

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE
MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA
RECHERCHE SCINTIFIQUE
UNIVERSITE M'HAMED BOUGARA BOUMERDES



Faculté des Sciences de L'Ingénieur
Département Génie Mécanique

Mémoire de Master

En vue de l'obtention du diplôme de **MASTER** en :

Filière : Génie Mécanique

Option : Mécatronique

THEME

APPLICATION DES RESEAUX DE NEURONES ARTIFICIELS
AU DIAGNOSTIC DE LA MACHINE ASYNCHRONE

Réaliser par :

Promoteur: **Dr. RAHMOUNE**

BENCHOURAK OMAR

ACHOURI OMAR

Soutenue le 26 juin 2018, devant le jury :

Président : Pr.BENAZOUZ

Examineur : Dr.TOUATI

Examineur : Dr.MELLAL

Examineur : Dr.MERAINANI

Remerciements

Mes remerciements vont tout premièrement à Dieu le tout puissant de m'avoir donné courage et patience pour l'achèvement de ce travail.

Nous exprimons notre remerciements en particulier à Monsieur Dr. RAHMOUNE CHAMS Eddine, docteur à Université M'hamed Bougara-Boumerdes Faculté des Sciences de l'Ingénieur pour son aides, ses conseils précieux et ses encouragements.

Nos vifs remerciements vont également aux membres de jury. Monsieur D.BENAZOUZ PROFESSEUR a UMBB. Monsieur Y.TOUATI docteur à UMBB. Monsieur M.A.MELLAL docteur à UMBB. Monsieur B.MERAINANI docteur à UMBB.

Nous remercions vivement toute l'équipe de formation de département de génie mécanique et tous qui nous ont aidé de proche ou de loin.

Dédicaces

Je dédie ce fruit de travail:

A ma très chère maman, pour sa tendresse, sa bienveillance, son encouragement pour ce qu'elle a fait depuis mon enfance jusqu'à ce jour.

A mon cher père (ربي يرحمو و يوسع عليه) du fond de cœur pour tout ce que tu as fait pour moi, A mes frères.

A tous les nombres de ma grande famille qui porte le nom "ACHOURI".

Et A mes amies sans exception en particulier ceux de la promotion 2ème année master "Mécatronique".

Enfin à tout ce qui nous aime et que l'on aime.

ACHOURI Omar

Dédicaces

Je dédie ce fruit de travail:

A mes très chère parent, ma chère tante pour son tendresse, son bienveillance, son encouragement pour ce qu'elle a fait depuis mon enfance jusqu'à ce jour.

A mes frères.et mes sœurs et ces enfants : baha Eddine, hossem et Lokman

A tous les nombres de ma grande famille qui porte le nom " Benchourak ".

Et A tous mes amies sans exception en particulier ceux de la promotion 2emme année master "Mécatronique".

Enfin à tout ce qui nous aime et que 'on aime.

BENCHOURAK Omar

Notations des Symboles

Les indices « s » et « r » réfèrent respectivement aux grandeurs statoriques et rotoriques

a, b, c Indices pour le trois phases du stator et de rotor

C_{em} Couple électromagnétique

C_r Couple résistant.

f Fréquence d'alimentation

g Glissement

J Moment d'inertie

L_f Inductance de fuite.

L_b Inductance de fuite d'une barre rotorique

L_f Inductance de fuite

L_{rp} Inductance propre d'une maille rotorique

L_{xy} : Inductance mutuelle entre la ieme et Jeme maille rotorique.

L_{sp} Inductance propre d'une phase statorique

L_{0s} Inductance mutuelle entre défaut et stator

L_{0r} Inductance mutuelle entre défaut et rotor

L_{sr} Inductance mutuelle entre une phase statorique et maille rotorique

V_S Vecteur tension statorique

V_{ds} , V_{qs} Composantes du vecteur tension satorique dans le référentiel (d,q)

V_{sa} , V_{sb} , V_{sc} Composantes du vecteurs tension statorique dans le référentiel du stator

