

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



Université Mohamed Khider Biskra
Faculté des Sciences et de la Technologie
Département de Génie Electrique
Filière : Electrotechnique
Option : Machine Electrique

Réf:.....

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

MASTER

Thème

**Diagnostic de la machine asynchrone tenant compte de la
nature de la charge entraînée**

**Présenté par :
Rouighi Mounir
Khelfaoui Abderrahim
Soutenu le : 2020**

Devant le jury composé de :

Mr.

Mr. Ghoggal Adel

Mr.

.....

MCB

.....

Président

Encadreur

Examineur

Année universitaire : 2021 / 2022

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



Université Mohamed Khider Biskra
Faculté des Sciences et de la Technologie
Département de Génie Electrique
Filière : Electrotechnique
Option : Machine Electrique

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

MASTER

Thème

**Diagnostic de la machine asynchrone tenant compte de la
nature de la charge entraînée**

Présenté par :

**Rouighi Mounir
Khelfaoui Abderrahim**

Avis favorable de l'encadreuse :

Mr. Ghoggal Adel
signatures

Avis favorable du Président du Jury

.....

Cachet et signature

Signature

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



Université Mohamed Khider Biskra
Faculté des Sciences et de la Technologie
Département de Génie Electrique
Filière : Electrotechnique
Option : Machine Electrique

Thème :

**Diagnostic de la machine asynchrone tenant compte de
la nature de la charge entraînée**

**Proposé par : Rouighi Mounir
Khelfaoui Abderrahim**

Dirigé par : Dr. Ghoggal Adel

DEDICACE

Je tiens c'est avec un grand plaisir que je dédie ce modeste travail :

A l'être le plus cher de ma vie, ma mère, à celui qui m'a fait de moi un homme, mon père aussi.

A mes chers frères et ma sœur.

A ma chère encadreuse Dr. Ghoggal Adel.

A tous mes amis de promotion de 2^{ème} année master ME en électrotechnique tout particulièrement Anouar et Baha et Badi .

A Khalfaoui abderrahim, chère ami avant d'être binôme.

Toute personne qui occupe une place dans mon cœur.

A tous les membres de ma famille et toute personne qui porte les noms Rouighi et Khalfaoui, je dédie ce travail à tous ceux qui ont participé à ma réussite

REMERCIEMENT

Après avoir rendu grâce à Dieu le Tout Puissant et le Miséricordieux nous tenons à remercier vivement tous ceux qui, de près ou de loin ont participé à la rédaction de ce document. Il s'agit plus particulièrement de :

*J'exprime mon profonde reconnaissance et gratitude à :
Tous les professeurs et corps administratif du département de génie électrique de l'Université Mohamed Khider, pour la richesse et la qualité de leur enseignement et qui déploient de grands efforts pour assurer à leurs étudiants une formation actualisée." Nos remerciements s'étendent également à tous nos enseignants durant les années des études.*

A M, Dr : Ghoggal Adel ; pour l'aide qu'elle a fournie et les connaissances qu'il a sues me transmettre, autant encadreuse de ce présent travail.

Sans oublier aussi ma famille je voudrais tous les remercier pour leur encouragement envers moi, leurs soutiens moraux ; affectifs et financier

LISTE DES TABLEAUX

CHAPITRE I	PAGES
Tableau I.1 Avantages et inconvénients de la machine asynchrone.....	5
 CHAPITRE III	
Tableau III.2 Amplitudes en dB en fonction de l'état.....	25
Tableau III.2 : Amplitudes en fonction de la charge et pour différents nombres de barres casses.....	29

LISTE DES FIGURES

CHAPITRE I	PAGES
Figure I.1 : Moteur asynchrone éclaté à cage.....	4
Figure I. 2 : La répartition des pannes.....	7
Figure I. 3: Représentation des différents défauts statoriques possible.....	7
Figure I. 4: Cassure de barres.....	8
Figure I. 4: Cassures de barres et de portions d'anneaux.....	9
Figure I. 5 Excentricité statique. Excentricité dynamique (plusieurs).....	10
CHAPITRE II	PAGES
Figure II. 1: Structure multi-enroulements du rotor.....	14
Figure II. 2: Circuit électrique équivalent de la cage rotorique.....	15
CHAPITRE III	PAGES
Figure III.1: Couple électromagnétique correspondant.....	22
Figure III.2 : Vitesse de rotation pour un démarrage à vide.....	23
Figure III.3 : Courant correspondant de la phase A statorique.....	23
Figure III.4 : Courant de la maille r1 rotorique.....	23
Figure III.5 : spectre linéaire du courant.....	25
Figure III.6 : PSH en fonction d'amplitude.....	25
Figure III.7 : Couple électromagnétique correspondant.....	26
Figure III.8 : Vitesse de rotation pour un démarrage à vide.....	26
Figure III.9 : Courant correspondant de la phase A statorique.....	27
Figure III.10 : ZOOM de Courant correspondant de la phase A statorique.....	27
Figure III.11: spectre linéaire du courant avec 3 barre cassée.....	28
Figure III.12 : spectre linéaire du courant avec 4 barres cassée.....	28
Figure III.13 : Evolution des raies $(1\pm g)f_s$ en fonction de la charge 1BAR(100).....	29
Figure III.14 : Evolution des raies $(1\pm g)f_s$ en fonction de la charge 1BAR(300).....	30
Figure III.15 : Evolution des raies $(1\pm g)f_s$ en fonction de la charge 2BAR(300).....	30
Figure III.16 : Evolution des raies $(1\pm g)f_s$ en fonction de la charge 3BAR(300).....	31
Figure III.17 : Evolution des raies $(1\pm g)f_s$ en fonction de la charge 4BAR(300).....	31
Figure III.18 : Couple électromagnétique correspondent et leur zoom.....	32
Figure III.19 : courant statorique.....	32
Figure III.20 : spectre du courant.....	33

LISTE DES ABREVIATIONS

S	: Surface fermée.
Ω	: Surface enfermée par un contour.
μ_0	: Perméabilité magnétique de l'air.
\mathbf{H}	: Champ magnétique.
\mathbf{B}	: Induction magnétique.
ϕ	: Flux magnétique.
L_{BA}	: Inductance mutuelle entre l'enroulement B et A .
L_b	: Inductance de fuite d'une barre rotorique.
L_e	: Inductance de fuite d'un segment d'anneau de court-circuit.
L_{mr}	: Inductance de magnétisation d'une maille rotorique.
L_{Am}	: Inductance de magnétisation d'une phase statorique.
L_{fA}	: Flux de fuite d'une phase statorique.
ψ_{BA}	: Flux mutuelle total entre deux enroulements A et B .
F	: Force magnétomotrice.
\mathcal{F}	: Force mécanique.
g	: Epaisseur de l'entrefer, ou fonction d'entrefer.
g_0	: Epaisseur de l'entrefer de la machine symétrique.
P	: permeance de l'entrefer.
g	: Glissement.
r	: Rayon moyen de l'entrefer de la machine symétrique.
\mathcal{R}	: Rayon de l'entrefer.
R_b	: Résistance d'une barre rotorique.
R_e	: Résistance d'un anneau de court-circuit.
r_s	: Résistance d'une phase statorique.
$[R_s]$: Matrice des résistances statoriques.
$[R_r]$: Matrice des résistances rotoriques.
$[R]$: Matrice globale des résistances de la machine.
$[V_s]$: Matrice des tensions statoriques.
$[V_r]$: Matrice des tensions rotoriques.

$[I_s]$: Matrice des courants statoriques.
$[I_r]$: Matrice des courants rotoriques.
$R_{scontact}$: Résistance de la branche de court-circuit.
R_{sd}	: Résistance effective de la branche court-circuitée.
$V_{scontact}$: Tension de la branche de court-circuit.
V_{sd}	: Tension de la branche court-circuitée.
$i_{scontact}$: Courant dans la branche de court-circuit.
i_{sd}	: Courant dans la branche court-circuitée.
Ω_r	: Vitesse mécanique du rotor.
ω_s	: Pulsation statorique.
φ	: Ouverture angulaire.
θ_r	: Position mécanique du rotor.
J	: Densité de courant.
J_T	: Moment d'inertie totale.
i	: Courant électrique.
l	: Longueur active de la machine.
w_{Ai}	: Nombre de tours de la bobine i de l'enroulement A .
q	: Nombre de bobines de l'enroulement A .
p	: Nombre de bobines de l'enroulement B .
p	: Nombre de paires de pôles.
N	: Fonction d'enroulement.
N_s	: Nombre de spires.
N_e	: Nombre d'encoches statoriques.
N_b	: Nombre de barres rotoriques.
n	: Fonction de distribution.
$n_{\omega s}$: Ordre des harmoniques de temps de la FMM.
n_d	: Ordre de l'excentricité.
λ	: Ouverture de la bobine.
β	: Ouverture de l'encoche.
γ	: Inclinaison de l'encoche.
α_s	: Pas d'encoches statoriques.
α_r	: Pas d'encoches rotoriques.

δ_s	: Degré d'excentricité statique.
δ_d	: Degré d'excentricité dynamique.
δ	: Degré d'excentricité total.
f_v	: Coefficient de frottement visqueux.
f_s	: Fréquence d'alimentation.
f_r	: Fréquence rotorique.
f_{he}	: Fréquence des harmoniques d'encoches rotoriques.
f_v	: Fréquence caractéristique de vibration.
f_{bille}	: Fréquence de vibration relative aux défauts de billes.
$f_{b.int}$: Fréquence de vibration relative au défaut de bague intérieure.
$f_{b.ext}$: Fréquence de vibration relative au défaut de bague extérieur.
f_b	: Fréquence caractéristique du défaut de barres.
f_{ecc}	: Fréquence d'ordre supérieur caractéristique du défaut d'excentricité.
f_{mix}	: Fréquence caractéristique du défaut d'excentricité mixte.
f_{st}	: Fréquence caractéristique du défaut statorique.
f_d	: Fréquence caractéristique du défaut d'excentricité dynamique.
n_b	: Nombre d'éléments roulant du roulement.
β_c	: L'angle de contact des bielles avec les bagues du roulement.
BD	: Le diamètre d'un élément roulant.
PD	: La distance entre les centres des billes diamétralement opposées.
PSH	: Principals slots harmonics (Harmoniques d'encoches principales).

RESUME

Sur la base du grand développement qui a eu lieu dans les domaines électriques, nous avons remarqué que les moteurs asynchrones ont joué un rôle majeur dans ce secteur, en raison de leurs avantages particuliers (durabilité, capacité et coût), qui ont eu un impact positif, en particulier dans le domaine d'entretien et diagnostiquer les pannes à l'avance, car ce dernier nous permet de surveiller le fonctionnement et d'éviter les dysfonctionnements.

D'après notre étude, nous nous sommes également occupés du diagnostic des pannes de la machine synchrone à cage d'écurie multi-enroulement.

Enfin, en bref, notre travail comprenait une étude théorique et une simulation des casseurs des barres dans la cage tournante, plus précisément dans le moteur asynchrone.

ملخص

بناءً على التطور الكبير الذي حصل في الميادين الكهربائية لاحظنا ان المحركات اللاتزامنية اصبح لها دور كبير في هذا القطاع، وذلك نظرا للمميزات الخاصة بها (المتانة، الاستطاعة والتكلفة) حيث اثرت بشكل ايجابي وخاص في مجال الصيانة و تشخيص الاعطاب بشكل مسبق حيث يسمح لنا هذا الاخير بمراقبة التشغيل وتجنب الأعطال.

وحسب دراستنا تطرقنا ايضا الى تشخيص الأعطاب في الالة التزامنية ذات قفص السنجاب حيث انتهجنا من خلالها نموذج متعدد الفات.

واخيرا باختصار تضمن عملنا دراسة نظرية ومحاكاة تكسر القضبان في القفص الدوار وتحديد ا في المحرك اللاتزامني، حيث تهدف أساسا الى التحقق من تأثير تكسر القضبان على السلوك الكهربائي للآلة خاصة في بقية القضبان للجزء الدوار.

