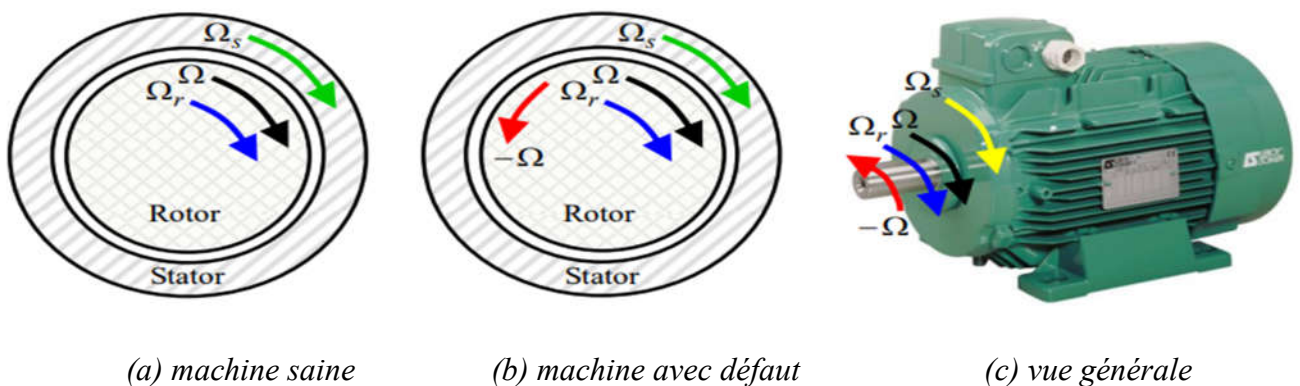


Figure III 1: Schéma de fonctionnement d'un rotor en défaut [42].

La défaillance de la barre du rotor est largement reconnue par ces composants de fréquence $(1\pm 2g)*f_s$. autour de la composante fondamentale du spectre du courant du stator. ont démontré qu'en présence d'une barre brisée dans la cage du rotor, un courant de fréquence $(1\pm 2g)*f_s$ sera induit dans les circuits du stator, accompagné d'un composant oscillatoire de fréquence $2s f_s$ dans le couple électromagnétique et vitesse de rotation, donnant naissance à de nouveaux composants de courant à des fréquences $(1\pm 2g)*f_s$ circulant dans les enroulements du stator. De même, [41]

Si la machine présente un défaut de cassure de barres rotoriques (voir figure III.1.b), une dissymétrie au rotor apparaît. Dans ce cas, il se crée en plus du champ rotorique direct, un champ inverse qui tourne à la vitesse $-s \Omega_s$, crée par le déséquilibre des courants dans les barres. Cela est dû au fait que les courants rotoriques peuvent être associés à un système direct du courant de valeur efficace et à un système inverse de valeur efficace. L'interaction de ce champ avec celui issu du bobinage statorique crée des ondulations de couple et aussi induit au stator des forces électromotrices de fréquence $(1-2g)*f_s$ (l'apparition de courants statoriques comportant ces composantes. [41]

III.3 Simulation des défauts des barres rotoriques est cassées:

Une barre cassée est le défaut le plus courant dans le vertige. Leur technique de simulation permet d'identifier les signatures de ces défauts et de comprendre les transformations de la machine.

Pour comprendre ce type de défaillance, nous avons fait une simulation de la machine Dans le cas d'une seule barre cassée, deux barres cassées par pole oppose, et trois barre cassées adjacentes.

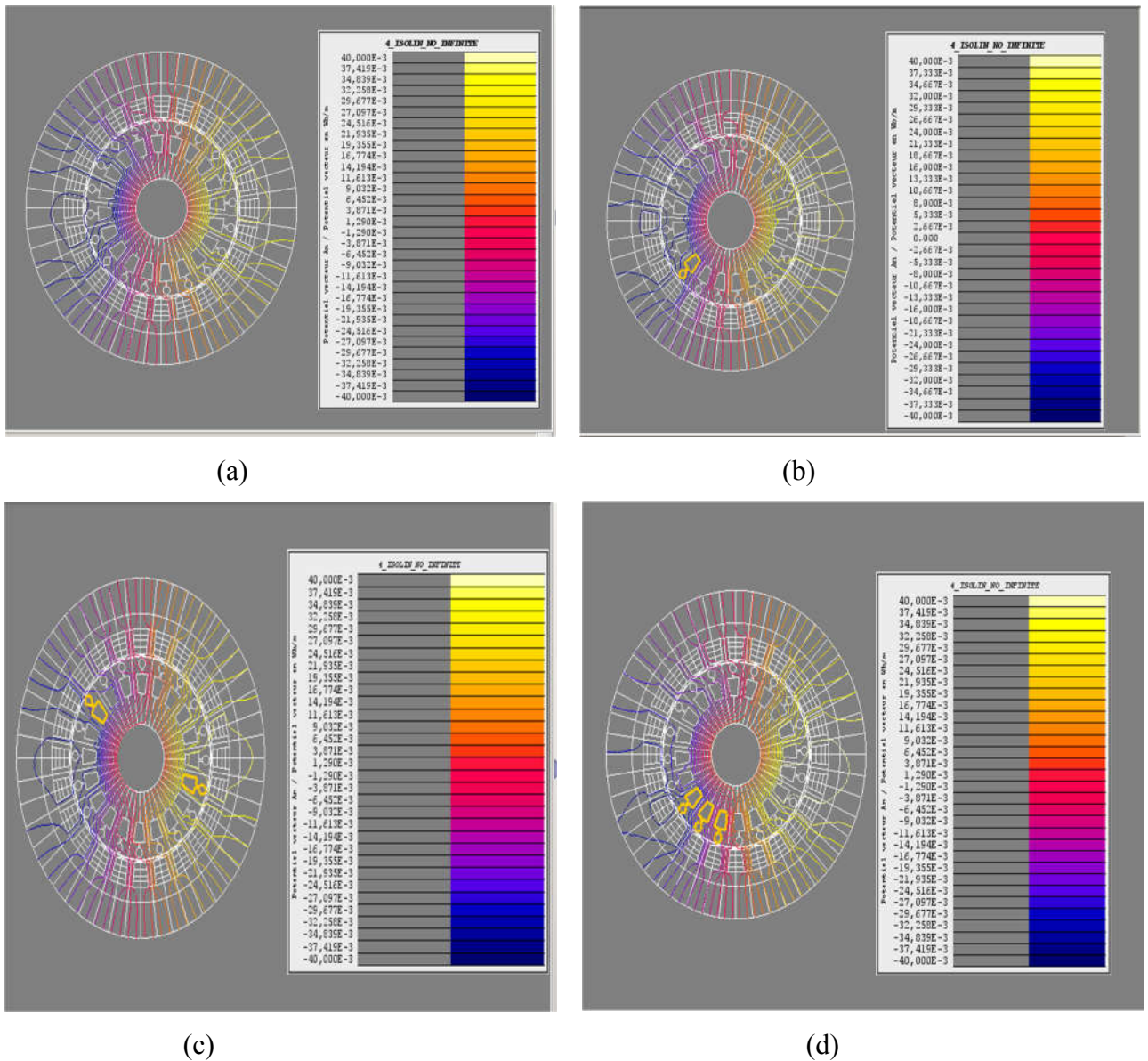


Figure III 2 : Répartition des lignes équipotential : (a) machine saine, (b) une seule barre cassées, (c) deux barre cassées par pôle opposé, (e) trois barre cassées adjacentes

La forme (III.2) exprime la distribution des lignes de flux dans la machine, Notez le déséquilibre causé par les barres cassées des trois cas (d) (c) (b). Par rapport à l'état du moteur en état saine (a), Les courants dans les barres effectuent une distribution symétrique des lignes d'écoulement autour de chaque pôle.

La forme des distributions d'induction (figure III.3) est traduite par la présence de déséquilibre à la suite des barres cassées et donc l'induction est relative et en cas de déséquilibre total entre l'électrode de la machine l'induction est élevée et c'est la cause du nombre de tiges cassées.