V_r	Vecteur tension rotorique
V_{dr}, V_{qr}	Composantes du vecteur tension rotorique dans le référentiel (d,q)
I_s	Vecteur courant statorique
I_{ds}, I_{qs}	Composantes du vecteur courant statorique dans le référentiel (d,q)
I_r	Vecteur courant rotorique
I_{dr}, I_{qr}	Composantes du vecteur courant rotorique dans le référentiel (d,q)
Φ_s	Vecteur flux statorique
Φ_{qs}, Φ_{ds}	Composantes du flux statorique dans le référentiel (d,q)
Φ_r	Vecteur flux rotorique
Φ_{qr}, Φ_{dr}	Composantes du flux rotorique dans le référentiel (d,q)
ω_s	Pulsation statorique
ω	Pulsation rotorique
ω_r	Vitesse électrique du rotor
Ω	Vitesse mécanique du rotor
f_v	Coefficient de frottement visqueux
θ_0 Ou téta	emplacement de défaut
RN	réseaux de neurone.
FBR	fonction base radiale.
MLP	Perceptron Multi Couche (Multi-Layer Perceptron).
SVD	la décomposition en valeur singulière (singular value decomposition)
n_0	Nombre de barre cassée par phase

La liste des figures :	page
Figure.I.1. Elément constitutifs d'une MAS à cage	4
Figure.I.2 vue schématique d'un stator MAS	5
Figure. I.3. Vue schématique de Rotor	5
Figure. I.4. principe de fonctionnement de MAS	6
Figure.I.5. Défaut d'un rotor à cage d'écureuil	8
Figure.I.6. Roulement à bille	9
Figure.I.7. défauts d'excentricité	9
Figure.I.8. schémas représentatif les grandeurs à mesurer	11
Figure .I.9. Différentes étapes de diagnostic par RDF	12
Figure I.10. Etapes essentielles d'un contrôleur flou	13
Figure.II.1 Modélisation dans le repère triphasé avec bobinage de cassure de barre	17
Figure II.2 Circuit équivalent d'un rotor à cage d'écureuil	19
Figure II.3 Inductances mutuelles pour MAS sain	20
Figure.II.4 Représentation d'un système triphasé au système biphasé	21
Figure II.5 Représentation de modèle de Park	22
Figure II.6 schémas équivalent du MAS avec cassure de barre	26
Figure II.7 couple électromagnétique	29
Figure II.8 Courant statorique I_{as}	29
Figure II.9 Flux rotorique Φ_{qdr}	30
Figure II.10 la vitesse de rotation (ω)	30
Figure III.1 : Schéma d'un réseau de neurones biologiques	33
Figure III.2 : Modèle de base d'un neurone formel	34
Figure III.3 : architecture d'un MLP	35
Figure III.4 : architecture d'un FBR	36
Figure III.5 : modèle de diagnostic par réseaux de neurone	37
Figure III.6 : variation de S1 en fonction de n0 quand $\theta=0$	38
Figure III.7 : variation de S1 en fonction de n0 quand $\theta=2\pi/3$	39
Figure III.8: variation de S1 en fonction de n0 quand $\theta=4\pi/3$	39
Figure III.9: variation de S2 en fonction de n0 quand $\theta=0$	40
Figure III.10: variation de S2 en fonction de n0 quand $\theta=2\pi/3$	40
Figure III.11 : variation de S2 en fonction de n0 quand $\theta=4\pi/3$	40
Figure III.12 : variation de S3 en fonction de n0 quand $\theta=0$	41

Figure III.13 : variation de S3 en fonction de n0 quand $\theta=2\pi/3$	41
Figure III.14: variation de S3 en fonction de n0 quand $\theta=4\pi/3$	41
Figure III.15: graphe de performance de RNMLP	42
Figure III.16 :graphe de Régression RNMLP	43
Figure III.17: Résultat d'apprentissage de RNFBR	44

Liste des tableaux :	Page
Tab III.1 résultat de test de réseaux de neurone RNMLP	43
Tab III.2 résultat de test de réseaux de neurone RNFBR	44