SOMMAIRE

<i>TITRE</i>	<i>PAGES</i>
DEDICACE	I
REMERCIEMENT	II
LISTE DES TABLEAUX	III
LISTE DES FIGURES	IV
LISTE DES ABREVIATIONS	V
RESUME	VI
INTRODUCTION GENERALE	1
Chapitre I. Etat de l'art	3
I.1. Introduction	4
I.2. Eléments de constitution de la machine asynchrone	4
I.2.1. Stator	5
I.2.2. Rotor	5
I.2.3. Paliers	5
I.3. Avantages et Inconvénients de la machine asynchrone	5
I.4. Causes des Défauts	6
I.4.1. Défauts statoriques	6
I.4.2. Défauts rotoriques	6
I.5. Différents défauts dans la machine asynchrone à cage	7
I.5.1. Défauts statoriques	7
I.5.2. Défauts rotoriques	8
I.5.2.1 : Casseur des barres	8
I.5.2.2. Les casseurs de barres et de portions d'anneaux des cages	9
I.6. L'excentricité	9
I.7. Méthodes de diagnostic des défauts basses sur l'analyse spectrale des signaux	10
I.7.1. Diagnostic par mesure des vibrations mécaniques	11
I.7.2. Diagnostic par mesure du flux magnétique axial de fuite	11
I.7.3. Diagnostic par l'analyse des tensions statoriques induits	11
I.7.4. Diagnostic par mesure du couple électromagnétique	11
I.7.5. Diagnostic par mesure de la puissance instantane	12
I.7.6. Diagnostic par mesure du courant statorique	12
I.8. Conclusion	12
Chapitre II. Modélisation de la machine asynchrone multi-enroulement	13
II.1. Introduction	14
II.2. Modèle multi-enroulement	14

II.2.1. Equations des tensions	15
II.2.2. Equation mécanique	18
II.2.3. Systeme des équation global	19
II.3. Calcul des inductances : cas general	20
II.4. Conclusion	20
Chapitre III. Simulation de la machine asynchrone	21
III.1. Introduction	22
III.2. Résultats de simulation de la machine asynchrone	22
III.2.1. Résultats de simulation d'un fonctionnement sain	22
III.2.a. Interpretation des resultas	24
III.2.2. Les défauts d'Excentricité	25
III.2.3. Résultats de simulation d'un fonctionnement avec défaut de cassure des barres	26
III.2.3.a. Interepetition des resultas	27
III.2.4. Résultats de simulation d'un fonctionnement avec couple de la charge	32
III.2.4.a. Remarque	33
III.3. Conclusion	33
CONCLUSION GENERALE	34
BIBLIOGRAPHIE	36

INTRODUCTION GENERALE

INTRODUCTION GENERALE

Dans tous les secteurs industriels, la sécurité des personnes, du matériel, de l'environnement du travail, la qualité de service et la rentabilité des installations imposent des contraintes sévères de fiabilité et de sûreté de fonctionnement. Cependant, nul système n'est à l'abri d'une défaillance, par conséquent, ceci exige la mise en œuvre de systèmes de prévoyance et de détection de défauts de manière précoce. Aussi depuis quelques années, et grâce à l'apport considérable de l'outil informatique et du matériel numérique, il est devenu possible de créer des systèmes de supervision et de diagnostic. Leur rôle est de signaler la présence des dysfonctionnements dans le processus (soit dans les machines électriques).

Les machines asynchrones triphasées constituent la base de la majorité des équipements industriels, essentiellement au regard de leur robustesse et de leur faible coût. Cependant, bien que robustes, ces machines subissent des perturbations auxquelles elles sont sensibles. Les principaux défauts recensés sont les courts circuits entre spires des bobinages du stator (dus au vieillissement des isolants), les dégradations des anneaux au rotor et tous les problèmes de barres (ruptures ou imperfections). Le premier type de défaut peut être détecté par l'observation des paramètres électriques du stator (inductances et résistances). Pour les défauts rotoriques, le modèle est plus complexe dans le sens que le défaut doit être ramené vers ou signalé par une grandeur mesurable extérieure au rotor lui-même. Ce qui confère une importance capitale à la détection de défauts [1]. A la lumière de ce qui a précédé ce travail abordera sous formes de chapitres les points suivants :

Le premier chapitre recense les différents défauts des machines asynchrones d'une manière plus ou moins brève, on y cite des techniques de détection et de diagnostic des défauts choisies parmi quelques travaux.

Le deuxième chapitre est consacré à la présentation du modèle de la machine asynchrone pour la simulation des ruptures de barres où nous présentons le développement du modèle multi enroulements dans une approche analytique.

Dans le troisième chapitre, nous avons validé le modèle par simulation et nous avons présenté les résultats de la machine saine , avec défauts et avec le couple de charge.

Chapitre I :
ETAT DE L'ART

I.1. Introduction :

Depuis le *XXe*, le moteur asynchrone est de plus en plus utilisé dans les applications industrielles et le transport, devenant un élément-clé dans les installations industrielles à cause de divers avantages tels que la maniabilité, le faible coût, la fiabilité élevée, la haute efficacité, la robustesse. Depuis longtemps la machine asynchrone a été concurrencée par la machine synchrone dans les domaines de forte puissance, jusqu'à l'amélioration de l'électronique de puissance, et grâce à cette dernière, elle est de plus en plus utilisée en mode génératrice après qu'elle était à l'origine uniquement utilisée en mode moteur, et son utilisation comme une génératrice dans les éoliennes est un exemple.

Quoique la machine asynchrone à cage soit réputée comme la plus robuste des machines électriques, elle reste le maillon faible dans une chaîne de production, car toute panne survenue peut faire arrêter tout le processus industriel et causer des pertes financières coûteuses.

I.2. Eléments de constitution de la machine asynchrone :

On se propose, dans cette partie, de donner quelques précisions sur les éléments de constitution des machines asynchrones. Cette description va nous permettre de comprendre de quelle façon le système est réalisé physiquement. Les machines asynchrones triphasées peuvent se décomposer, du point de vue mécanique, en trois parties distinctes :

- Le stator, partie fixe de la machine où est connectée l'alimentation électrique ;
- Le rotor, partie tournante qui permet de mettre en rotation la charge mécanique ;
- Les paliers, partie mécanique qui permet la mise en rotation de l'arbre moteur.

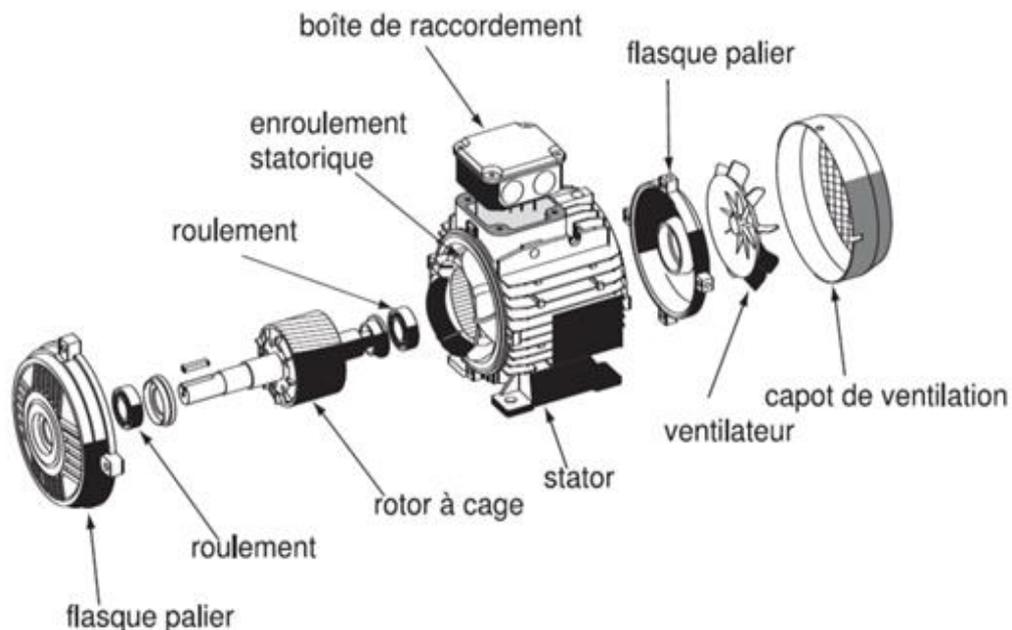


Figure I.6 : Moteur asynchrone éclaté à cage.

I.2.1. Stator :

Le circuit magnétique du stator est réalisé par un assemblage de tôles ferromagnétiques fines et découpées, faisant apparaître les différentes encoches statoriques. L'utilisation des tôles minces permet de minimiser les pertes dans le circuit magnétique. De plus, afin de limiter l'effet des courants de Foucault, on isole habituellement les tôles d'une mince couche de vernis ou de silicate de soude. Le bobinage statorique peut se décomposer en deux parties : les conducteurs d'encoches et les têtes de bobines. Les conducteurs d'encoches permettent de créer dans l'entrefer le champ magnétique à l'origine de la conversion électromagnétique. Les têtes de bobines permettent, quant à elles, la fermeture des courants en organisant leur circulation, l'objectif étant d'obtenir une répartition des forces magnétomotrices et du flux la plus sinusoïdale possible dans l'entrefer, pour limiter les oscillations du couple électromagnétique [2],[3]

I.2.2. Rotor :

Le rotor est constitué comme le stator de tôles empilées et habituellement du même matériau. Dans les petits moteurs, les tôles sont découpées dans une seule pièce et assemblées sur un arbre. Dans les plus gros moteurs, chaque lamination est constituée de plusieurs sections montées sur un moyeu. Dans le rotor à cage d'écureuil, les conducteurs sont des barres obtenues par injection d'un alliage d'aluminium ou préformées en cuivre et introduites dans les tôles du rotor, il n'y a généralement pas ou très peu d'isolation entre les barres rotoriques et les tôles magnétiques, mais leur résistance est suffisamment forte pour que les courants ne circulent pratiquement pas dans les tôles, sauf lorsqu'il y a une rupture de barre [2].

I.2.3. Paliers :

Les paliers, qui permettent de supporter et de mettre en rotation l'arbre rotorique, sont constitués de flasques et de roulements à billes insérés à chaud sur l'arbre. Les flasques, moulés en fonte, sont fixés sur le carter statorique grâce à des boulons ou des tiges de serrage comme nous pouvons le visualiser sur la figure {I.1} L'ensemble ainsi établi constitue alors la machine asynchrone à cage d'écureuil.

I.3. Avantages et Inconvénients de la machine asynchrone :

Les avantages et les inconvénients de la machine asynchrone sont assez nombreux mais les principaux sont résumés dans le tableau suivant :

Avantages	Inconvénient
<ul style="list-style-type: none">✓ Structure simple.✓ Robuste et facile à construire.✓ Coût réduit.✓ Absence d'un système bagues balais.	<ul style="list-style-type: none">✓ Non découplage naturel.✓ Non linéarités.

Tableau I.3 Avantages et inconvénients de la machine asynchrone

I.4. Causes des Défaits :

Les causes des défauts au stator et au rotor sont multiples [4], les plus fréquentes d'entre eux sont énumérées ci-dessous.

I.4.1. Défaits statoriques :

- Court-circuit entre spires : surtension, température excessive, vibration, humidité ;
- Court-circuit entre phases : haute température, alimentation déséquilibrée, défaut d'installation ;
- Défaut d'isolation : démarrage fréquent, décharge partielle, condition, température et humidité extrême ;
- Défaut entre le stator et carcasse : cycle thermique, abrasion de l'isolant, encrassement des spires par la carcasse, présence des points anguleux dans les encoches, choc ;
- Déplacement des conducteurs : démarrage fréquent, vibration de tête de bobines ;
- Défaillance des connecteurs : vibration excessive ;
- Vibration de la carcasse : mauvaise installation, déséquilibre magnétique, déséquilibre d'alimentation, surcharge, mouvement des enroulements, contact avec le rotor.

I.4.2. Défaits rotoriques :

Défaut de roulements : mauvaise installation, déséquilibre magnétique, haute température, perte de lubrifiant, charge déséquilibrée, corrosion ;

- Rupture de barres : cycle thermique, régime transitoire à longue durée ; déséquilibre magnétique ;
- Rupture d'une portion d'anneau : cycle thermique ;
- Excentricité : mauvaise installation, déséquilibre magnétique, défauts des roulements ;
- Désalignement des roulements : défaut de couplage, mauvaise installation, surcharge ;
- Défaut du circuit magnétique : défaut de fabrication, surcharge, cycle thermique ;
- Déséquilibre mécanique : mauvais alignement, mouvement des anneaux de court-circuit.

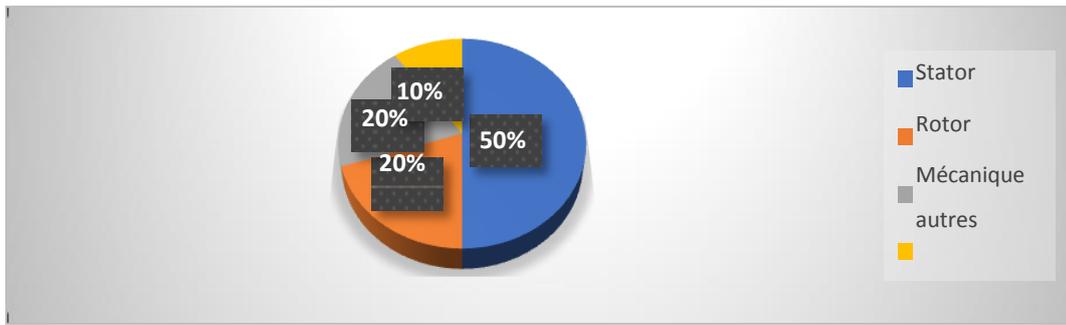


Figure I. 7 : La répartition des pannes.

I.5. Différents défauts dans la machine asynchrone à cage :

I.5.1. Défauts statoriques :

L'apparition d'un défaut au niveau des circuits électriques statorique de la machine asynchrone peut avoir des origines diverses. On peut citer à titre d'exemple, les défauts de type courts-circuits inter-spires qui apparaissent à l'intérieur des encoches statoriques. Ce type de défauts peut être causé par une dégradation des isolants des spires du bobinage statorique.

On peut citer aussi les courts-circuits qui apparaissent entre une phase et le neutre, entre une phase et la carcasse métallique de la machine ou entre deux phases statoriques. Les courts-circuits entre spires est donc le défaut le plus fréquemment rencontré au stator, la fréquence caractéristique de ce défaut est [5] :

$$f_{cc} = f_s \left\{ \frac{n}{p} (1 - g) \pm k \right\} \quad [I.1]$$

Où

f_{cc} : fréquence de court-circuit ; $n = 1, 2, 3, \dots, n \in \mathbb{N}$;

p = nombre de pair de pôles ; g = glissement.