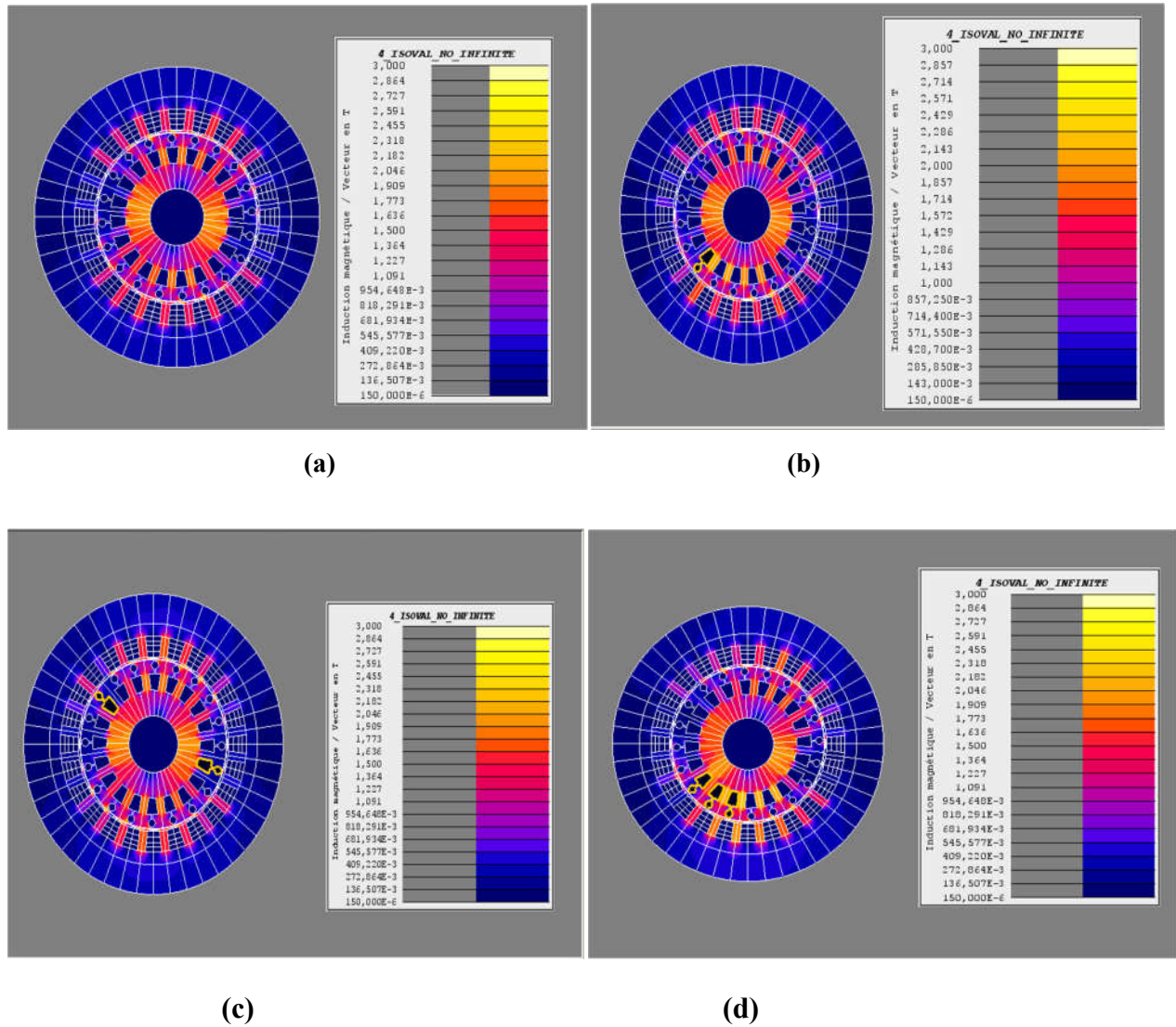


Figure III 3: Répartition de l'induction dans le circuit magnétique : (a) machine saine, (b) une seule barre cassées, (c) deux barre cassées par pole opposé, (e) trois barre cassées adjacentes

La figure (III.4) montre la distribution du courant dans les rotors de travail nominale à la machine saine et infectée.

Pendant les pannes il y a une augmentation du courant du rotor, mais cette intensité de l'erreur est affectée par le nombre de barres cassées et aussi l'emplacement qui donne une grande importance à ce que l'emplacement des barres cassées adjacentes à la performance de l'appareil par rapport aux barres espacées.

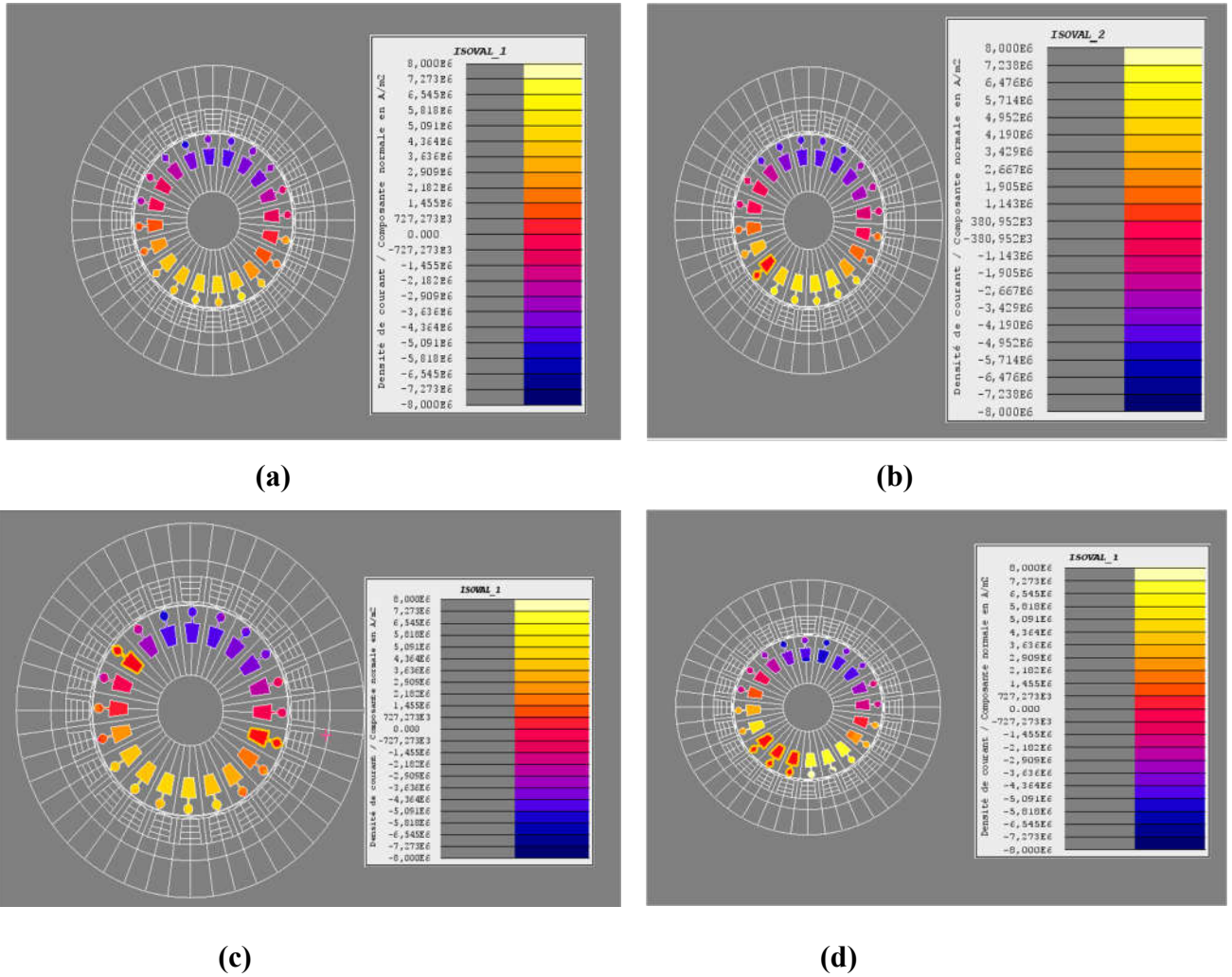


Figure III 4: Répartition des densités du courant : (a) machine saine, (b) une seule barre cassées, (c) deux barre cassées par pôle opposé, (e) trois barre cassées adjacentes

III.4 comparaison de courant dans le cas sain et en présence des défauts

III.4.1 Résultats de la simulation de la machine avec cassure de barre

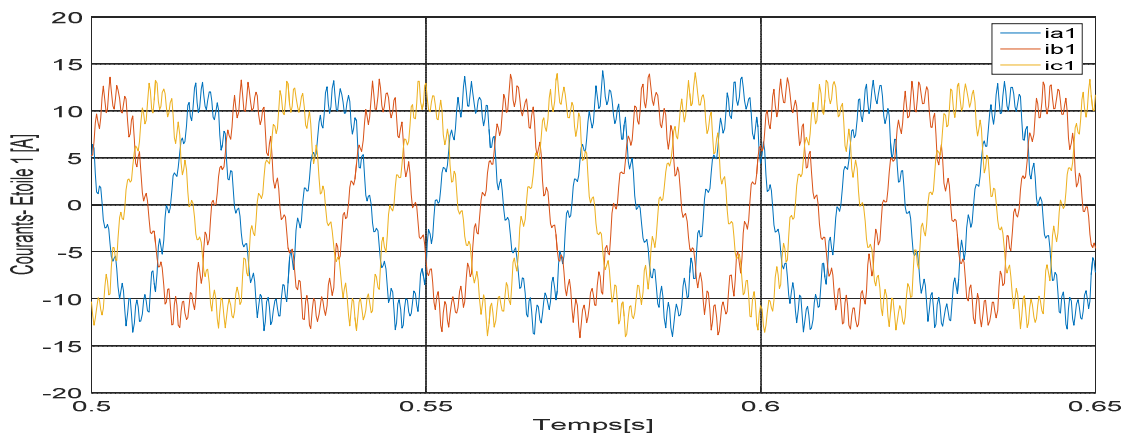


Figure III 5 : courant de phase statorique étoile 1 , dans la machine avec un barre cassé.