Table des matières	page
INTRODUCTION GENERALE	1
CHAPITRE I: ETAT DE L'ART SUR LES MACHINES ASYNCHRONE	3
I-1 INTRODUCTION	4
I-2 La machine asynchrone	4
I-2-1 Définition	4
I-2-2 Constitution	5
I-2-2.1 stator	5
I-2-2.2 rotor	5
I-2-2.2 .a. Un rotor à cage d'écureuil	6
I-2-2.2 .b. Rotor bobiné	6
I-2-2.3 Paliers	6
I.2.3 Principe de fonctionnement	6
I-3 Les principaux défauts de la machine asynchrone	7
I 3-1 Origines des défauts	7
I 3-2 Défaillance d'ordre électrique	7
I.3.2.1 Les défauts de stator	7
I.3.2.2 Les défauts rotor	8
I 3-3 Les défauts d'ordre mécanique	8
I-3-3-1 Les défauts des roulements	8
I-3-3-2 Autres défauts mécanique	9
I-4 Méthodes de diagnostic fréquemment utilisées	10
I-4-1 Méthodes de diagnostic basées sur l'analyse spectral des signaux	10
I.4.2 Analyse cepstrale	10
I.4.3 Diagnostic des défauts par estimation paramétrique	11
I.4.4 Diagnostic des défauts par le suivi des grandeurs mesurables	11
I.4.5 Méthodes basées sur l'intelligence artificielle (IA)	11
I.4.5.1 Reconnaissance des formes	12
I.4.5.2 Logique flou	13
I.4.5.3 Diagnostic des défauts par réseaux de neurone	13
Conclusion	14

CHAPITRE II: Modélisation de la machine asynchrone	15
II-1 Introduction	16
II.2 Modélisation de MAS en présence de défaut rotorique	16
II.2.1 Modèle triphasé	16
II.2.2 Equations de la machine	18
II.2.2.1 Equations électriques	18
II.2.2.2 Equations magnétiques	19
II.2.3 Transformation du système triphasé.	21
II.2.3.1.1 La transformation de Park	22
II.2.3.2 Choix de repère (d,q)	22
II.2.3.3.1 Application aux équations électriques dans le repère de Park (d,q)	24
II.2.3.3.2 Application aux équations de flux	25
II.2.3.3.3 Schéma électrique équivalent	25
II.2.3.4 Représentation d'état du modèle de défaut	27
II.3 Simulation modèle de la machine asynchrone	28
II.3.1 Interprétation des résultats	30
I.4 Conclusion	31
Chapitre III : diagnostic de la machine asynchrone par réseaux de neurone	32
III .1 Introduction	33
III .2 Les réseaux de neurone artificiel	33
III .2 .1 Définition	33
III .2 .2 Neurone biologique	33
III .2 .3 Neurone formel	34
III .2 .4 Les avantages des réseaux de neurones	34
III .2 .5 Les inconvénients des réseaux de neurones	34
III .3 Apprentissage	34
III .3.1 Définition	34
III .3.2 Techniques d'apprentissage	34
III.3.2.a Apprentissage supervisé	34
III.3.2.b Apprentissage non supervisé	35
III .3.2.c Apprentissage par renforcement	35
III .4 Les types de réseaux de neurone utilisée	35
III .4 .1 _ Réseaux de neurone à perceptron multicouche	35

III .4 .1.1 Présentation	35
III .4 .1.2 Apprentissage de MLP	36
III .4 .2 Réseaux de neurone à fonctions base radiales	36
III .4 .2 .1 Présentation	36
III .4 .2 .2 Apprentissage des modèles FBR	36
III .5 Application du diagnostic par réseaux de neurone sur la MAS	37
III .5 .1 Présentation	37
III .5 .2 La décomposition en valeur singulière	37
III .5 .2.1 Représentation	37
III .5 .2 .2 Principe	38
III .5 .2.3 les sorties de SVD	38
III .5 .3 Application de réseaux de neurone MLP	42
III .5 .3.1 L'algorithme d'apprentissage de MLP	42
III .5 .3.2 Résultat d'apprentissage	42
III .5 .3.3 les tests de réseaux de neurone MLP	43
III .5 .4 Application de réseaux de neurone a fonction base radial	43
III .5 .4 .1- apprentissage de réseaux de neurone a fonction base radiale	43
III .5 .4.2- Les résultats d'apprentissage	43
III .5 .5 .3-les tests de réseaux de neurone FBR	44
III .6 Conclusion	44
Conclusion général	45
Bibliographie	46
Annexe	48