$k = 1, 2, 3, \dots, k \in \mathbb{N}$.

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

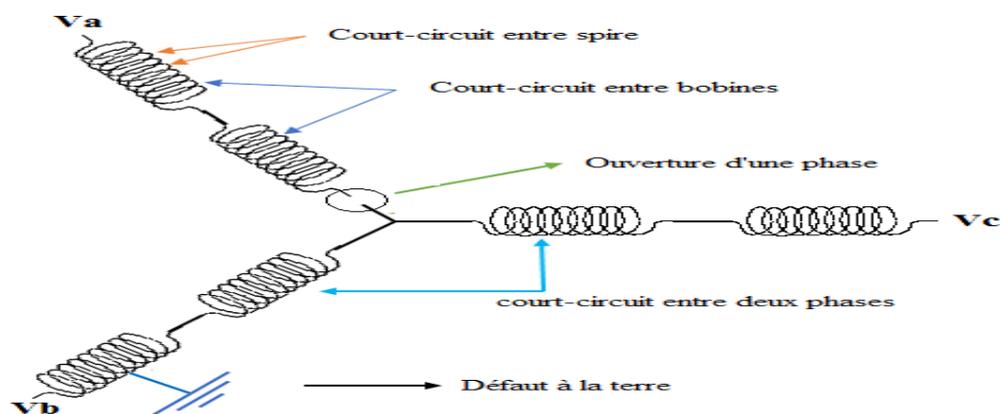


Figure I. 8: Représentation des différents défauts statoriques possible

I.5.2. Défauts rotoriques :

L'analyse du spectre du courant statorique en régime permanent fournit des indications sur les défaillances rotoriques telles que les ruptures de barres, d'anneaux de court-circuit ou l'excentricité d'entrefer [6] [7].

I.5.2.1 : Casseur des barres :

La cassure ou rupture de barre est un des défauts les plus fréquents au rotor. Elle peut se situer soit au niveau de son encoche soit à l'extrémité qui la relie à l'anneau rotorique. La détérioration des barres réduit la valeur moyenne du couple électromagnétique et augmente l'amplitude des oscillations, qui elles-mêmes provoquent des oscillations de la vitesse de rotation, ce qui engendre des vibrations mécaniques et donc, un fonctionnement anormal de la machine. La grande amplitude de ces oscillations accélère la détérioration de la machine. Ainsi, le couple diminue sensiblement avec le nombre de barres cassées induisant un effet cumulatif de la défaillance. L'effet d'une cassure de barre croît rapidement avec le nombre de barres cassées [8].

Un grand nombre de communications présentant de nombreuses techniques utilisées pour détecter une barre de rotor cassée dans les moteurs à induction en raison de propriétés non invasives. Outils de traitement de signal tels que Fast Fourier Transforme (FFT), Transformée de Fourier en temps court (STFT) et Prony Analyses (PA) ont été introduits pour extraire la faute informations connexes des signaux de courant du stator [9].

La présence d'une barre rotorique cassée provoque une asymétrie rotorique qui a son tour produit des raies spectrales autour de la fréquence fondamentale f_s telles que La relation de la fréquence est donnée sous la forme [10] :

$$f_{bc} = (1 \pm 2kg) f_s \quad [I.2]$$

f_{bc} : fréquence de barre cassé.

f_s : Fréquence d'alimentation statorique

$k = 1, 2, 3, \dots$

g : glissement.

La sévérité du défaut dépend directement de l'amplitude de ces composantes spectrales [9].

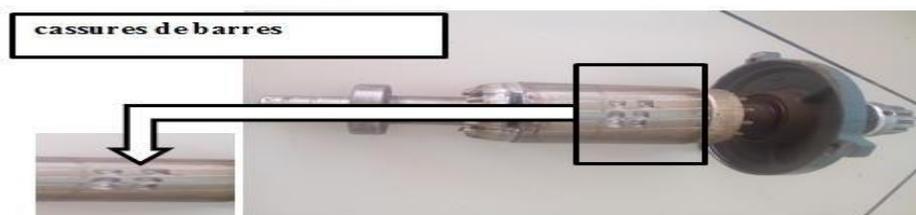


Figure I. 9: Cassure de barres.

I.5.2.2. Les casseurs de barres et de portions d'anneaux des cages :

La détection de ces défaillances est rendue difficile par le fait que lors de leurs apparitions, la machine continue de fonctionner. Ces défauts ont par ailleurs un effet cumulatif. Le courant que conduisait une barre cassée, par exemple, se répartit sur les barres adjacentes. Ces barres sont alors surchargées, ce qui conduit à leurs ruptures, et ainsi de suite jusqu'à la rupture d'un nombre suffisamment important de barres pour provoquer l'arrêt de la machine. Elles provoquent aussi une dissymétrie de répartition de courants au rotor, ceci va générer des vibrations et l'apparition de défauts mécaniques [11]



Figure I. 10: Cassures de barres et de portions d'anneaux

I.6. L'excentricité :

L'excentration du rotor est l'un des problèmes les plus courants dans les machines tournantes. L'excentration peut être plane ou à trois dimensions ou inclinée. Dans une excentration plane, l'axe de rotation est parallèle à l'axe du stator. Dans une excentration à trois dimensions, l'axe de rotation n'est pas parallèle à l'axe du stator, et en réalité, une excentration ne se limite pas à un problème plan mais plutôt à trois dimensions. Cependant, la plupart des chercheurs ramènent le problème à un problème plan ; dans ce cas, on peut mettre en œuvre une méthode unique pour la détection d'une excentration qu'elle soit plane ou à trois dimensions. [12]

Ce défaut modifie les comportements magnétique et mécanique de la machine. En effet l'augmentation de l'excentricité dans l'entrefer induit une augmentation des forces électromagnétiques qui agissent directement sur l'armature statorique ainsi que l'enroulement peut correspondant, ce qui engendre une dégradation de son isolation. D'autre part, cette augmentation avoir comme conséquence des frottements entre le stator et le rotor en raison des forces d'attraction magnétique qui déséquilibrent

le système. Ceci donne naissance à des niveaux de vibration considérables dans les enroulements [13].

La position du rotor par rapport au stator peut présenter des dissymétries qui sont regroupées en trois catégories :

- Excentricité statique : l'axe du rotor reste fixe et le centre de rotation de l'arbre du rotor n'est pas celui du centre géométrique du stator.
- Excentricité dynamique : Le centre de rotation du rotor diffère du centre géométrique du stator et le centre du rotor tourne autour du centre géométrique de ce stator.
- Excentricité mixte : dans laquelle l'axe du rotor tourne autour d'un axe différent de celui du stator.

Elle est donc la combinaison des excentricités statique et dynamique. Dans la plupart des machines tournantes, on observe cette dernière forme d'excentration. [12][14]



Figure I. 11 Excentricité statique.

Excentricité dynamique (plusieurs)

I.7. Méthodes de diagnostic des défauts basses sur l'analyse spectrale des signaux :

Pour effectuer le diagnostic d'une installation industrielle, les opérateurs de maintenance analysent un certain nombre de signaux issus de la machine. En effet, l'évolution temporelle et le contenu spectral de ces signaux, peuvent être exploités pour détecter et localiser les anomalies qui affectent le bon fonctionnement de la machine. D'après la littérature, les principales techniques du diagnostic utilisées pour obtenir des informations sur l'état de santé de la machine sont les suivantes :

I.7.1. Diagnostic par mesure des vibrations mécaniques :

Le diagnostic des défauts en utilisant les vibrations mécaniques est la méthode la plus utilisée dans la pratique. Les forces radiales, créées par le champ d'entrefer, provoquent des vibrations dans la machine asynchrone. Ces forces sont proportionnelles au carré de l'induction magnétique [15].

$$\sigma(\theta, t) = \frac{B_s^2(\theta, t)}{2\mu_0} \quad [I.3]$$

La distribution de l'induction magnétique dans l'entrefer, est le produit de la F.m.m(Fm) et de la perméance (P).

$$B = Fm.P \quad [I.4]$$

La force magnétomotrice contient les effets des asymétries du stator ou du rotor, en plus la perméance dépend de la variation de l'entrefer (à cause des ouvertures des encoches statoriques et rotoriques, l'excentricité). De ce fait, l'analyse spectrale des signaux de vibrations mécaniques, permet la détection aussi bien les défauts électriques que mécaniques. Les spectres des signaux de vibrations, issus du moteur avec défaut, sont comparés avec ceux enregistrés lorsque le moteur est en bon état. Les vibrations de la machine peuvent être captés par des accéléromètres.

I.7.2. Diagnostic par mesure du flux magnétique axial de fuite :

Dans une machine idéale et sans défaut, les courants et les tensions statoriques sont équilibrés, ce qui annule le flux de fuite axial. La présence d'un défaut quelconque, provoque un déséquilibre électrique et magnétique au niveau du stator ce qui donne naissance à des flux de fuite axial de valeurs dépendent au degré de sévérité du défaut. Si on place une bobine autour de l'arbre de la machine, elle sera le siège d'une force électromotrice induite. L'analyse spectrale de la tension induite dans cette bobine peut être exploitée pour détecter les différents défauts [15].

I.7.3. Diagnostic par l'analyse des tensions statoriques induits :

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 de réseau. La rupture d'une barre va affecter directement la tension induite dans les enroulements statoriques. En utilisant cette approche, les effets du non – idéalité de la source (déséquilibres et présence des harmoniques) ainsi que la non – linéarité des caractéristiques magnétiques de la machine peuvent être évités.

I.7.4. Diagnostic par mesure du couple électromagnétique :

Cette technique, permet de détecter aussi bien les défauts rotoriques que les défauts de court-circuit entre spires dans les bobines statoriques. Le couple électromagnétique développé dans la

machine électrique, provient de l'interaction entre le champ statorique et celui rotorique. Par conséquent, tous défauts, soit au niveau du stator ou au rotor, affectent directement le couple électromagnétique. L'analyse spectrale du signal du couple (mesuré ou estimé), donne des informations sur l'état de la santé du moteur[15], [16].

I.7.5. Diagnostic par mesure de la puissance instantane :

La puissance instantanée est la somme des produits des courants est des tensions dans les trois phases statoriques. Donc, le niveau des informations, apportées par cette grandeur, est plus grand que celui apportées par le courant d'une seule phase. Ceci présente l'avantage de cette méthode par rapport aux autres [15].

I.7.6. Diagnostic par mesure du courant statorique :

Parmi tous les signaux utilisables, le courant statorique s'est avéré être l'un des plus intéressants, car, il est très facile d'accès et il nous permet de détecter aussi bien des défauts électromagnétiques que des défauts purement mécaniques. Cette technique est dénommée dans la littérature "Motor Current Signature

Analysis" (MCSA) [15], [17]. Les défauts de la machine asynchrone se traduisent dans le spectre du courant statorique soit par :

- L'apparition des raies spectrales dont les fréquences sont directement liées à la fréquence de rotation de la machine, aux fréquences des champs tournants et aux paramètres physiques de la machine (nombre d'encoche rotorique et nombre de paires de pôles).
- La modification de l'amplitude des raies spectrales, déjà présentes dans le spectre du courant.

La surveillance via le courant statorique nécessite une bonne connaissance des défauts et leurs signatures.

I.8. Conclusion :

Ce chapitre est essentiellement consacré à l'état de l'art de la machine asynchrone, nous avons rappelé les éléments constructifs et panorama de Recensement des défauts de la machine asynchrone à cage d'écureuil et nous avons également décrit la majorité des défauts qui peuvent apparaître ainsi que leurs causes et influences sur le comportement de la machine, puis discutons des paramètres indicateurs de défauts et les méthodes de diagnostic.

Le chapitre suivant sera consacré à la modélisation de la machine en vue d'étudier les défauts statoriques (modèle multi enroulements triphasé).

Chapitre II :
***Modélisation de la machine
asynchrone multi-enroulement***

II.1 : INTRODUCTION

La mise en point d'une procédure de diagnostic, à base de modèles analytiques pour les machines asynchrones, nécessite la synthèse d'un modèle décrivant complètement de la machine non pas d'une façon moyenne, comme pour la commande, mais d'une façon plus exacte et plus fine en intégrant certains paramètres de la machine. Le modèle simple (d, q), négligeant un certain nombre de phénomènes, ses modèles sont fréquemment affectés par les transformations et le changement d'axe. Donc, il a fallu s'orienter vers le modèle multi-enroulement pour une description adaptée aux défauts. La modélisation décrite dans ce chapitre a pour objet de représenter les barres pour une machine asynchrone à cage, nous avons privilégié l'approche analytique afin de disposer d'un modèle mathématique ne nécessitant pas d'outils de calcul complexe [18].

II.2 : MODELE MULTI-ENROULEMENTS

La figure II.1 représente le rotor d'une machine asynchrone à cage assimilé à un enroulement polyphasé, chaque maille est constituée de deux barres adjacentes et de deux portions d'anneau de court-circuit. Le circuit statorique est composé d'un enroulement triphasé qui peut être placé dans les encoches statoriques selon différentes manières définissant ainsi le type de bobinage adopté.