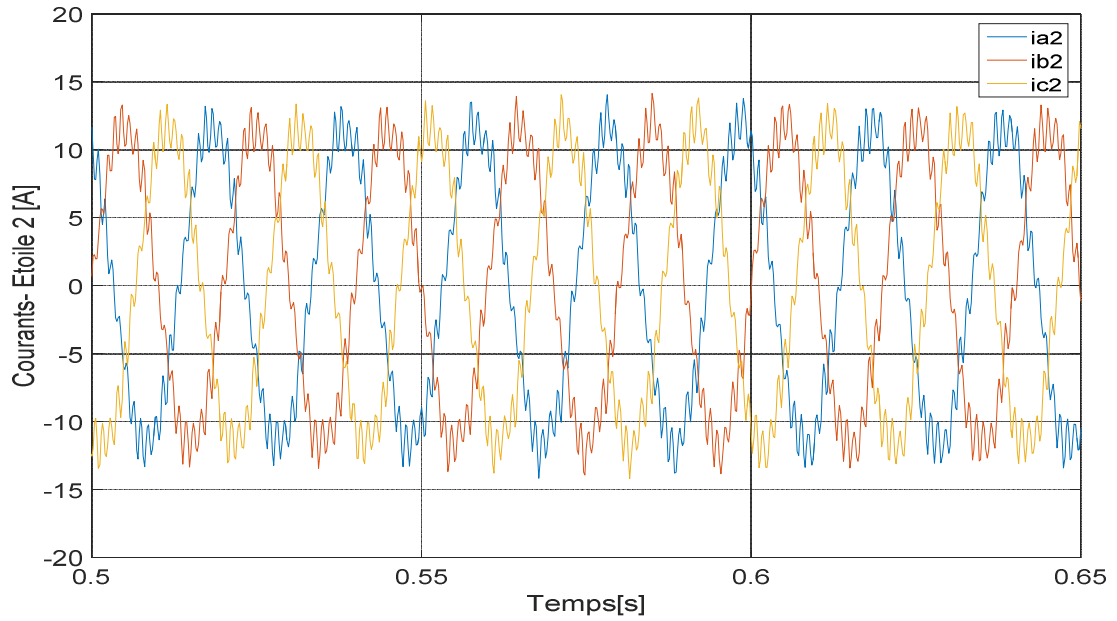


Figure III 6 : courant de phase statorique étoile 2 dans la machine avec une barre cassée
les courants des étages de stator de Star1 et 2 sont encore à 120 degrés l'un de l'autre, mais l'ondulation de la capacité de courant est montrée avec 1 barre cassée.

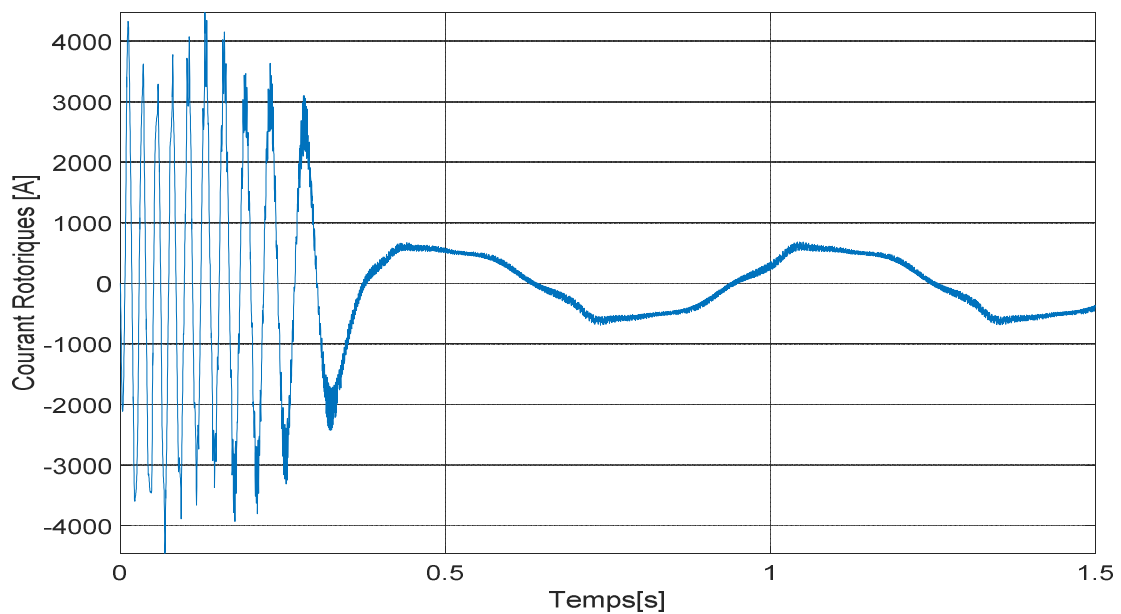


Figure III 7: Courant de barre en fonction de temps.

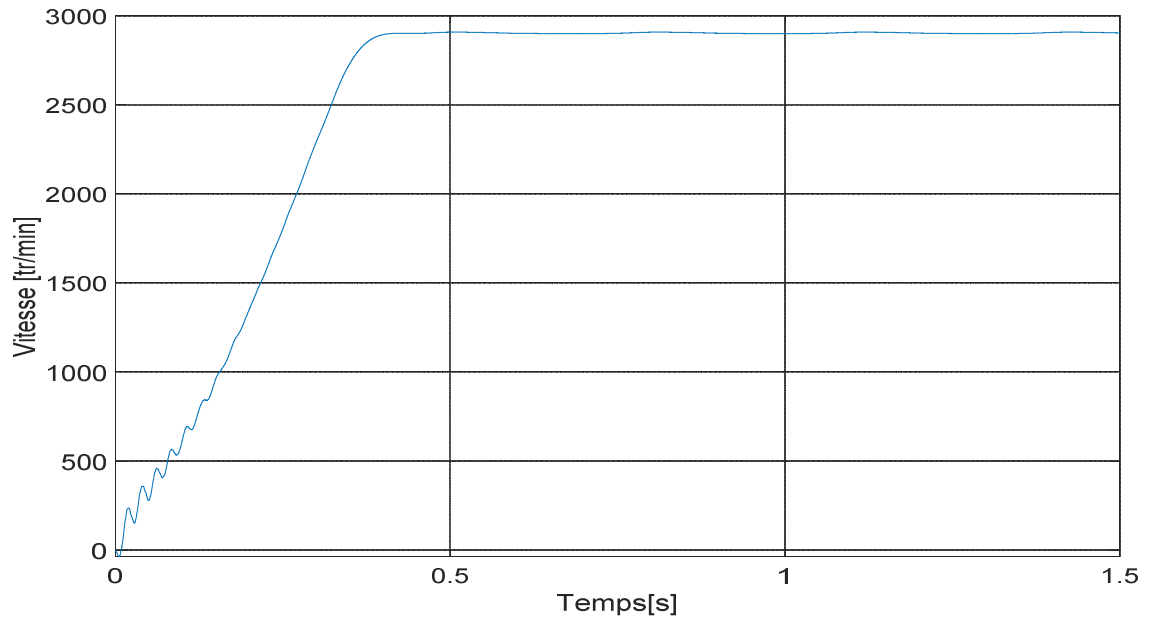


Figure III 8 : la vitesse en fonction du temps.