INTRODUCTION GENERALE

Dans les secteurs industriels, les chaînes de production doivent être dotées de systèmes de protection fiables, car une quelconque défaillance peut mener à un dommage matériel ou corporel inévitable. C'est pour éviter ces problèmes que la recherche, sur le plan mondial, s'emploie depuis plusieurs dizaines d'années à élaborer des techniques de diagnostic. La problématique du diagnostic est en effet liée à celle de la maintenance, or celle-ci fait intervenir des facteurs économiques (coût de la maintenance par rapport au gain espéré), des facteurs humains (qualification, formation du personnel) et des facteurs industriels difficiles à évaluer. Le diagnostic des défaillances des systèmes industriels lorsqu'il est réalisé avec efficacité et s'il permet de détecter de façon précoce une dégradation, représente un des moyens pour contribuer à obtenir un meilleur gain de productivité. Sa vocation première est de détecter et puis de localiser la possibilité d'une défaillance matérielle.

Le travail proposé est sur le diagnostic des machines asynchrones triphasées, Ces dernières par leur robustesse, leur simplicité de construction et leur faible coût d'achat, sont largement utilisées en milieu industriel, et pour leur continuité de fonctionnement nécessite la mise en place de programmes de maintenance préventive et corrective, permettant en partie d'assurer la sécurité des personnes, la qualité du service et la rentabilité des installations.

Alors dans le domaine du diagnostic, il est intéressant de disposer de modèles capables de représenter le comportement du système en présence de déséquilibres structurels. La mise au point d'une procédure de diagnostic pour la machine asynchrone recouvre un certain nombre des problèmes qui doivent être résolus.

L'un de ces problèmes est celui de la synthèse de modèles décrivant le comportement d'une machine. Ceci non pas d'une façon moyenne comme pour la commande, mais d'une façon plus exacte en intégrant certains paramètres pour décrire le plus précisément possible le comportement de la machine. Pour cela, il faut s'orienter vers des modèles plus pour une description adaptée aux défauts, que ce soit pour une simulation plus réaliste ou pour une utilisation dans la méthode de détection.

Les défauts qui apparaissent dans la machine asynchrone ont des causes variées. Ils peuvent être dus au vieillissement des constituants du moteur, ou bien aux conditions d'utilisation, ou tout simplement à un défaut durant l'utilisation. En effet, l'apparition d'un défaut conduit le plus souvent à un arrêt irrémédiable de la machine asynchrone entraînant, Donc un cout très cher pour l'entreprise sans oublier la perte de production occasionnée. Il existe plusieurs procédures de diagnostic, Le choix d'une approche est lié à

la connaissance que l'on souhaite acquérir sur le système, mais aussi à la complexité de ce système. Ainsi deux types de procédures sont utilisés dans le domaine du diagnostic: les méthodes de diagnostic à base de modèles analytiques et les méthodes sans modèle.

Les méthodes à base de modèles analytiques reposent sur le suivi des paramètres et des grandeurs de la machine, au moyen d'algorithmes d'observation. Elles détectent les défaillances en comparant l'évolution de l'écart entre le modèle et le processus réel. Le principal avantage de ces méthodes réside dans l'intégration d'une connaissance a priori du système et donc un filtrage de l'information [Casimir, 03], et les méthodes sans modèle sont basées sur l'extraction d'information par le biais du traitement des signaux mesurés (les courants, les tensions, la vitesse, ...) peuvent fournir des informations significatives sur les défauts.

L'objectif principal de notre travail est l'élaboration de modèles de simulation de la machine asynchrone à cage d'écureuil, cela en régime sain et en présence des défauts, en utilisant l'intelligence artificielle avec réseau de neurone. Ce type d'approche offre un modèle de machine flexible, un temps de calcul raisonnable et ne nécessite aucun recours au calcul de champs. Le défaut étudié c'est la rupture des barres de machine asynchrone et le modèles de la machine est programmé et simulé sous logiciel MATLAB.