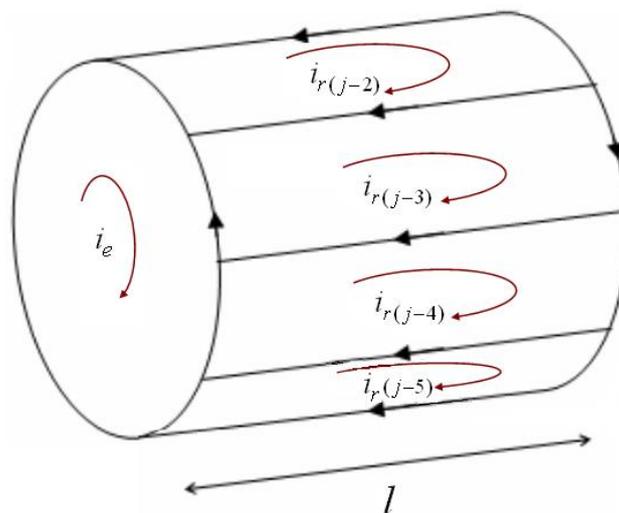


Figure II.1. Structure multi-enroulements du rotor.

Partant de cette représentation, il serait possible d'établir les équations générales régissant le fonctionnement en se basant sur des hypothèses simplificatrices dont les plus importantes sont :

1. Pas de saturation dans le circuit magnétique.
2. L'hystérésis et les courants de Foucault sont négligeables.
3. Pas de phénomène de l'effet de peau.
4. La perméabilité du fer est supposée infinie.

II.2.1 Equations des tensions

La figure II.2 montre le circuit électrique équivalent d'une maille rotorique, là où les barres rotoriques et les portions d'anneaux de court-circuit sont représentées par leurs résistances et inductances de fuite correspondantes.

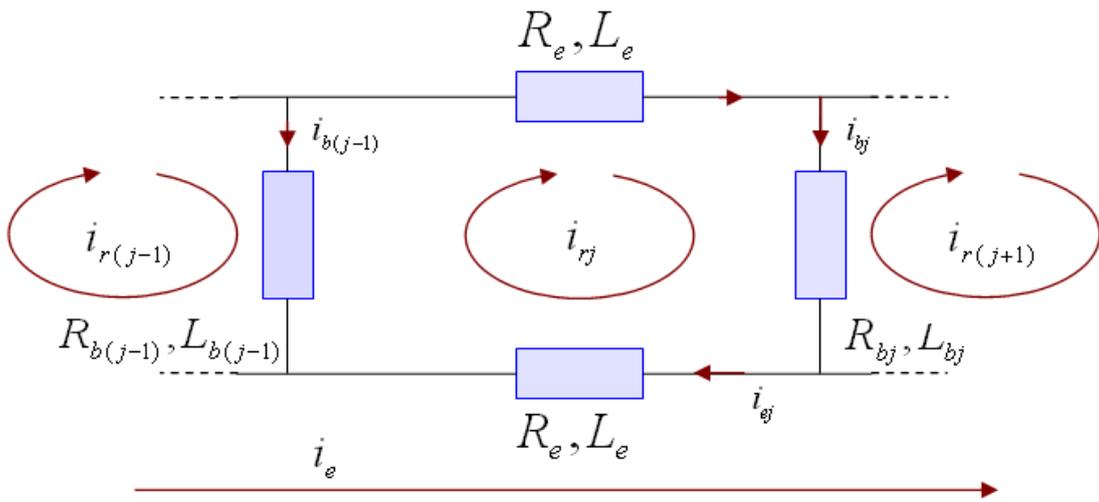


Figure II.2. Circuit électrique équivalent de la cage rotorique.

En faisant référence à la figure II.2, les équations des tensions des trois phases statoriques et des $(N_b + 1)$ mailles rotoriques seront :

$$[V_s] = [R_s][I_s] + \frac{d[\psi_s]}{dt}. \quad (\text{II.1})$$

$$[V_r] = [R_r][I_r] + \frac{d[\psi_r]}{dt}. \quad (\text{II.2})$$

Où $[\psi_s]$ et $[\psi_r]$ représentent les vecteurs regroupant les flux totaux à travers les enroulements statoriques et rotoriques respectivement. $[I_s]$ et $[I_r]$ sont les courants correspondants, avec :

$$[\psi_s] = [L_{ss}][I_s] + [L_{sr}][I_r], \quad (\text{II.3})$$

$$[\psi_r] = [L_{rs}][I_s] + [L_{rr}][I_r], \quad (\text{II.4})$$

$$[V_s] = [V_{sA} \ V_{sB} \ V_{sC}], \quad (\text{II.5})$$

$$[V_r] = [V_{r1} V_{r2} \dots V_{rN_b} V_{re}]^T, \quad (II.6)$$

$$[I_s] = [i_{sA} \ i_{sB} \ i_{sC}]^T, \quad (II.7)$$

$$[I_r] = [i_{r1} i_{r2} \dots i_{rN_b} i_{re}]^T, \quad (II.8)$$

Tel que i_{rj} et i_{re} sont respectivement les courants de la $j^{ème}$ maille rotorique et de l'anneau de court-circuit. V_{rj} et V_{re} sont les tensions correspondantes avec, pour un rotor à cage (mailles court-circuitées), $V_{re} = 0$ et $V_{rj} = 0$; $j = 1, 2, \dots, N_b$.

Les matrices des résistances sont des matrices symétriques. $[R_s]$ est une matrice 3×3 , tandis que $[R_r]$ possède $(N_b + 1) \times (N_b + 1)$ éléments qu'on peut reconstituer à partir des lois relatives aux circuits électriques.

Soit dans ce cas :

$$[R_s] = r_s [I]. \quad (II.9)$$

$$[R_r] = \begin{bmatrix} R_{r1} + R_{rN_b} + 2R_e & -R_{r1} & 0 & \dots & -R_{rN_b} & \vdots & -R_e \\ \vdots & \ddots & \vdots & \ddots & \vdots & \vdots & \vdots \\ 0 & -R_{r(j-1)} & R_{rj} + R_{r(j-1)} + 2R_e & -R_{rj} & 0 & \vdots & \vdots \\ \vdots & \vdots & \vdots & \ddots & \vdots & \vdots & \vdots \\ -R_{rN_b} & 0 & \dots & \dots & R_{r(N_b-1)} + R_{rN_b} + 2R_e & \vdots & -R_e \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ -R_e & \dots & \dots & \dots & -R_e & \vdots & N_b R_e \end{bmatrix}. \quad (II.10)$$

Avec : $[I]$ la matrice identité, r_s la résistance d'une phase statorique, R_{rj} la résistance de la $j^{ème}$ barre rotorique et R_e la résistance d'un segment d'anneau de court-circuit.

Comme le montrent les expressions (II.11) et (II.12), les matrices des inductances statoriques et rotoriques sont des matrices 3×3 et $(N_b + 1) \times (N_b + 1)$ respectivement, exprimées en diagonale par les inductances propres de chaque enroulement, et dans le reste, par les inductances mutuelles entre enroulements (phases statoriques ou mailles rotoriques). Les expressions détaillées des éléments de chaque matrice seront exposées par la suite.

$$[L_{ss}] = \begin{bmatrix} L_A & L_{AB} & L_{AC} \\ L_{BA} & L_B & L_{BC} \\ L_{CA} & L_{CB} & L_C \end{bmatrix}. \quad (II.11)$$

$$[L_{rr}] = \begin{bmatrix} L_{mr} + 2(L_b + L_e) & L_{r1r2} - L_b & \cdots & L_{r1r(N_b-1)} & L_{r1rN_b} - L_b & \vdots & -L_e \\ L_{r2r1} - L_b & L_{mr} + 2(L_b + L_e) & \cdots & L_{r2r(N_b-1)} & L_{r2rN_b} & \vdots & -L_e \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ L_{r(N_b-1)r1} & L_{r(N_b-1)r2} & \cdots & L_{mr} + 2(L_b + L_e) & L_{r(N_b-1)rN_b} - L_b & \vdots & -L_e \\ L_{rN_b r1} - L_b & L_{rN_b r2} & \cdots & L_{rN_b r(N_b-1)} - L_b & L_{mr} + 2(L_b + L_e) & \vdots & -L_e \\ \cdots & \cdots & \cdots & \cdots & \cdots & \cdots & \cdots \\ -L_e & -L_e & -L_e & -L_e & -L_e & \vdots & N_b L_e \end{bmatrix} \quad (\text{II.12})$$

Quant à $[L_{sr}]$, elle comporte $3 \times (N_b + 1)$ éléments qui constituent les inductances mutuelles entre les phases statoriques et les mailles rotoriques. Et elle est donnée par :

$$[L_{sr}] = \begin{bmatrix} L_{Ar1} & L_{Ar2} & \cdots & L_{Ar(N_b-1)} & L_{ArN_b} & 0 \\ L_{Br1} & L_{Br2} & \cdots & L_{Br(N_b-1)} & L_{BrN_b} & 0 \\ L_{Cr1} & L_{Cr2} & \cdots & L_{Cr(N_b-1)} & L_{CrN_b} & 0 \end{bmatrix}. \quad (\text{II.13})$$

Là où L_{Arj} représente l'inductance mutuelle entre la phase statorique A et la $j^{\text{ème}}$ maille rotorique. Pour ce qui est de $[L_{rs}]$, elle est une matrice $(N_b + 1) \times 3$ qu'on obtient de la même façon en posant au place dès L_{Arj} les inductances mutuelles L_{rjA} . De même pour les phases B et C . L'inductance mutuelle entre chaque phase statorique et l'anneau de court-circuit est négligée du fait qu'ils peuvent être assimilés à des bobines à axes perpendiculaires.

En regroupant les équations (II.1) et (II.2) dans une même équation matricielle, nous aboutissons à :

$$[V] = [R][I] + \frac{d([L][I])}{dt}, \quad (\text{II.14})$$

ce qui donne :

$$[V] = [R][I] + [I] \frac{d\theta_r}{dt} \cdot \frac{d[L]}{d\theta_r} + [L] \frac{d[I]}{dt}, \quad (\text{II.15})$$

$$[V] = [R][I] + [I] \Omega_r \cdot \frac{d[L]}{d\theta_r} + [L] \frac{d[I]}{dt}, \quad (\text{II.16})$$

tel que :

$$[V] = \begin{bmatrix} [V_s] \\ [V_r] \end{bmatrix}, \quad [I] = \begin{bmatrix} [I_s] \\ [I_r] \end{bmatrix}, \quad (\text{II.17})$$

$$[R] = \begin{bmatrix} [R_s] & 0 \\ 0 & [R_r] \end{bmatrix}, \quad (\text{II.18})$$

$$[L] = \begin{bmatrix} [L_{ss}] & [L_{sr}] \\ [L_{rs}] & [L_{rr}] \end{bmatrix}, \quad (\text{II.19})$$

$$\Omega_r = \frac{d\theta_r}{dt}, \quad (\text{II.20})$$

θ_r est la position angulaire du rotor mesurée par rapport à une référence de phase fixe par rapport au stator, elle est appelée aussi angle mécanique. Tandis que Ω_r représente la vitesse mécanique de l'arbre de la machine.

II.2.2 Equation mécanique

Selon l'application à laquelle est désigné le moteur, il est possible de définir l'équation mécanique du mouvement associé.

$$J_T \cdot \frac{d\Omega_r}{dt} + f_V \Omega_r = C_e - C_r, \quad (\text{II.21})$$

C_e est le couple électromagnétique, C_r le couple résistant, f_V le coefficient de frottement visqueux et J_T le moment d'inertie total des parties tournantes.

Pour un circuit magnétique linéaire, la co-énergie est égale à l'énergie emmagasinée. De ce fait vient :

$$C_e = \left[\frac{\partial W_{co}}{\partial \theta_r} \right]_{(I_s, I_r \text{ constant})}, \quad (\text{II.22})$$

avec :

$$W_{co} = \frac{1}{2} \cdot [I]^T \cdot [L] \cdot [I], \quad (\text{II.23})$$

ce qui donne finalement l'expression du couple électromagnétique.

$$C_e = \frac{1}{2} \cdot [I]^T \cdot \frac{d[L]}{d\theta_r} \cdot [I]. \quad (\text{II.24})$$

Si $[L_{ss}]$ et $[L_{rr}]$ sont constantes, et $[L_{sr}] = [L_{rs}]$, on obtient l'équation suivante du couple :

$$C_e = \frac{1}{2} \cdot [I_s]^T \cdot \frac{d[L_{sr}]}{d\theta_r} \cdot [I_r]. \quad (\text{II.25})$$

II.2.3 Système des équations global

Nous pouvons regrouper ces équations dans une représentation matricielle unique pour aboutir à [19] :

$$\begin{bmatrix} [V] \\ -C_r \\ 0 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \left([R] + \Omega_r \frac{d[L]}{d\theta_r} \right) & 0 & 0 \\ -\frac{1}{2} [I]^T \frac{d[L]}{d\theta_r} & f_v & 0 \\ 0 & -1 & 0 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} [I] \\ \Omega_r \\ \theta_r \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} [L] & 0 & 0 \\ 0 & J_T & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} [\dot{I}] \\ \dot{\Omega}_r \\ \dot{\theta}_r \end{bmatrix}, \quad (\text{II.26})$$

Et une forme condensée :

$$[U] = [B] \cdot [X] + [A] \cdot [\dot{X}], \quad (\text{II.27})$$

Où le vecteur $[\dot{X}]$ peut être écrit comme suit :

$$[\dot{X}] = [A]^{-1} \cdot [U] - [A]^{-1} \cdot [B] \cdot [X]. \quad (\text{II.28})$$

Nous faisons, ainsi, apparaître le vecteur d'état $[X]$ et le vecteur $[U]$ contenant les grandeurs externes à la machine tel que :

$$[U] = \begin{bmatrix} [V] \\ -C_r \\ 0 \end{bmatrix}. \quad (\text{II.29})$$

$$[X] = \begin{bmatrix} [I] \\ \Omega_r \\ \theta_r \end{bmatrix}. \quad (\text{II.30})$$

Avec la définition des matrices **A** et **B** donnée par :

$$[A] = \begin{bmatrix} \left([R] + \Omega_r \frac{d[L]}{d\theta_r} \right) & 0 & 0 \\ -\frac{1}{2} [I]^T \frac{d[L]}{d\theta_r} & f_v & 0 \\ 0 & -1 & 0 \end{bmatrix}. \quad (\text{II.31})$$

$$[\mathbf{B}] = \begin{bmatrix} [L] & 0 & 0 \\ 0 & J_T & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}. \quad (\text{II.32})$$

On se retrouve ainsi face à un système d'équations différentielles régissant le fonctionnement de la machine. Pour parvenir à la solution, une méthode numérique doit être mise en œuvre, la méthode explicite de Runge Kutta s'avère la plus utilisée dans ces cas. Bien avant ça, nous devons définir les matrices **A** et **B** de manière à traduire l'état interne de la machine, à savoir, état sain ou état de défaut.