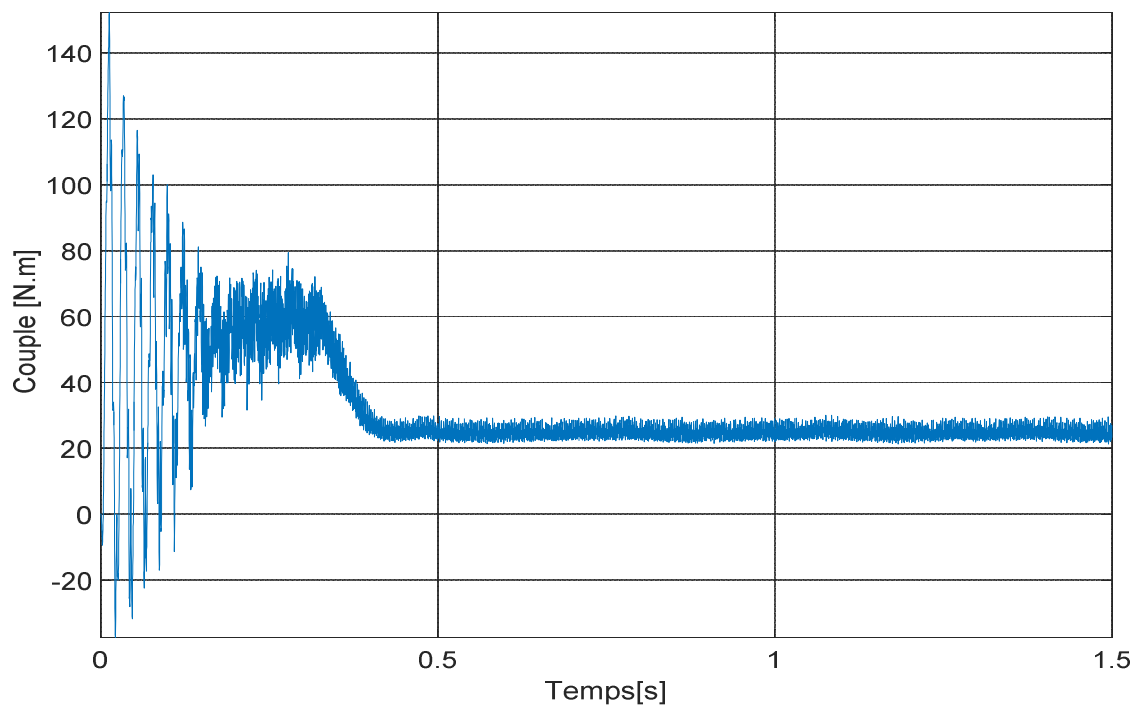


Figure III 9 : couple en fonction de temps.

III.5 Effet de la cassure des barres sur le courant :

La figure III.7, on peut remarquer Il y a une augmentation marquée de la capacité de courant dans la phase défaillante, mais l'augmentation est moins importante par rapport à la phase défectueuse.

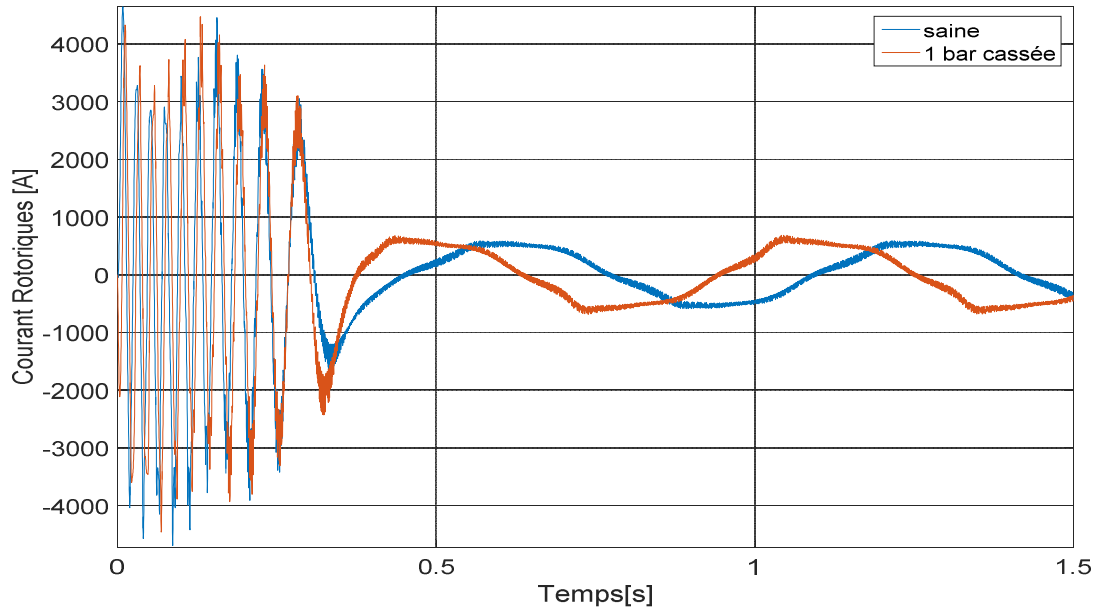


Figure III 10: Comparaison le courant de la machine saine et défaut

III.6 Effet de la cassure des barres sur le couple

Nous pouvons voir à la figure III.8 que la phase saine a commencé à se stabiliser de $t=4,45$, la hausse étant moins importante que dans la phase défailante.

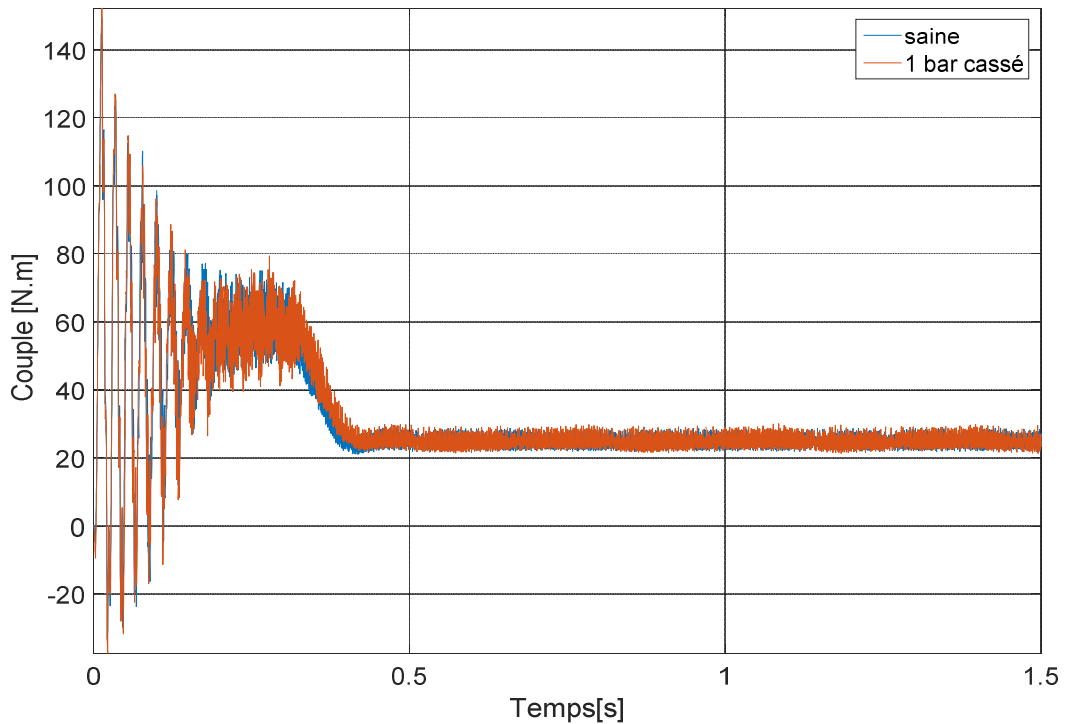


Figure III 11 : Comparaison le couple de la machine saine et défaut

III.7 Effet de la cassure des barres sur le temps de démarrage du moteur

L'effet des barres brisées peut être observé tout au long de la durée de la vitesse transitoire, et ce phénomène peut être analysé et incarné à l'aide de la courbe de vitesse au début de la forme.III.(12.13) Nous avons montré que la vitesse de passage varie lorsque les tiges du rotor sont cassées. Lorsque la machine est comparée dans le cas de la saine et dans le cas du défaut, nous voyons que le temps de départ augmente avec des barres cassées.

La bande endommagée a fait augmenter la vitesse de l'appareil et osciller le couple électromagnétique (C_e).