Ce mémoire comporte trois chapitres, dans le premier chapitre, nous présentons en premier temps les éléments de construction de la machine asynchrone ainsi que les différents défauts pouvant survenir sur chacun d'eux. Dans un deuxième temps, nous citons une synthèse de toutes les pannes en définissant leurs causes et leurs conséquences, et nous terminons ce chapitre par quelques techniques de détection de ces défauts.

Le deuxième chapitre est consacré à présenter un modèle de la machine asynchrone à cage d'écureuil, en présence de défaut cassure du barre rotorique, ce modèle nous permet après la simulation d'étudier l'influence de ce défaut sur l'évolution des grandeurs de la machine telle que le courant, la vitesse et le couple.

Le troisième chapitre, en premier temps nous présentons la théorie d'un aperçu général sur les réseaux de neurones, ces architectures et ces techniques apprentissages. En deuxième temps on présente les deux types de réseaux de neurone utilisé qui sont le multicouche et à fonction base radiale, on les fini par des tests de fiabilité. Une fois cette étape réalisée, le modèle peut être intégré dans une approche de commande prédictive. Nous terminons par une conclusion sur l'ensemble de cette étude.

Chapitre I

Etat de l'art sur les machines asynchrones

I.1 Introduction

La machine asynchrone est utilisée dans la plupart des entraînements électrique, son domaine d'application est très vaste; nous la trouvons dans la traction ferroviaire, la propulsion électrique des navires, le pompage, la ventilation, les machines-outils, les laminoirs et la voiture électrique.

L'intérêt croissant pour l'utilisation de la machine asynchrone dans les entraînements électriques est du à sa robustesse, à son faible cout, à sa fiabilité et à sa souplesse, bien que la machine asynchrone ait la réputation d'être robuste, elle peut présenter comme toute autre machine électrique, des défaillances d'ordre électrique ou mécanique.

Alors 'objectif ce chapitre dans un premier lieu est de présenter les différents éléments de constitutions de la machine ainsi que les différents défauts affectants ces machines, et dans la deuxième partie de ce chapitre, on va toucher les différentes méthodes de diagnostic.

I.2 La machine asynchrone :

I.2.1 Définition :

Une machine asynchrone est une machine à courant alternatif pour laquelle la vitesse de rotation de l'arbre est différente de la vitesse de rotation du champ tournant. La machine qui nous intéresse dans ce mémoire est plus précisément une machine à induction (Figure I.1).