II.3 : CALCUL DES INDUCTANCES : CAS GENERAL

Dans ce travail le calcul de l'inductance est effectué par emploi de l'approche de la fonction d'enroulement celle-ci peut aboutir aux inductances tout en tenant compte de la distribution réelle des Enroulements ainsi que des états des défauts statorique et rotorique

Les détails de cette méthode est présentée dans [20]

II.4 : CONCLUSION

En fin de cette recherche, et dans ce chapitre nous avons parlé et plutôt bien présenter le développement d'un modèle mathématique multi enroulement, qui en prend en considération la structure du rotor, le choix de quelque modèle est imposé par le but de pouvoir simuler une rupture du Barres au rotor, ce type de défaut est modélisé par l'augmentation de la résistance de l'élément défectueux.

Ensuite dans le chapitre suivant nous présentons les résultats de la simulation obtenue à l'aide de ce modèle

Chapitre III :
SIMULATION DE LA MACHINE
ASYNCHRONE

III.1. INTRODUCTION :

En déifiant le modèle de la machine asynchrone, le système a été implémenté dans le logiciel MATLAB, l'obtention des résolutions des équations différentielle a été réalisée par la méthode de multi Enroulements.

Ce chapitre nous indique les courbés du courant statique. Les courants dans les Barres rotorique ainsi le couple et la vitesse pendant les différentes conditions de fonctionnement à l'état sain et avec défaut et le couple de la charge.

III.2. Résultats de simulation de la machine asynchrone :

III.2.1. Résultats de simulation d'un fonctionnement sain :

Dans les figures III.1, III.2, III.3, III.4 qui suivent on présente les résultats de la simulation d'un fonction sain réel.

La différence avec l'état sain idéal est que celui-ci contient un degré d'excentricité résiduel de 10% statique et 10% dynamique.

Nous avons appliqué un couple résistant $C_r = 40 \text{ N.m}$

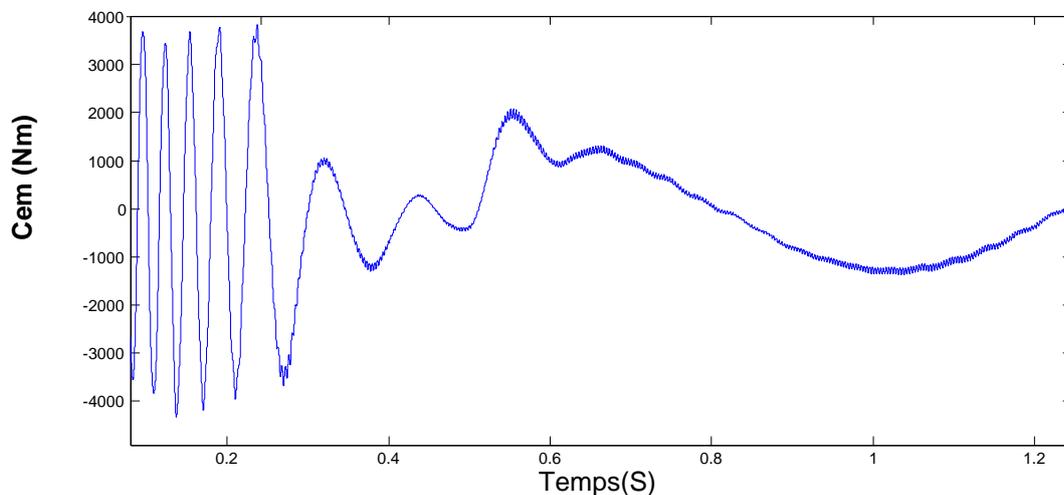


Figure III.1: Couple électromagnétique correspondant

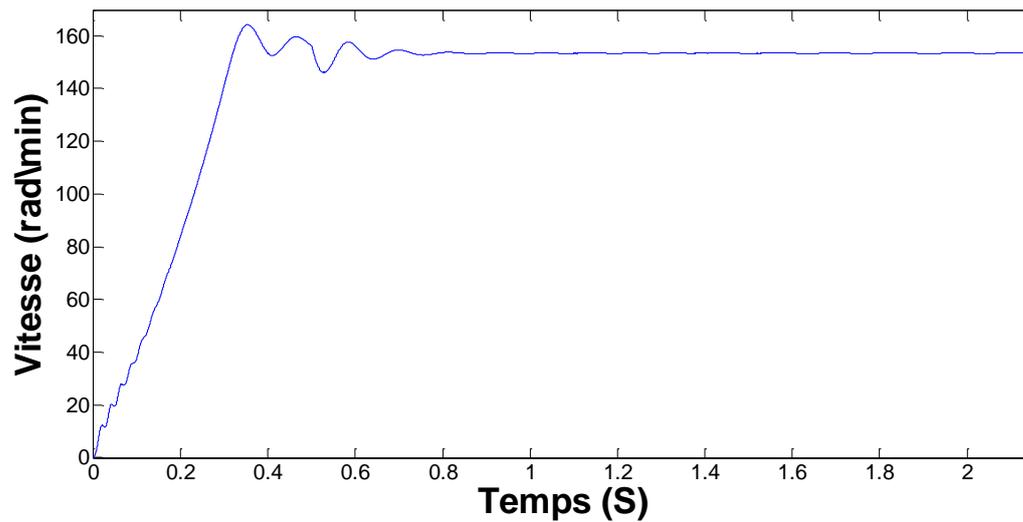


Figure III.2 Vitesse de rotation pour un démarrage à vide

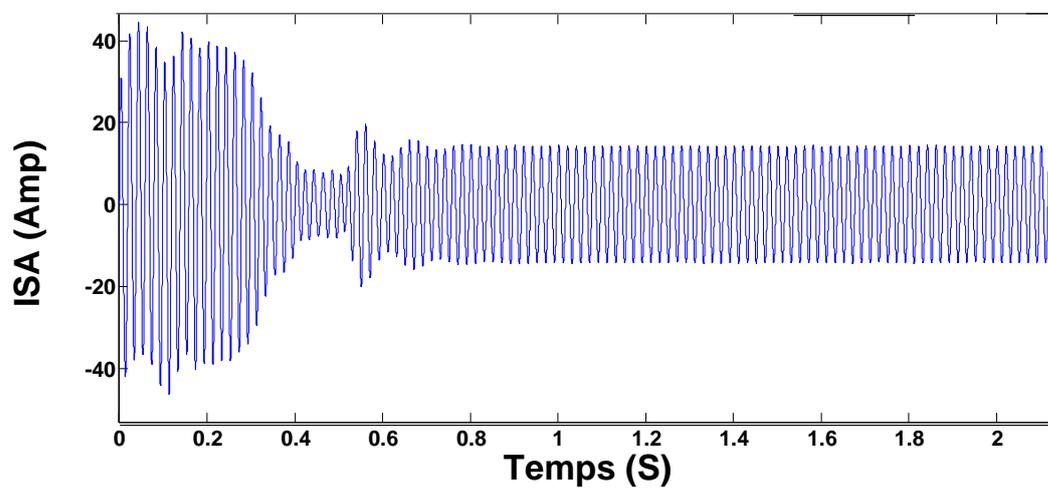


Figure III.3 Courant correspondant de la phase A statorique

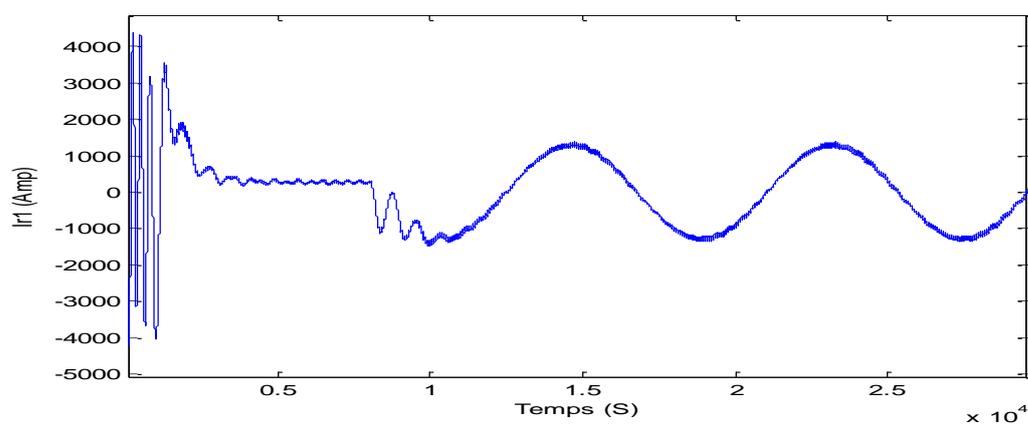


Figure III.4 Courant de la maille r1 rotorique

III.2.1.a Interpretation des resultas :

La figure III.1 représente évolution du couple électromagnétique , le régime transitoire qui dure 0,4s Apparaît un régime transitoire amorti sous

La figure III.2 représente l'évolution de la vitesse de rotation.

Aux début de démarrage , la vitesse augmente de 0 à 170 rad/s dans un intervalle 0,4S accédant ainssi le rigime permanant par la suite on mettra on pratique un couple réistant de 40 Nm qui a tendance à freiner l'arbre moteur d'où la diminution de la vitesse .

La figure 3 représente l'évolution de courant statorique de la phrase à travers le temps lors de démarrage à vide sous une tention nominale avec une alimentation sinusoidale équilibrée .

Etant donné que le rotor est initialement à l'arrêt, un régime transitoire se immiféste par des amplitudes de couarnt qui attient des valeurs maximales allant jusqu'à 45 A et qui dure à 0,1s par la suite un régime permanant s'établit et se traduit par la shute des courants avec une forme atteinnutive .

- Pour calcule le f_{psh} et f_{he} on obtenu l'équation suivant

$$f_{he} = \left[\frac{kN_b}{p} (1 - g) \pm n_{\omega s} \right] \cdot f_s \quad \text{II.1}$$

Alor :

$$N = \frac{153.5 \cdot 60}{2\pi} = 1465.8 \text{ tr/min}$$

$$G = \frac{1500 - 1465.8}{1500} = 22.766 \cdot 10^{-3} = 0.0227$$

$$f_{psh1} = (20 \cdot (1 - g) - 1) \cdot f_s = 927.234 \text{ Hz}$$

$$f_{psh2} = (20 \cdot (1 - g) + 1) \cdot f_s = 1027.234 \text{ Hz}$$

$$f_{he3} = (40 \cdot (1 - g) - 1) \cdot f_s = 1854.468 \text{ Hz}$$

$$f_{he4} = (40 \cdot (1 - g) + 1) \cdot f_s = 2054.46 \text{ Hz}$$

$$f_{he5} = (60 \cdot (1 - g) - 1) \cdot f_s = 2781.02 \text{ Hz}$$

$$f_{he6} = (60 \cdot (1 - g) + 1) \cdot f_s = 3081.702 \text{ Hz}$$

La figure III.5 represent le spectre linéaire du courant

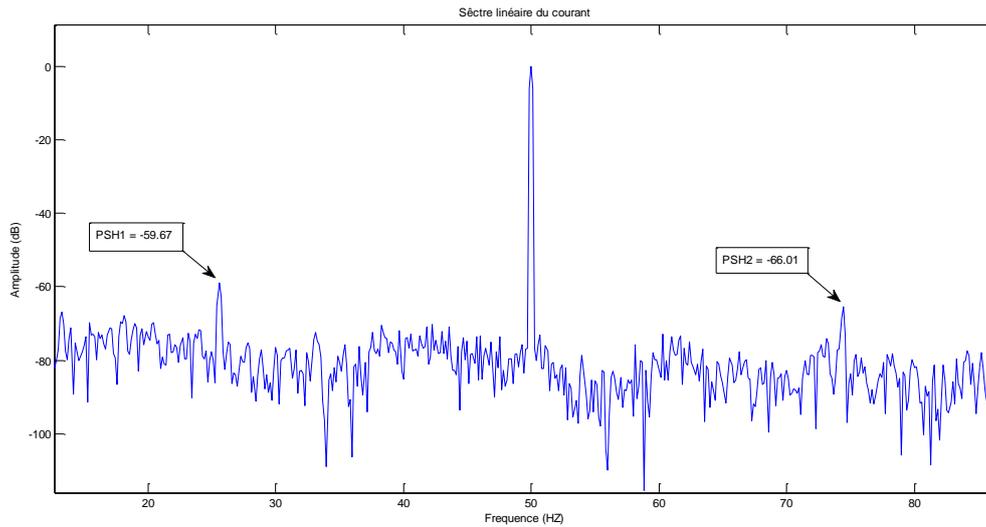


Figure III.5 : spectre linéaire du courant

III.2.2. Les défauts d'Excentricité :