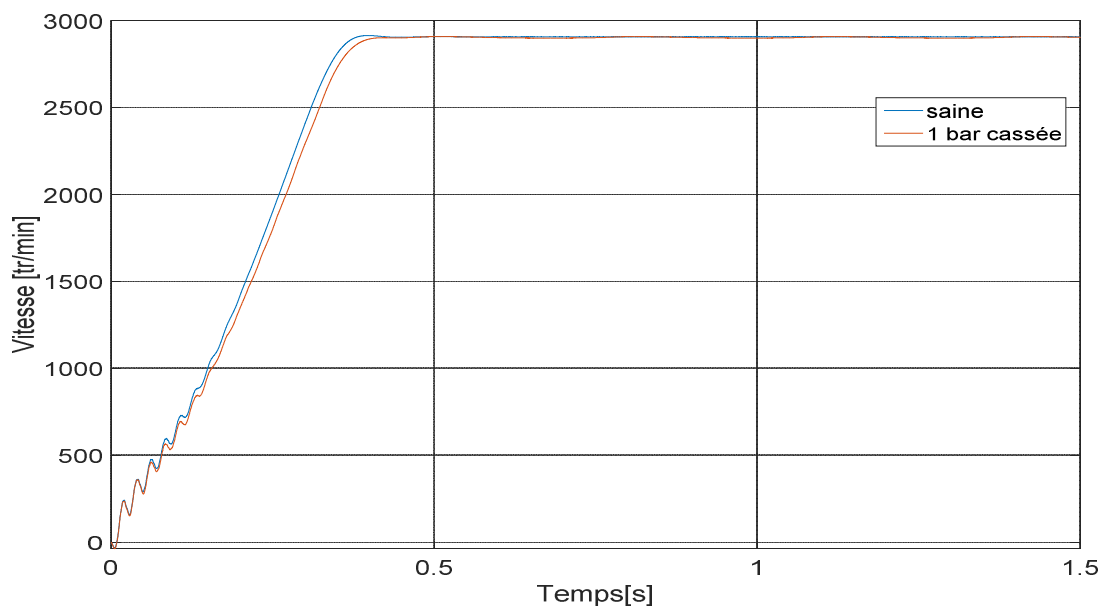


Figure III 12: la vitesse de la machine saine et défaut

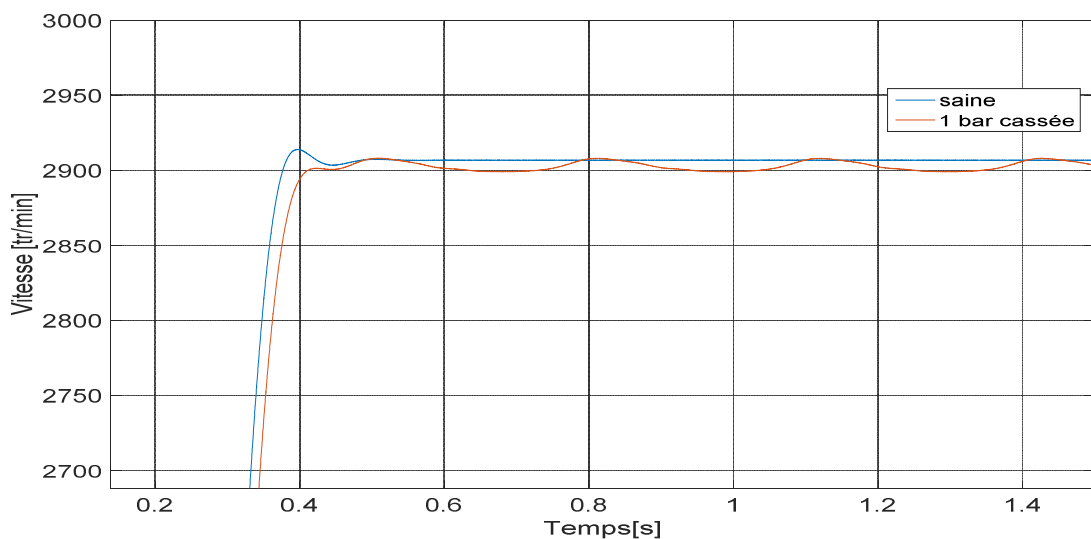


Figure III 13: Comparaison la vitesse (ZOOM)

III.8 Analyse spectrale de courant statorique une seule barre cassée

L'analyse de fréquence des valeurs quantifiables est le plus souvent utilisée pour diagnostiquer les défauts rotoriques [42,43]. Les figures III.(14.15) montrent le spectre de fréquences des valeurs temporelles pour une machine asynchrone saine et une avec une barre de rotor endommagées. Les spectres montrés dans le cas d'un rotor défaillant sont évidemment plus riches en harmoniques que ceux obtenus de l'étude avec un rotor saine. [43].

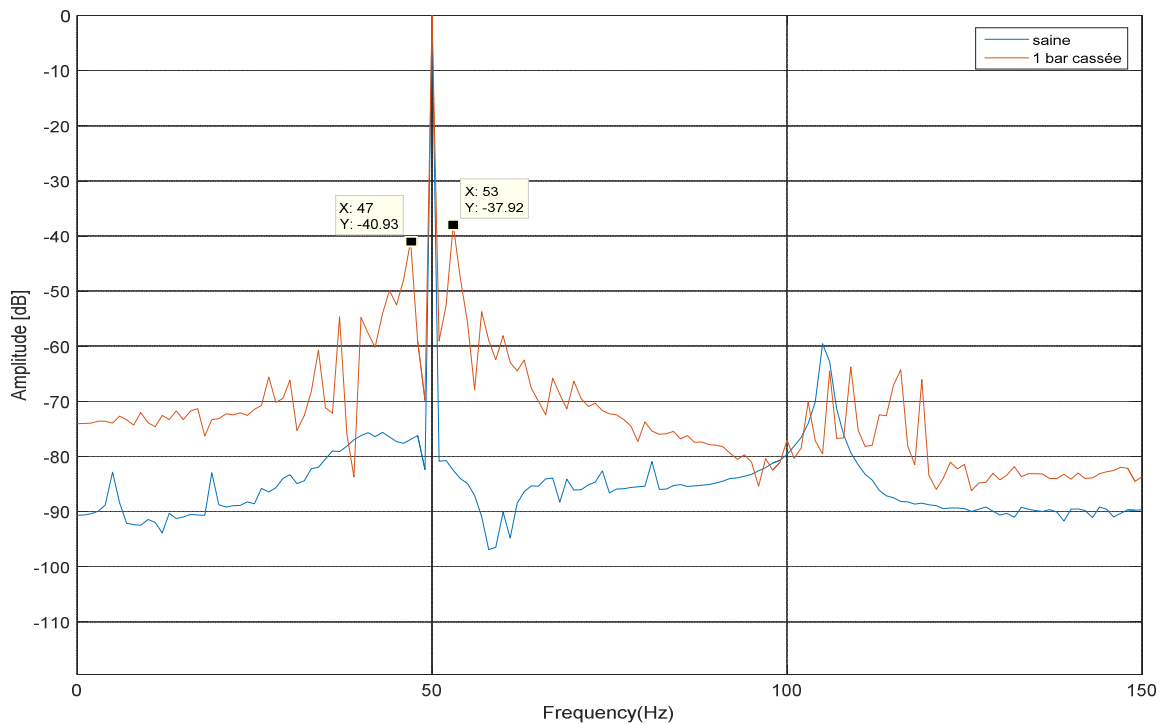


Figure III 14:Analyse spectrale de courant de Phase 1 de l'étoile

Figure III.14. Phase 1 Analyses spectrale de courant 1 0 Hz à 150 Pour le dysfonctionnement de la machine (barre cassée), nous pouvons le voir en termes de après comparaison avec le spectre retiré de l'état de la machine à saine (50 Hz) (Sous la même forme), l'état du spectre d'état défectueux est devenu plus riche en harmonies caractérisées par des déséquilibres en harmonies $(1-2g)*fs$ d'une valeur de 47 Hz et aussi en $(1+2g)*fs$ Hz 53, même pour le figure.III.15 rapport d'harmonies caractérisant le déséquilibre des harmonies $(1-2g)*fs$ est 53 Hz et $(1+2g)*fs$ 47 ces variations de fréquence Voir l'erreur dans le dispositif donne un avantage positif significatif dans utilisation de la spectroscopie pour induire le magnétisme alors qu'il y a un déséquilibre.