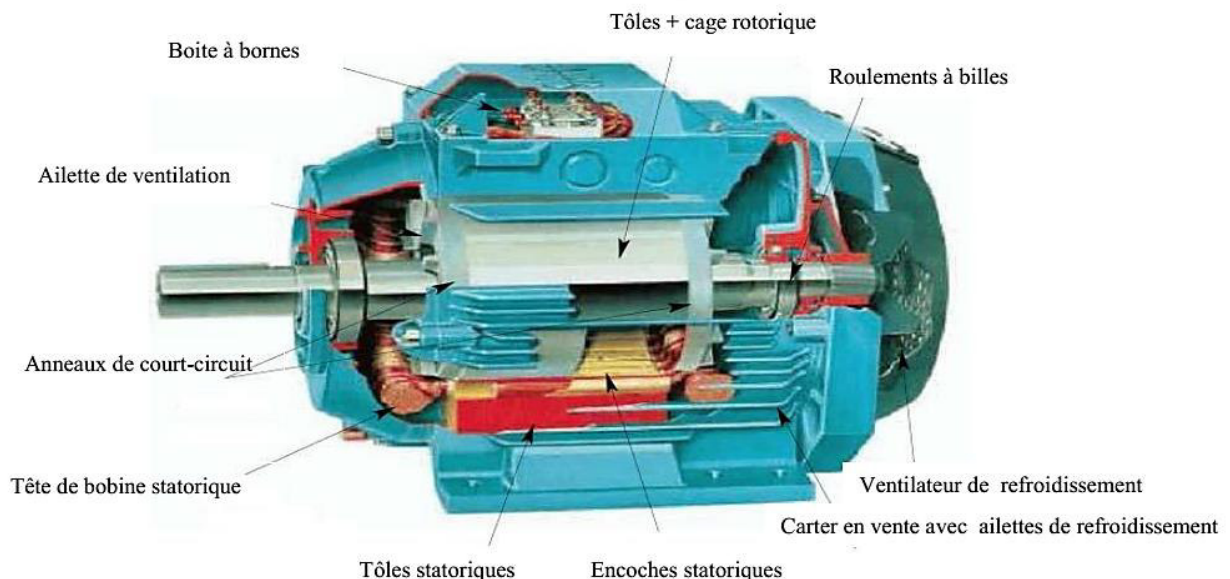


Figure.I.1. Elément constitutifs d'une MAS à cage

I.2.2 Constitution

La machine asynchrone comporte une partie fixe constituée d'une carcasse à l'intérieur de laquelle sont logés le circuit magnétique et le bobinage du stator d'une part et une partie mobile appelée rotor d'autre part. Le moteur asynchrone est formé:

I.2.2.1. Stator :

C'est un anneau de tôles encoché à l'intérieur et portant un enroulement triphasé semblable à celui d'un alternateur. Cet enroulement est presque toujours relié à la source et constitue le primaire.

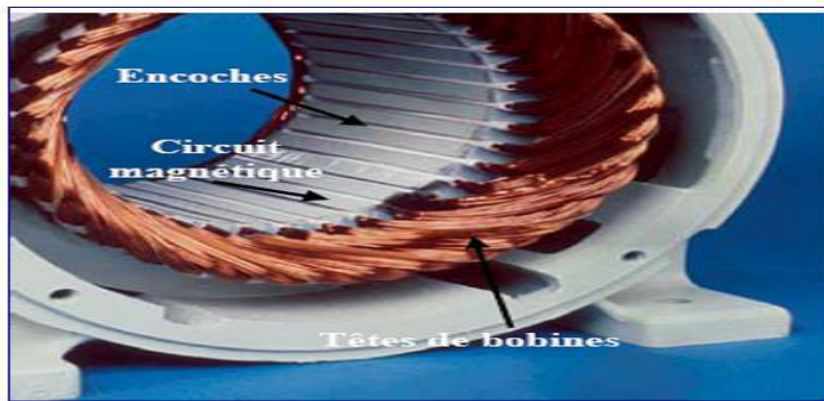
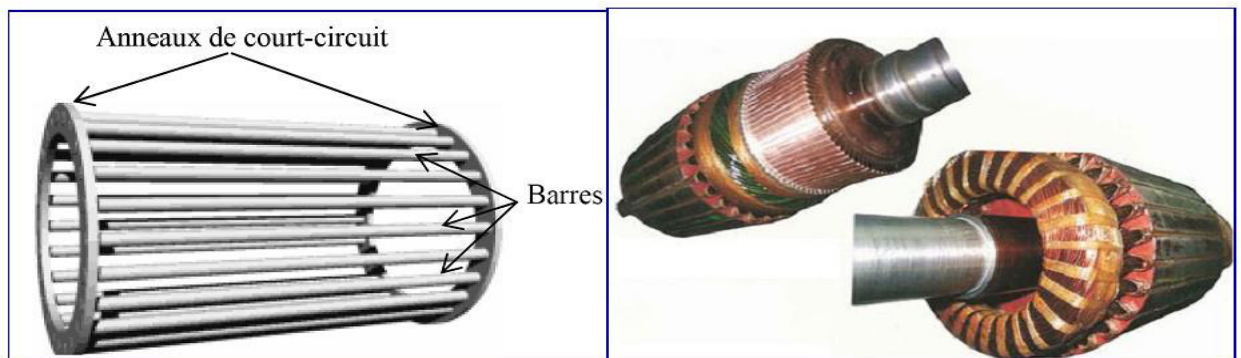