Le tableau III.1 représenté l'amplitude dB en fonction de l'état :

Amplitude(dB)	Etat sain	20%	40%	60%
PSH1(dB)	-59,67	-53,31	-46,47	-46,78
PSH2(dB)	-66,01	-59,87	-50,7	-45,14

Tableau III.4 Amplitudes dB en fonction de l'état

Les figures III.6 et III.7 représenté Le PSH1 et PSH2 en fonction d'amplitude

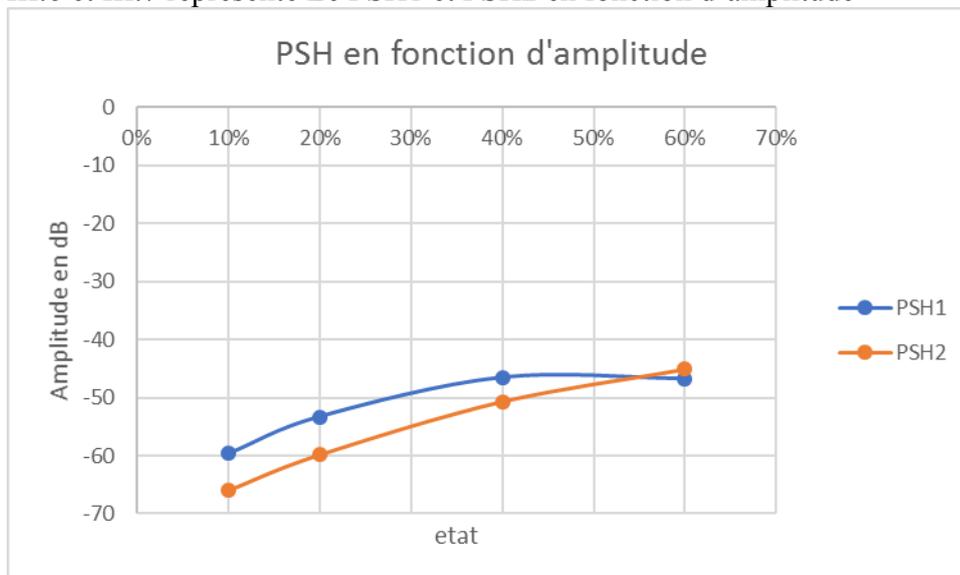


Figure III.6 PSH en fonction d'amplitude

III.2.3 Résultats de simulation d'un fonctionnement avec défaut de cassure des barres

Dans les figures III.7, III.8, III.9 qui suivent on présente les résultats de la simulation.

Nous avons appliqué les 3 barres cassées.

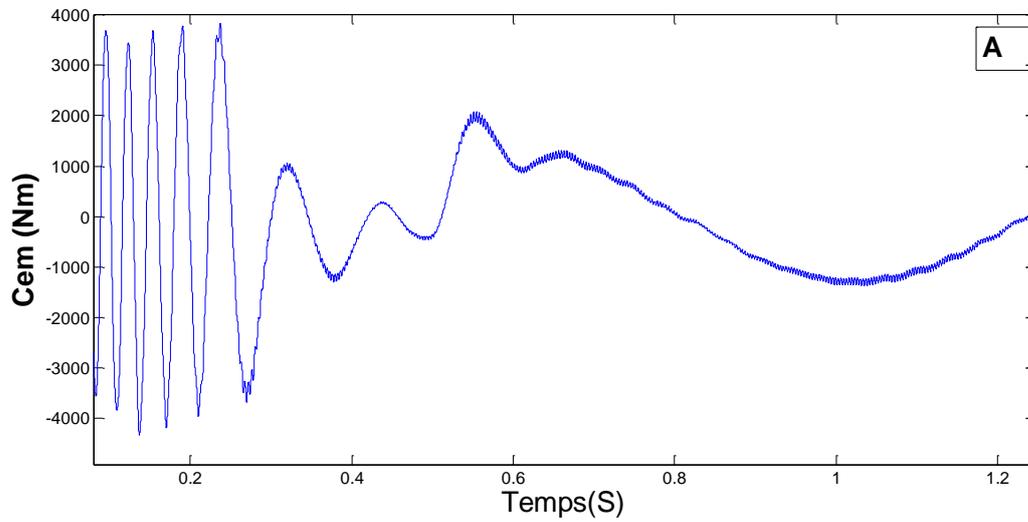


Figure III.7. Couple électromagnétique correspondant

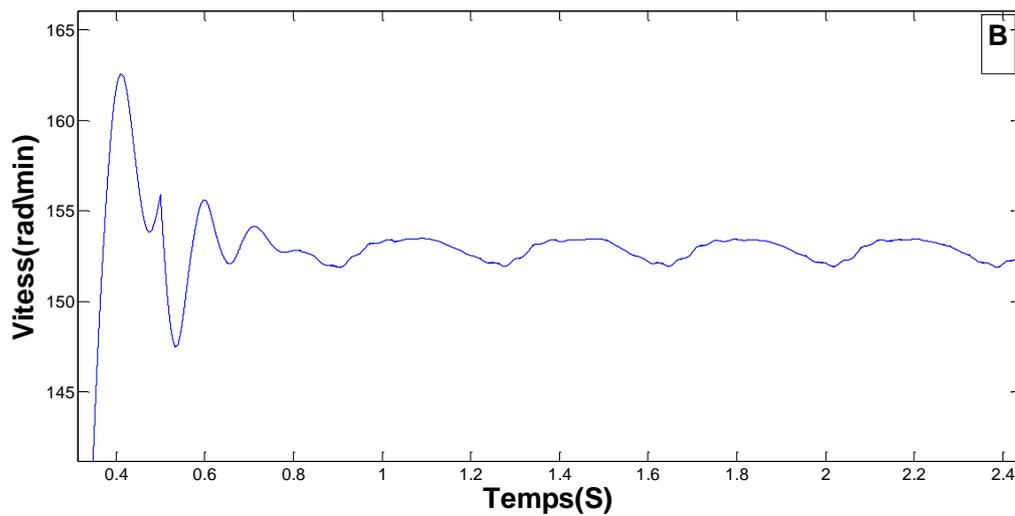


Figure III.8 Vitesse de rotation pour un démarrage à vide

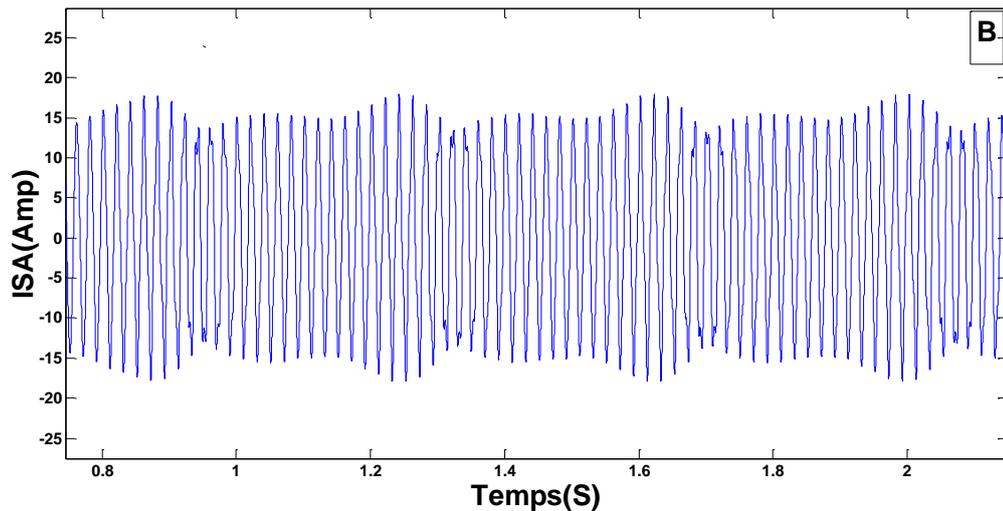


Figure III.9 Courant correspondant de la phase A statorique

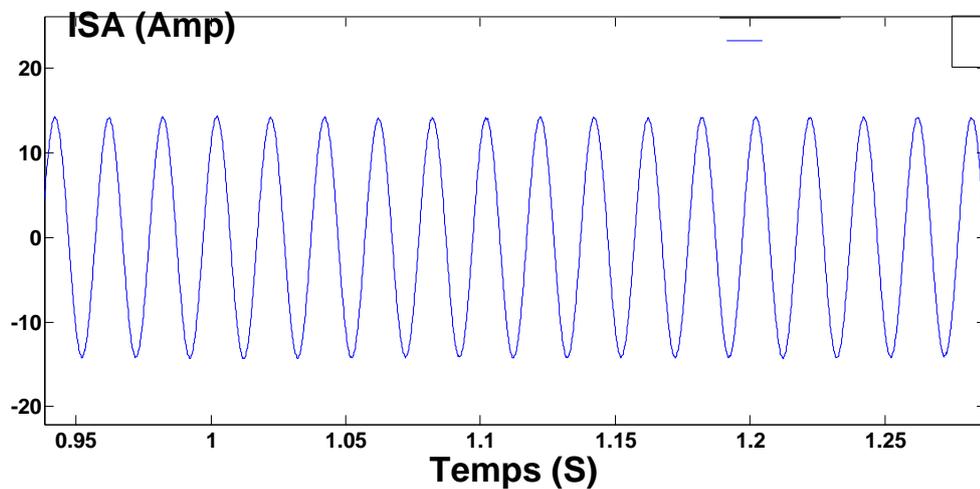


Figure III.10 : ZOOM de Courant correspondant de la phase A statorique

III.2.3.a Interepetition des resultas :

Les figures (III.8), (III.9), (III.10) représente l'évaluation de la vitesse telle que courant statorique, et le couple électromagnétique lors des essais de cassure d'une barre.

Le démarrage s'effectue à vide.

Pendant l'instant $t=0.4$ s nous procédons à un échelon de couple résistant nominal de 40 N.m.

La vitesse chute à 163 rad/sec figure (III.9), et le couple électromagnétique vient équilibrer le couple résistant.

A $t = 0.4$ s, nous prouvons le défaut qui sera la première défaut avec les la rupture de la 3, nous constatons :

Lors des défauts rotoriques, il réduit la valeur moyenne du couple électromagnétique et fait apparaître les oscillations sur le couple et la vitesse de rotation.

Ce pendant une ondulation de l'amplitude des courants apparaît avec la cassure de la barre est proportionnelle au nombre de barres cassées.

Il est remarqué que l'augmentation du nombre de barres cassées provoque l'augmentation de l'amplitude des oscillations de la vitesse (w) et de couple électromécanique (C_e) et le courant, ce qui a pour effet la détérioration des enroulements de la machine.

Lors des défauts rotoriques, les courants dans les barres cassées chutent pratiquement à zéro, les courants dans les barres voisines deviennent déséquilibrés, les courants qui conduisaient les barres cassées se répartit alors dans les barres voisines.