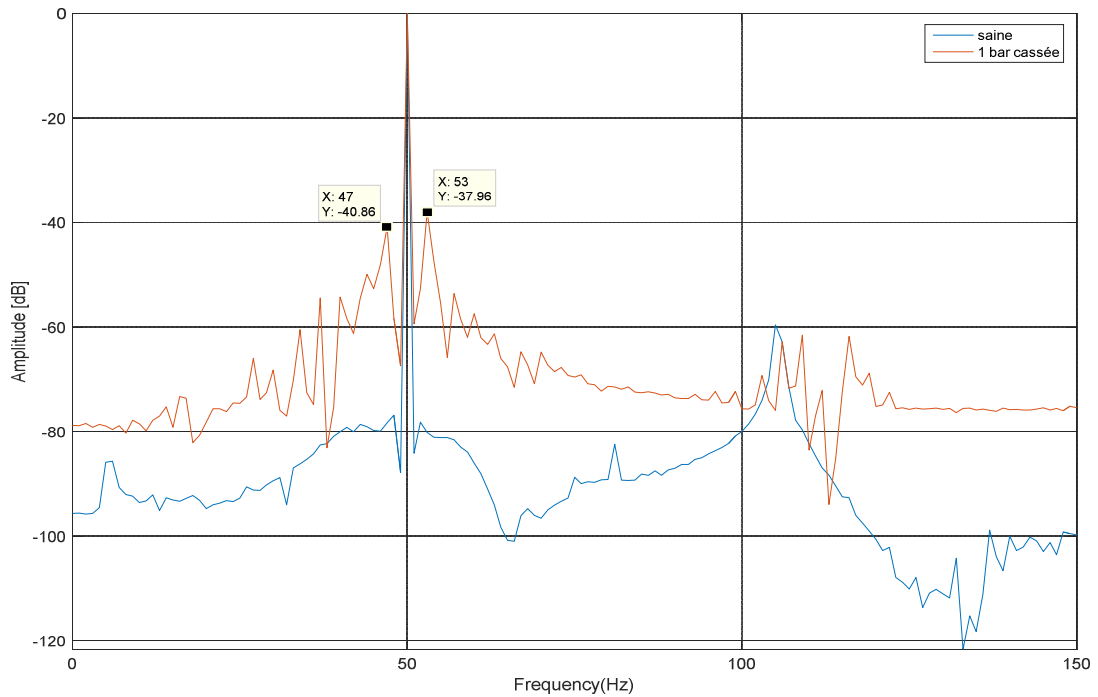


Figure III 15:Analyse spectrale de courant de Phase 1 de l'étoile 2

Le tableau (III.1) donne les valeurs en décibelle (dB) des signatures de défaut $(1 \pm 2g)*fs$

| | $(1-2g)*fs$ | $(1+2g)*fs$ |
|---|-------------|-------------|
| saine | – | – |
| une seule barre cassée (1 ^{er} étoile) | 47 | 53 |
| une seule barre cassée (2 ^{em} étoile) | 53 | 47 |

Tableau III 1:Capacité du bouchon $(1 \pm 2g) * fs$, pour une seule barre cassée.

Lorsque les barres se brisent, les spectres de fréquence de la vitesse du rotor révèlent des composants supplémentaires à des fréquences de $2gfs$, L'analyse du domaine de fréquence des courants du stator (Fig.13, Fig.14) reste l'approche la plus souvent utilisée puisque le spectre généré comprend des informations sur la majorité des défauts électriques et magnétiques qui peuvent survenir au sein d'une machine asynchrone.