Figure. I.2. vue schématique d'un stator MAS

I.2.2.2. Rotor

C'est un anneau de tôles rainuré à l'extérieur, concentrique à la première et séparé de lui par un entrefer étroit d'épaisseur constante. Le rotor porte un enroulement polyphasé mis en court-circuit constituant le secondaire. On distingue principalement deux types de structures de rotors:



a- Rotor à cage d'écureuil

b- Rotor bobiné

Figure. I.3. Vue schématique de Rotor

- a. **Un rotor à cage (d'écureuil):** l'ensemble à l'aspect d'une cage cylindrique dont à chaque bout une couronne métallique est raccordée dans laquelle se trouve un empilement de tôles dont l'axe du moteur passe au centre.
- b. **Rotor bobiné:** comme pour le rotor à cage il est constitué de tôles empilées, mais des encoches sont pratiquées pour le passage du bobinage qui lui-même est raccordé en une extrémité en bout d'arbre sur des bagues l'autre extrémité du bobinage est connecté ensemble. Sur les bagues viennent frotter les balais (Aussi appelé les collecteurs) qui sont raccordés au dispositif de démarrage (résistance).

I.2.2.3-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.

I.2.3 Principe de fonctionnement

Le fonctionnement d'une machine asynchrone est basé sur le principe de l'interaction électromagnétique du champ tournant créé par le courant triphasé fourni à l'enroulement statorique par le réseau et des courants induits dans l'enroulement rotorique, lorsque les conducteurs de ce dernier sont coupés par le champ tournant (Figure I.4).

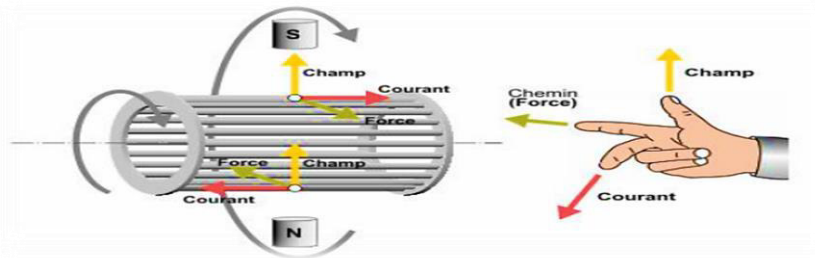


Figure.I.4 principe de fonctionnement de MAS

De cette façon, le fonctionnement d'une machine asynchrone est analogue à celui d'un transformateur. Le stator étant comparable à l'enroulement primaire et le rotor à l'enroulement secondaire qui dans le cas général peut tourner à la vitesse de rotation donnée par le rapport suivant:

$$\Omega_s = \frac{f \cdot 60}{p} = \frac{2 \cdot \pi \cdot f \cdot s}{p} : \text{La vitesse de synchronisme}$$

$$\Omega_r = (1 - g) \cdot \Omega_s : \text{La vitesse de rotation}$$

$$g = \frac{\Omega_s - \Omega_r}{\Omega_s} : \text{Le glissement de MAS}$$

$$\Omega = \Omega_s - \Omega_r : \text{La vitesse de glissement}$$

I.3.les principaux défaut de la machine asynchrone

Bien que la machine asynchrone ait la réputation d'être robuste, elle peut présenter comme toute autre machine électrique des défaillances d'ordre électrique ou mécanique. Notre objectif est de détecter ces défauts en cours d'évolution ou en cours d'apparition, parmi toutes les méthodes utilisées ou proposées, on se doit de prélever un ou plusieurs signaux pour :

- ✓ les traiter,
- ✓ les analyser,
- ✓ conclure à une défaillance ou non, avec certitude.

I.3.1-Origine des défauts

Les défaillances peuvent être d'origines diverses : Electriques, mécaniques, magnétiques. Leurs causes sont multiples et peuvent se classer en 3 groupes :

- **Les générateurs de pannes ou initiateurs de défauts** : Surchauffe du moteur, défaut électrique (court-circuit), survoltage d'alimentation, problème d'isolation électrique, usure des éléments mécaniques (roulements à billes), rupture de fixations,... etc.
- **Les amplificateurs de défauts** : Surcharge fréquente, vibrations mécaniques, environnement humide, mauvais graissage, vieillissement,... etc.