Les figures III.12 et III.13 représenté le spectre linéaire du courant avec 3 et 4 barre cassée

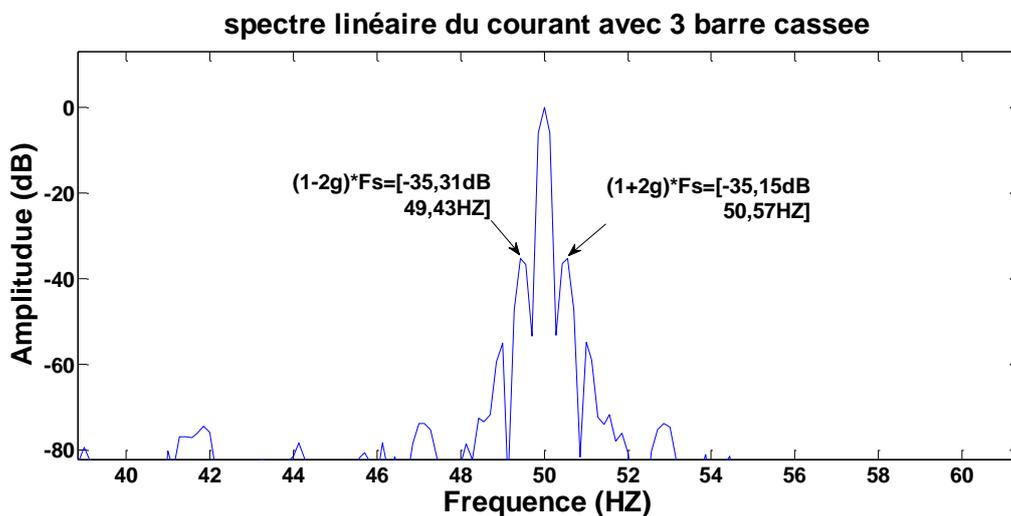


Figure III.11 : spectre linéaire du courant avec 3 barre cassée
spectre linéaire du courant avec 4 barre cassee

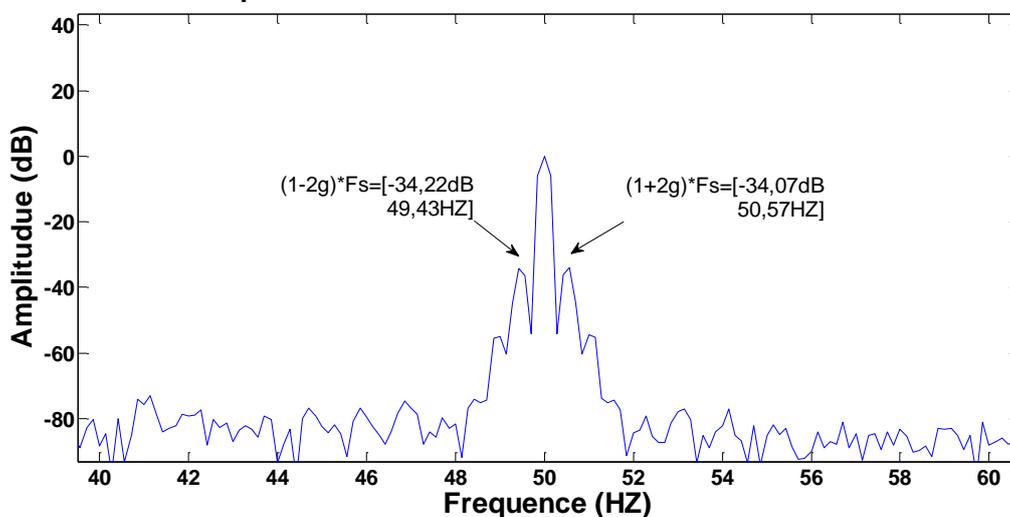


Figure III.12 : spectre linéaire du courant avec 4 barres cassée

Ce tableau represente l'amplitude en dB en fonction de la charge et pour different nmbres de barres casses

Cr \ Bar	Bar				
	1 BAR (100)	1 BAR (300)	2 BAR (300)	3 BAR (300)	4 BAR (300)
10	-46,69	- 46,57	- 39,15	-35,31	-34,22
	-46 ,73	- 46,34	-38,01	-35,15	-34,07
25	-43,46	-43,45	-34,83	-31,76	-31,07
	-42,49	- 42,88	- 34,01	-30,71	-30,62
40	- 44,69	- 44,84	-35,74	-34,07	-33,15
	- 42,28	- 42,13	-32,18	-29,35	-28,27

Tableau III.2 : Amplitudes en fonction de la charge et pour différent nombres de barres casses

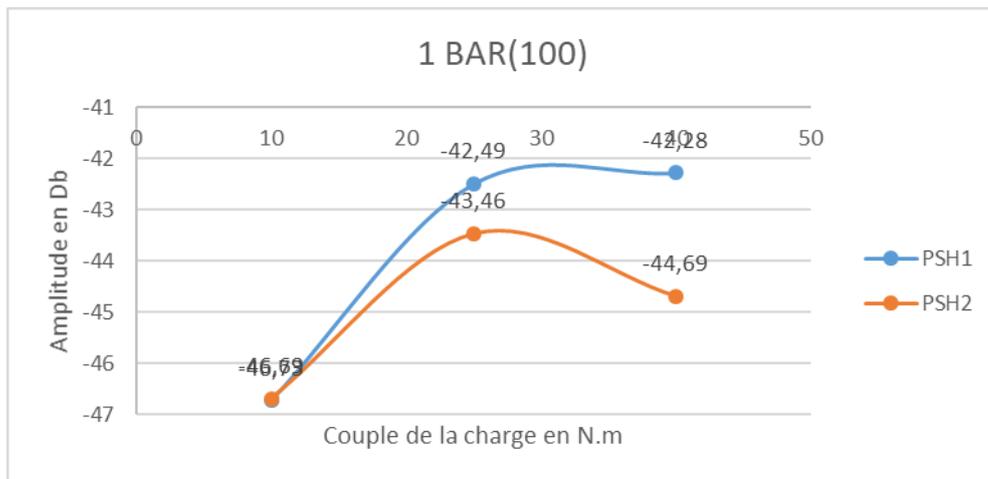


Figure III.13 : Evolution des raies (1±g)f_s en fonction de la charge 1BAR(100)

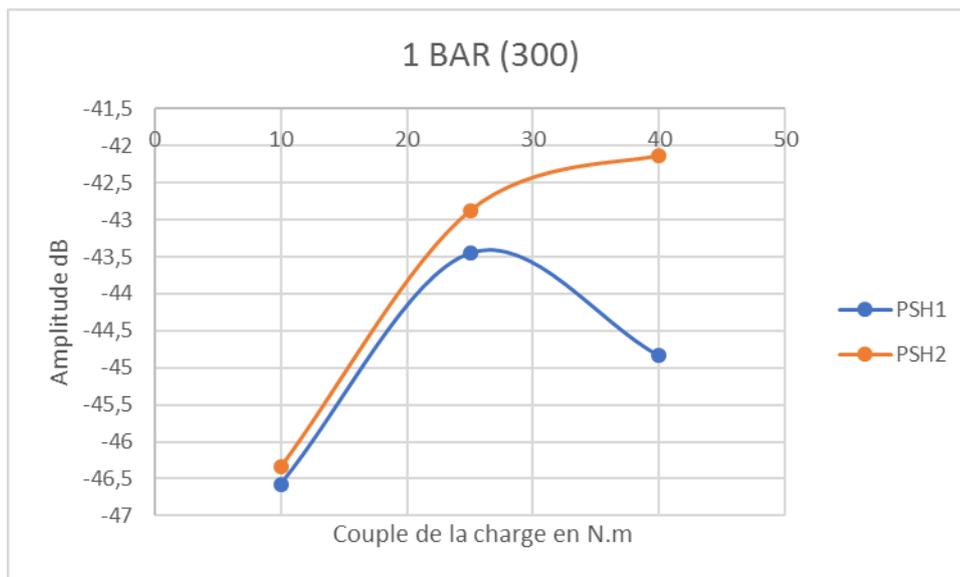


Figure III.14 : Evolution des raies $(1\pm g)f_s$ en fonction de la charge 1BAR (300)

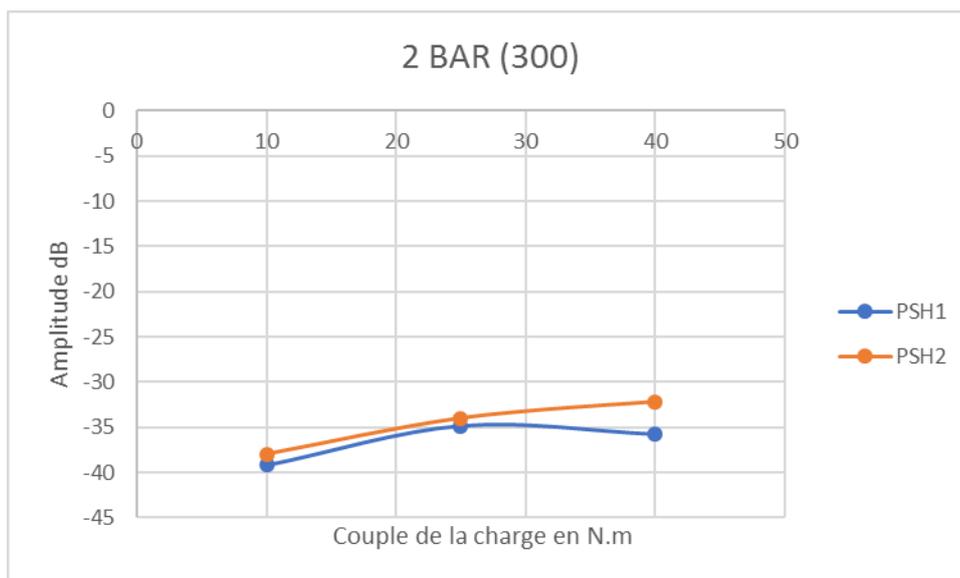


Figure III.15 : Evolution des raies $(1\pm g)f_s$ en fonction de la charge 2BAR (300)

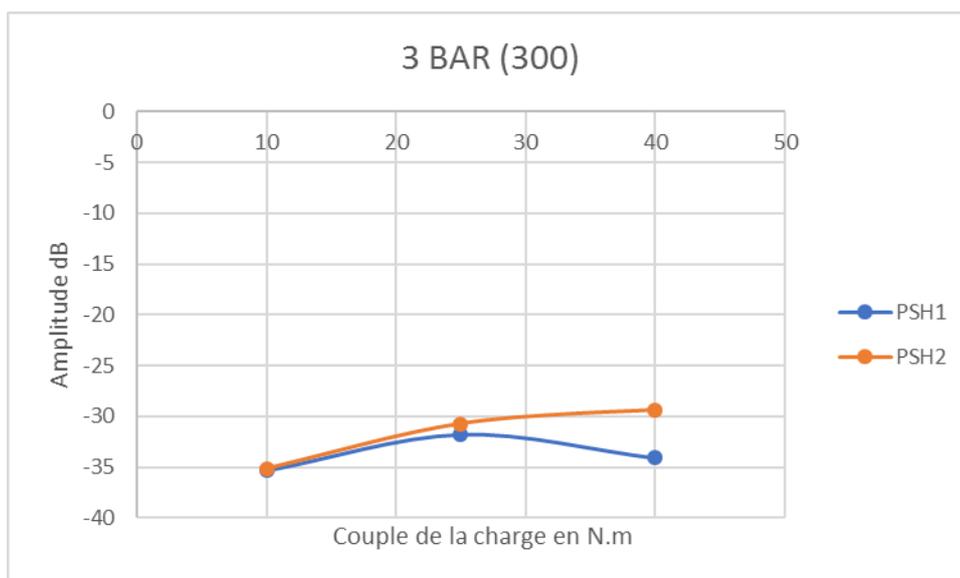


Figure III.16 : Evolution des raies $(1 \pm g)f_s$ en fonction de la charge 3BAR(300)

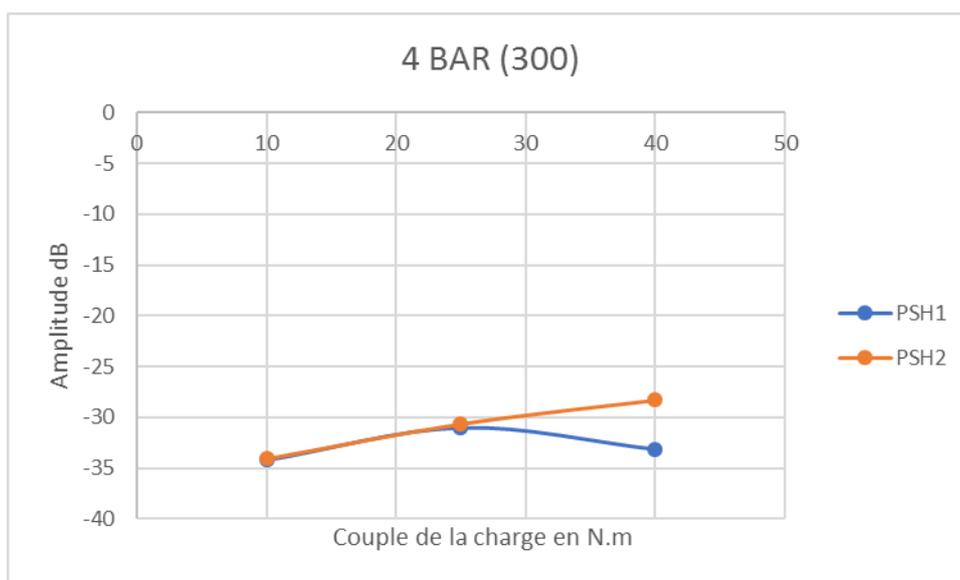


Figure III.17 : Evolution des raies $(1 \pm g)f_s$ en fonction de la charge 4BAR(300)

III.2.4. Résultats de simulation d'un fonctionnement avec couple de la charge oscillation :

Les figures III.17, montre la forme d'onde du couple de charge variable utilisé dans les tests de simulation. Ce couple de charge $C_r=15 \times (1+0.2 \times \cos(2 \times \pi \times f \times 2 \times 0.04 \times t))$.

Présente un harmonique à la fréquence $f_0 = 4$ Hz semblables à $2gf_s$, utilisées pour détecter les barres cassées.