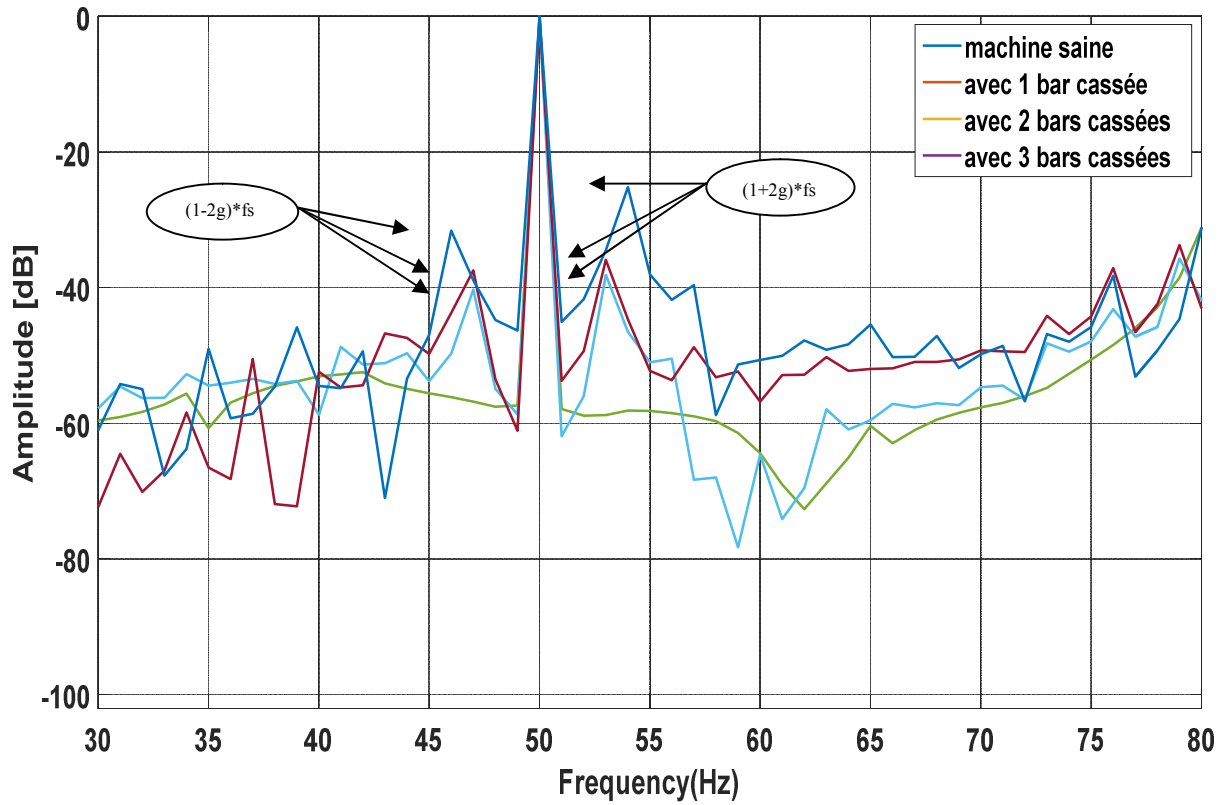


Figure III 16:Analyse spectrale de courant de Phase 1iade l'étoile 1

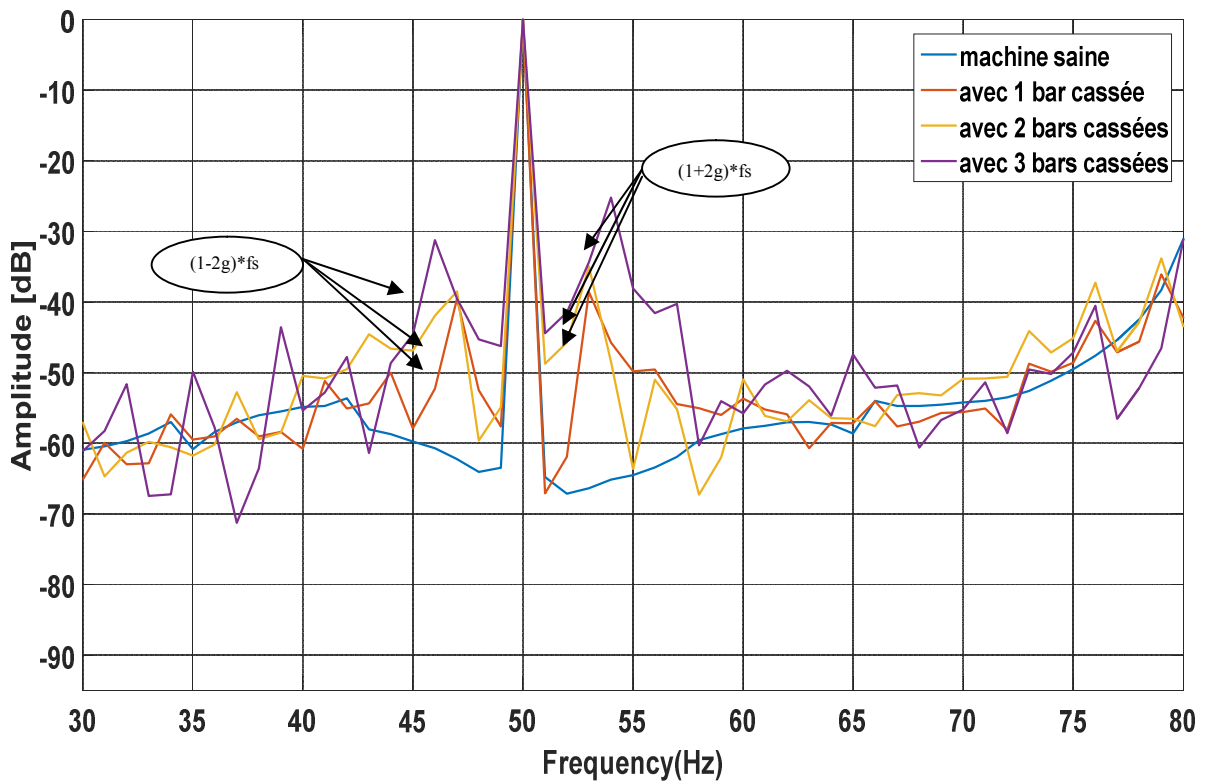


Figure III 17:Analyse spectrale de courant de Phase 1iade l'étoile 2

L'information et les phénomènes électriques sur l'état de la cage rotor du moteur deux étoiles sont basés sur la surveillance de la capacité des composants de fréquence distinctifs $(1 \pm 2.g) * f_s$ dans le spectre actuel. La figure (III.16) montre le spectre de courant fixe de la machine rotative en état à saine (50 Hz) et le rotor avec défaut (une seule barre cassée, deux barres et trois barres cassées). Pour chaque étoile 1 et 2.

En simulant le moteur sans défaut, nous ne remarquons aucune ligne qui sort de l'ordinaire. Cependant, lorsque trois barres sont cassées, les lignes de côté apparaissent à 46 Hz et 54 Hz entre la fréquence $f_s = 50$ Hz comme référence pour la fréquence machine sans défaut de l'étoile 1. Quant à la fréquence de deux barres cassées et d'une seule barre cassée, nous les trouvons proches entre 47 Hz et 52 Hz. En observant la différence de capacité de la ligne spectrale de la barre cassée à trois barres cassées, l'augmentation du nombre de barres cassées réduit les performances de la machine en raison du changement significatif de fréquence, Par conséquent, l'augmentation marquée de la capacité de ces composants reflète le déséquilibre de la machine.

III.9 Conclusion

Le diagnostic des défauts dans le système asynchrone est un défi que de nombreux chercheurs ont travaillé à étudier. Beaucoup d'attention a été accordée aux défauts de rotor.

Ce chapitre est consacré au développement du modèle de la machine asynchrone à deux étoiles. Dédié à les simuler dans leur état de saine et dans un second état sur la base d'une barre cassée, après comparaison des deux cas, ce modèle nous a permis d'analyser l'effet de ce déséquilibre sur la machine en termes de courant et de vitesse en particulier en oscillation de couple et de vitesse en tenant compte de l'analyse spectrale, pour les valeurs de fréquence $(1 \pm 2 g) * f_s$ et $(1 \pm 4 g) * f_s$, il y a une augmentation de la capacité de ligne en fonction de barre cassée, elle était plus visible sur l'étendue et la gravité de l'effet de défaillance de la machine.

Ainsi, l'analyse fournie par la méthode des éléments limités montre qu'il s'agit d'une méthode

Efficace et bon marché pour étudier l'impact des défauts cycliques sur le comportement. Permettre de comprendre les conséquences locales des machines asynchrones Pour les défauts du rotor

CONCLUSION GENERALE:

CONCLUSION GENERALE :

Les machines asynchrones double étoiles sont très importante dans le industrie, en raison de leurs simple construction, robustesse, faible cout et de fiabilité, en plus, les machines multi phasées présentent plusieurs avantages par rapport aux machines conventionnelles triphasées, tels que : segmentation de puissance, minimisation des ondulations du couple et des pertes rotoriques, réduction des courants harmoniques, grandefiabilité et forte puissance.

Au début de ce travail, nous avons rappelé les différents défauts qui peuvent affecter le fonctionnement de la machine asynchrone à deux étoiles, ainsi que les méthodes de diagnostic et de modélisation.

Ensuite nous avons présentélé logiciel de simulation et nous avons fourni la modélisation d'une machine asynchrone à double étoiles à l'aide du logiciel Flux 2D,Ce modèle, conduit à un gain notable en description d'une des méthodes de diagnostic cela permet d'identifier un problème de rotation du dispositif basé sur la présentation du modèle et la simulation de cette procédure, qui dépend de la méthode des élément finis.

Pour analyser le comportement de la machine avec des défauts, nous avons modélisé les performances du dispositif à l'état saine et comparé avec celui en présence des défauts de cassure de barres, l'effet de la position de bar cassé est étudiier dans ce travail.

A la fin de ce travail, nous nous sommes appuyés sur une méthode de surveillance d'une machine asynchrone à double stator,basé sur l'analyse spectrale des courant statorique par la technique de FFT,cette méthode nous permet d'identifier les défauts qui se sont produits dans le rotor de la machine.

BIBLIOGRAPHIE

Bibliographie

- [1] Hadjouti Yassine, HAMBLI Ali, « Modélisation de la machine asynchrone double étoile en vue du diagnostic du défaut de court circuit entre spires statoriques », mémoire master, Université akli mohand oulhadj de bouira, 2017
- [2] M. Ammar, « Surveillance et diagnostic des défauts des machines électriques : applications aux moteurs asynchrones" Thèse de doctorat », Université du 20 Août 1955- Skikda, 2012.
- [3] B. Moussaoui, Y. Nekmouche, « modélisation des moteurs asynchrones polyphasés dédiée au diagnostic de court-circuit entre spires, application aux moteurs penta phases et double étoile », Mémoire d'ingénieur en Université MMTO, Alger, 2008
- [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 Lorraine, 2012.
- [5] Mahgoun Hafida, «Analyse Non Stationnaire Des Signaux Vibratoire Dans La Surveillance Des Machines et la Prévention des Défaillance », thèse de doctorat, Université Ferhat Abbas Sétif 1, Algérie, Juin 2013.
- [6] Baba Fatima, « Contribution à la Modélisation et à La Commande de la Machine Asynchrone : Application au diagnostic des défauts statoriques », thèse de doctorat, Université Constantine 1, Algérie, Juin 2014.
- [7] Achachi Farouq , boussouar Abderrahim, « Modélisation et commande d'un aérogénérateur éolien basée sur une génératrice synchrone double étoile à rotor bobiné », mémoire master , université Aboubakr Belkaïd Tlemcen, 2018
- [8] Bouagga Ahmed ,Sami Merabet Seif El Islem, « Commande d'une machine Asynchrone à double stator par régulateur glissant », mémoire master, université kasdi merbah ourgla, 2019.
- [9] Olivier Ondel « Diagnostic par reconnaissance des formes : Application a un ensemble convertisseur – machine asynchrone" Thèse de Doctorat » Ecole centrale de Lyon, France, 2006.
- [10] E. Merabet «Amélioration des Performances de Régulation d'une Machine Asynchrone Double Etoile par les Techniques de l'Intelligence Artificielle». Thèse de doctorat, Université de Batna. 2013.
- [11] D. Hadiouche, « contribution à l'étude de la machine asynchrone double étoile : modélisation, alimentation et structure », Thèse de doctorat de l'Université Henri Poincaré, Nancy-1., soutenue 20 décembre 2001
- [12] L. Benalia «Commande en tension des moteurs a induction double alimentes», Thèse de Doctorat, Université de Batna, Algérie, 2010.