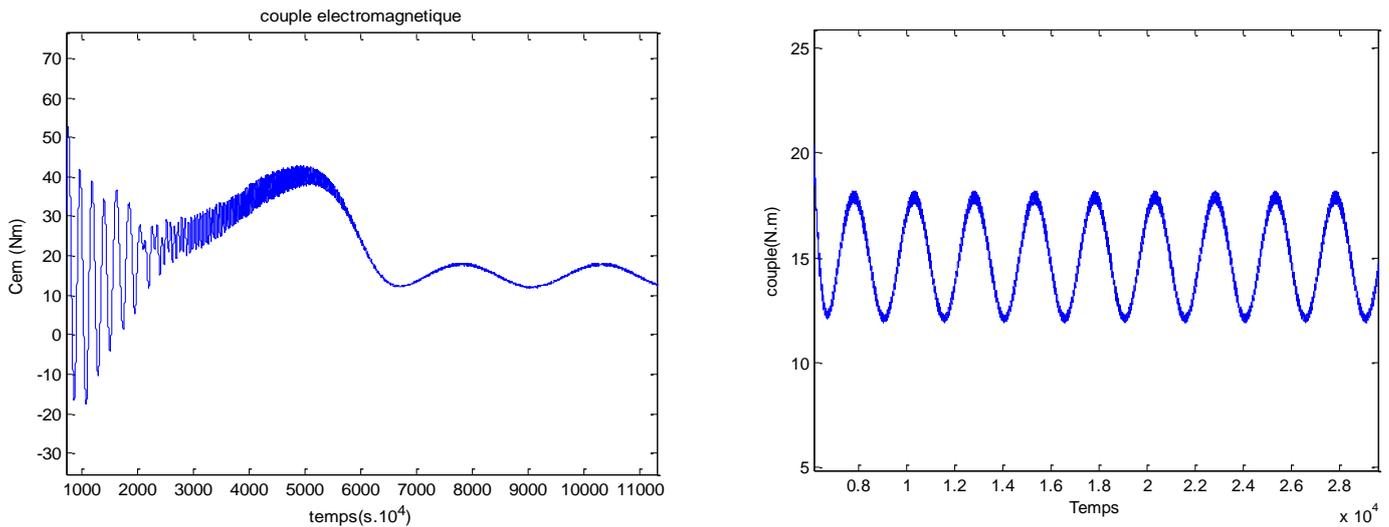


Figure III.18 : Couple électromagnétique correspondant et leur zoom

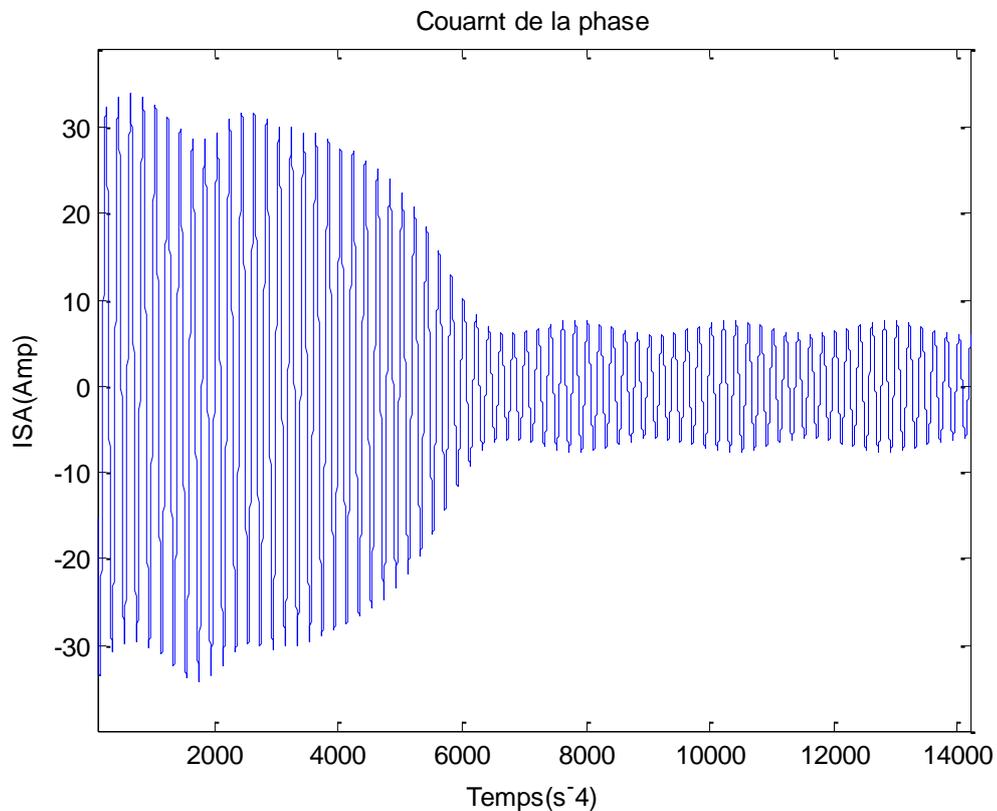


Figure III.19 : courant statorique

La Figure III.18 represente le spectre du courant

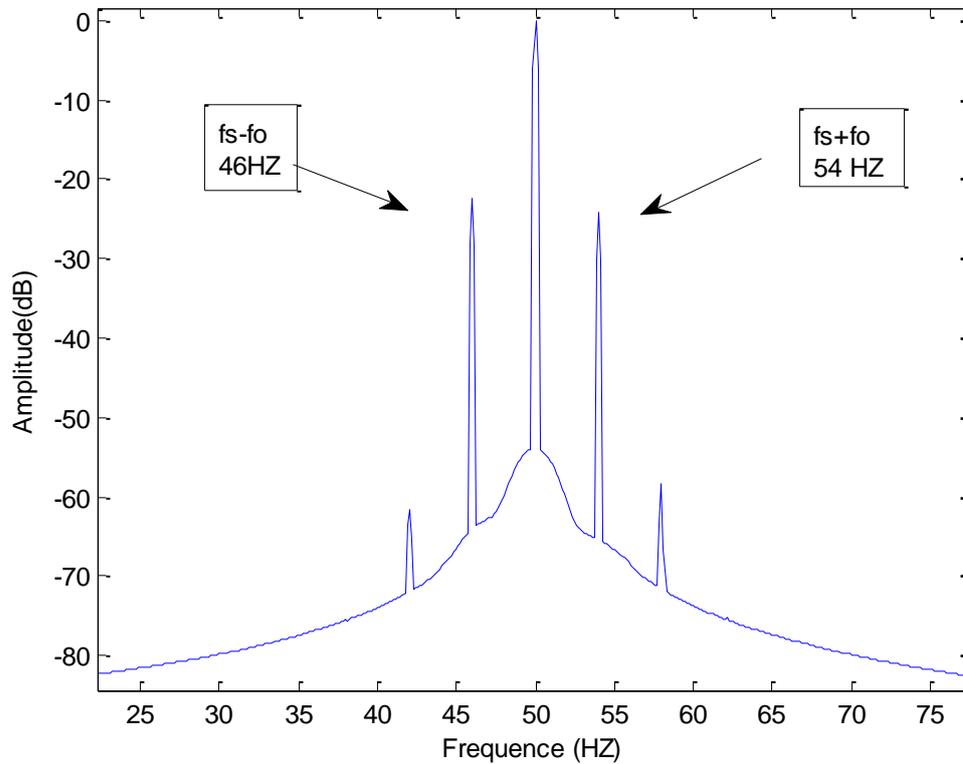


Figure III.20 : spectre du courant

III.2.4a Remarque :

On remarque bien qu'un couple oscillations de ce type peut faire apparaître, dans le spectre du courant d'harmonique semblable avec harmonique du défaut de barre, cela pourra induire en erreur, l'opérateur de diagnostic

3.CONCLUSION

Dans ce chapitre, nous avons présenté une simulation d'un moteur asynchrone triphasé à cage, pendant les différentes conditions de fonctionnement (démarrage à vide et en charge et rupture de barres).

Nous avons trouvé que la cassure d'une barre provoque des oscillations dans le couple et dans la vitesse, ainsi qu'une modulation de l'enveloppe du courant statorique. L'amplitude de ces oscillations augmente avec le nombre de barres cassées.

CONCLUSION GENERALE

CONCLUSION GENERALE

La détection précoce des défauts dans les machines asynchrones est devenu un enjeu économique important justifié par l'intérêt grandissant des industriels pour la maintenance des entraînements électriques, qui garantit une fréquence d'utilisation soutenue. Dans ce cadre, le travail présenté dans cette thèse traite de la modélisation de la machine asynchrone en vue de diagnostic.

Le premier chapitre a permis d'exposer les fréquents défauts, ainsi que les différentes techniques de diagnostic utilisées. Ensuite, les signatures de quelques défauts ont été présentées.

Le second chapitre qui constitue l'essentiel du travail réalisé, où nous avons proposé une méthodologie de synthèse d'un modèle de la machine asynchrone à cage d'écureuil. Cette modélisation s'appuie sur une description de la topologie constitutive et géométrique de la machine asynchrone à cage d'écureuil. Sous la forme de circuits électriques maillés magnétiquement couplés, ce modèle permet la simulation des barres cassées.

Enfin, le troisième chapitre exploite la flexibilité du modèle développé pour rendre compte des défaillances due aux cassures de barres. Celui-ci présente les résultats de simulation de la machine à l'état sain, avec défauts et avec couple de la charge.

Ils mettent en évidence l'effet de défaut sur les différentes grandeurs d'états de la machine.

BIBLIOGRAPHIE

- [1] N. Halem, "*Étude et Simulation du Modèle Multi-Enroulements de la Machine Asynchrone*", Mémoire d'Ingénieur, Université de Biskra, Algérie, Juin 2007.
- [2] S. Bachir, "Contribution au Diagnostic de la Machine Asynchrone par Estimation Paramétrique", Thèse de Doctorat, Université de Poitier, France, 2003.
- [3] A. Abed, "Contribution à l'Étude et au Diagnostic de la Machine Asynchrone", Thèse de Doctorat, Université Henri Poincaré, Nancy-1, France, Mars 2002.
- [4] ABDELKEBIR ADEL, « Diagnostic d'un moteur à Induction en utilisant la transformée en ondelettes » Thèse de MASTER, UNIVERSITE MOHAMED BOUDIAF - M'SILA 20/05/2017
- [5] HAKIMA CHERIF " détection des défaut statorique et rotorique dans une machine asynchrones en utilisant l'analyse par FFT et ondelettes" Thèse de Magister Univ Mohammed khider Biskra 30/09/2014.
- [6] BESSAM BESMA « Analyse et détection des défauts dans la machine asynchrone à base des techniques intelligentes » Thèse de Doctorat LMD en : Automatique Univ Mohammed khider Biskra 02/06/2016.
- [7] HUBERT RAZIK « Le Contenu Spectral Du Courant Absorbé Par La Machine Asynchrone En Cas de Défaillance, un Etat de l'art » Faculté des Sciences, Nancy, CEDEX, juin 2002.
- [8] OLIVIER ONDEL « Diagnostic par reconnaissance des formes : application a un ensemble convertisseur – machine asynchrone » Thèse de doctorat. L'école centrale de Lyon 2006.
- [9] BESSAM, A. Menacer, M. Boumehraz and H. Cherif "Detection of broken rotor bar faults in induction motor at low load using neural network "Contents lists available at ScienceDirect ISA Transactions 2016.
- [10] ALLAL ABDERRAHIM « Grandeurs non invasives pour le diagnostic des machines asynchrones » Thèse de Magister en Electrotechnique Univ FERHAT ABBAS –SETIF 05/05/2010.
- [11] TAREK BOUMEGOURA « recherche de signature électromagnétique des défauts dans une machine asynchrone et synthèse d'observateurs en vue du diagnostic » thèse présentée devant l'école centrale de Lyon pour obtenir le grade de docteur , préparé au sein de l'école doctorale électronique, électrotechnique, automatique de Lyon soutenue le 26 mars 2001 devant la commission d'examen.

- [12] Rijaniaina Njakasoa ANDRIAMALALA, « Modélisation Du Défaut D'excentration Dans Une Machine Asynchrone. Application Au Diagnostic Et à La Commande De Deux Machine Spécifiques ». Thèse de doctorat, L'Université Henri Poincaré, Nancy1, Juillet 2009.
- [13] VASEGHI Babak, « contribution à l'étude des machines électriques en présence de défaut entre spires ». Thèse de doctorat, L'institut National polytechnique Lorraine 3 Décembre 2009
- [14] Roland CASIMIR, « Diagnostic Des Défauts Des machines Asynchrones Par Reconnaissance Des Formes ». Thèse de doctorat, L'école Centrale de Lyon, 18 décembre 2003.
- [15] M. Sahraoui "Contribution à l'Étude du Diagnostic de la Machine Asynchrone", thèse de Magistère, Université Mohamed Khider Biskra 2003.
- [16] N. Halem, "Étude et Simulation du Modèle Multi-Enroulements de la Machine Asynchrone", Mémoire d'Ingénieur, Université de Biskra, Algérie, Juin 2007
- [17] N. Halem, "Modélisation des Machines Asynchrones Triphasées à Cage en Vue du Diagnostic par la Méthode des Éléments Finis", Thèse de Doctorat, Université de Biskra, Algérie, 2015.
- [18] BELACEL Mounir- RAHALI Said- SACI Azzouz "Simulation Des Machines Asynchrones à Cage' Modèle Multi-enroulements' Dédiée Au Diagnostic Des Défauts" Mémoire d'Ingénieur, Université de Msila 2007
- [19]. H. Razik, G.Didier, "Notes de cours sur le diagnostic de la machine asynchrone," Notesde cours, I.U.F.M. de Lorraine, Maxeville, 7 janvier 2003.
- [20] GHOGGAL Adel "Diagnostic de la Machine Asynchrone Triphasée :Modèle Dédié à la Détection des Défauts". Thèse de Magistère, Université Mohamed khidrer Biskra. 2005