- [13] Brahim KIYYOUR, « Contribution à la Commande d'une Machine Asynchrone Double Etoile », thèse doctora Université Mohamed Khider – Biskra, 2020
- [14] Rahali Hila, « Commandes non linéaires hybrides et robustes de la machine asynchrone à double étoile « MASDE », thèse doctorat, Université Mohamed Boudiaf - M'sila, 2020
- [15] Lakhdari Meftah, « Simulation et commande de la machine asynchrone double étoile », thèse doctorat, Université Ferhat Abbas-Sétif-1, 2014
- [16] Bouamra dhiaelhak, beddi Nasser, « Etude d'une Machine Asynchrone Double Etoile : (Modélisation, Alimentation et Commande) », mémoire master ' Université d'EL-Oued. 2014
- [17] Zerrouk Ahmed, « Diagnostic des défauts de cassure de barres rotoriques dans la machine asynchrone triphasée », mémoire master, Université Mohamed Khider Biskra, 2013.
- [18] : Chahmi Abdelghani, « Identification paramétrique de la machine asynchrone dédiée au diagnostic », Thèse de Doctorat, 'Université de oran, 2016
- [19] Rafik Merad, « outils de diagnostic appliques a la machine asynchrone triphasée a cage d'écureuil », mémoire magister, Université de Constantine, 2005.
- [20] Abla Bouguerne, « Diagnostic automatique des défauts des moteurs asynchrones », mémoire magister, Université de Constantine, 2009
- [21] A. Ibrahim, « Contribution au Diagnostic de Machines Electromécaniques: Exploitation des Signaux Electriques et de la Vitesse Instantanée », Thèse de Doctorat, Université de Saint Etienne, France, 2009.
- [22] Madani Nadir, « Diagnostic de défaillances de l'ensemble convertisseur-moteur et commande par les techniques de l'intelligence artificielle », mémoire Ingénierie, Université m'sila, 2012.
- [23] Belacel Mouni, RAHALI Said, SACI Azzouz, « Simulation Des Machines Asynchrones à Cage Modèle Multi-enroulements Dédiee Au Diagnostic Des Défauts », mémoire master, Université de m'sila, 2006.
- [24] SAHRAOUI Mohamed, « Etude Comparative des Méthodes de Diagnostic des Machines Asynchrones », Thèse de doctorat, Université Mohamed Khider – Biskra, 2010.
- [25] Babak VASEGHI, « Contribution à l'étude des machines électriques en présence de défaut entre-spores », mémoire dactora, Nancy Université - Institut National Polytechnique de Lorraine, 2009.
- [26] H. Yahoui, « Contribution à la surveillance et au diagnostic des machines électriques. Application aux machines triphasées asynchrones à cage » Thèse de doctorat - Université Claude Bernard - Lyon1, 1995.
- [27] :H. Razik, « Le contenu spectral du courant absorbe par la machine asynchrone en cas de défaillance, un état de l'art », La revue 3EI, vol. 29, pp. 48-52, Juin 2002.

- [28] Bessous N., Z. S. Eddine, W. Bentrach, S. Sbaa, « Detection and Diagnosis of Static Eccentricity Fault in Induction Machines Using the MCSA and DWT Methodl » International Conference on Electrical Sciences and Technologies CISTEM, Marrakesh, Morocco, 2016.
- [29] BESSOUS Noureddine, « Contribution au Diagnostic des Défaits dans les Machines Asynchrones : Comparaison entre l'Analyse Vibratoire et l'Analyse du Courant d'Alimentation » Thèse de doctorat - Université Mohamed Khider – Biskra , 2017 .
- [30] Bessous N., Z. S. Eddine, « Détection of Static and Dynamic Eccentricity Faults in Induction Machines by MCSA Methodl ». International Conference on Electrical Sciences and Technologies CISTEM, Marrakesh, Morocco, 2016.
- [31] Roland casimir ,92 « diagnostic des défauts des machines asynchrones par reconnaissance des formes », 2003.
- [32] AIT MIHOUB Mohamed oulhocine, « METHODE GLOBALE DE DIAGNOSTIC DES MACHINES ASYNCHRONES A CAGE D'ÉCUREUIL », mémoire master université m'sila,2015
- [33] Ho, Siu Lau, and W. N. Fu. "Review and future application of finite element methods in induction motors." *Electric machines and power systems* 26.2 (1998): 111-125.
- [34] A. Assam, « Identification des Machines Asynchrones en Vue de Leurs diagnostiques », Thèse de magister de l'Université de Sétif, soutenue 2010.
- [35] D. Bendittis, « étude et modèle électromagnétique de machine asynchrone pour l'alternateur-démarrateur », Thèse de doctorat, Institut national polytechnique de Grenoble, 2002.
- [36] LAKHDARI Meftah, SIMULATION ET COMMANDE DE LA MACHINE ASYNCHRONE DOUBLE ETOILE, Magister , UNIVERSITE FERHAT ABBAS-SETIF-1-2014
- [37] S. Mouellef, « Contribution A L'étude D'une Machine A Réductance Variable : Conception, Modélisation & Simulation D'une MRVDS 6-4 », Thèse de magister, université de Mentouri, Constantine, 03/06/ 2008.
- [38] T. Tudorache, L. Melcescu and V. Petre: FEM optimal design of energy efficient induction machines; *Advances in Electrical and Computer Engineering* Volume 9, Number 2, 2009.
- [39] Y. Ouazir, « Contribution à la modélisation électromagnétique des machines à induction », Thèse de doctorat, école nationale polytechnique. Alger, 2006.
- [40] B. M. Ebrahimi, J. Faiz, S. Lotfi-fard, P. Pillay, "Novel Indices for Broken Rotor Bars Fault Diagnosis in Induction Motors using Wavelet Transform", *Journal of Mechanical Systems and Signal Processing*, Vol. 30, PP. 131-145, 2012.
- [41] P. Shi, Z. Chen, Y. Vagapov, Z. Zouaoui, "A New Diagnosis of Broken Rotor Bar Fault Extent in Three Phase Squirrel Cage Induction Motor", Elsevier, *Journal of Mechanical Systems and Signal Processing*, Vol. 42, PP. 388-403, 2014.

[42] Halemnoura, Modélisation des Machines Asynchrones Triphasées à Cage en Vue du Diagnostic par la Méthode des Eléments Finis, Thèse de doctorat, l'Université de Biskra, soutenue 2010.

[43] DIDIER Gaétan ; (Modélisation et diagnostic de la machine asynchrone en présence de défaillances) ; Université de U.F.R science et techniques : S.T.M.I.A) ; Thèse de Doctorat ; Année 2004.

[44] T. Tudorache, L. Melcescu and V. Petre: FEM optimal design of energy efficient induction machines; Advances in Electrical and Computer Engineering Volume 9, Number 2, 2009.

[45] Ghogga Adel , Diagnostic de la Machine Asynchrone Triphasée : Modèle Dédié à la Détection des Défauts, Université de Batna, année 2005.

[46] Bennedjai Soumaya, Contribution à l'amélioration de la sûreté d'exploitation des moteurs à induction., mémoire doctora, Université de Annaba, année 2016.

[47].M. Drif and A. J. M. Cardoso "Airgap-Eccentricity Fault Diagnosis, in Three-Phase Induction motors, by the Complex Apparent Power Signature Analysis", IEEE Trans. on Industrial Electronics, vol.55, no.3, March 2008.

[48] https://energieplus-lesite.be/techniques/ascenseurs7/moteur-asynchrone/#Le_stator

Résumé

Les machines asynchrones sont les machines les plus utilisées dans tous les secteurs industriels en raison de leur durabilité, de leur simplicité de construction et de leur faible coût. Par conséquent, la détection des défauts dans ces machines est toujours le sujet de la recherche industrielle et de l'attention à ce jour.

Notre étude se concentre sur le diagnostic des défauts au rotor dans la machine asynchrone à double stator. Nous avons présenté un modèle de la machine par la méthode des éléments finis en utilisant le logiciel Flux2D, qui nous permet de simuler le comportement de la machine dans l'état sain et avec des défauts. Enfin, nous avons introduit une technique de diagnostic basé sur l'analyse spectral des courants statorique (MCSA) pour détecter les défauts des barres cassées.

Mots clés : machine asynchrone, machine multiphasé, diagnostic, défauts, FFT

ملخص

تعد الآلات غير المتزامنة أكثر الآلات استخدامًا في جميع القطاعات الصناعية نظرًا لقوتها وبساطتها في البناء وانخفاض تكلفتها. لذلك ، لا يزال اكتشاف الأخطاء في هذه الآلات موضوع البحث الصناعي والاهتمام حتى يومنا هذا.

تركز دراستنا على تشخيص أعطال الدوار في الجهاز غير المتزامن للجزء الثابت المزدوج. قدمنا نموذجًا للآلة بطريقة العناصر المحدودة باستخدام برنامج Flux2D ، والذي يسمح لنا بمحاكاة سلوك الجهاز في الحالة الصحية ومع وجود عيوب. أخيرًا ، قدمنا تقنية تشخيصية تعتمد على التحليل الطيفي للتيار الثابت (MCSA) لاكتشاف أخطاء القضبان المكسورة.

الكلمات المفتاحية: آلة غير متزامنة ، آلة متعددة الأطوار ، تشخيص ، أعطال ، FFT

abstract

Asynchronous machines are the most widely used machines in all industrial sectors due to their durability, simplicity of construction and low cost. Therefore, fault detection in these machines is still the subject of industrial research and attention to this day.

Our study focuses on the diagnosis of rotor faults in the double stator asynchronous machine. We presented a model of the machine by the finite element method using the Flux2D software, which allows us to simulate the behavior of the machine in the healthy state and with defects. Finally, we introduced a diagnostic technique based on stator current spectral analysis (MCSA) to detect broken bar faults.

Keywords: asynchronous machine, multiphase machine, diagnosis, faults, FFT