I.3.2. Les défaillances d'ordre électrique

Les défaillances d'origine électrique peuvent être dans certains cas la cause d'un arrêt de la machine (comme les défaillances d'ordre mécanique). Ces défaillances se séparent en deux catégories bien distinctes : une catégorie qui apparaît au niveau des circuits électriques statoriques et celle qui apparaît au niveau des circuits électrique rotoriques.

I.3.2.1 Défauts du stator

L'armature statorique, munie de son bobinage est une partie de la machine qui subit beaucoup de contraintes et dont les effets sont plus importants à cause de la complexité de la structure et la fragilité de certaines parties telles que les isolants [8]. La quasi-totalité de ces défauts sont dus à la dégradation de l'isolant, ils se manifestent sous la forme :

- D'un court-circuit entre spires.
- D'un court-circuit entre deux phases.

I.3.2.2 Défauts du rotor

Les défauts du rotor bobiné sont les mêmes que ceux du stator. Pour le rotor à cage les défauts les plus rencontrés peuvent être, voir figure (I.6) ; comme :

- Rupture d'une barre rotorique (ou éventuellement plusieurs barres).
- Rupture de l'anneau de court circuit.

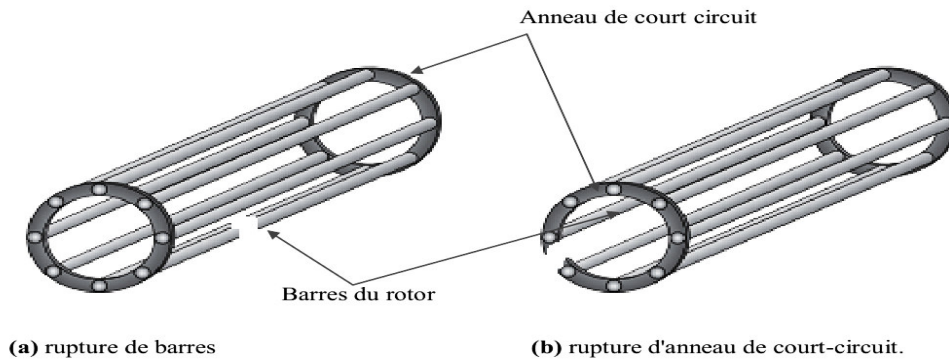


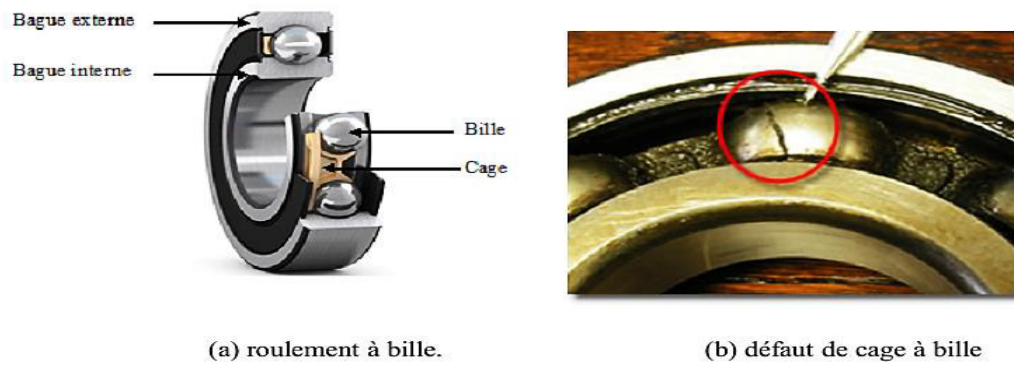
Figure.I.5. les défauts d'un rotor à cage d'écureuil

I.3.3 Les défaillances d'ordre mécanique

Les défaillances d'ordre mécanique sont en général les plus rencontrées parmi tous les défauts que compte la machine asynchrone. Ces défauts peuvent apparaître au niveau des roulements à bille, des flasques ou encore de l'arbre moteur.

I.3.3.1. Les défauts des roulements

Les roulements à billes jouent le rôle d'interface électromécanique entre le stator et le rotor, ce type de défaut est le plus fréquent sur les machines de fortes puissances, tel que généralement il est lié à l'usure du roulement et plus précisément une dégradation des billes ou de la bande de roulement. Les causes possibles, on trouve, l'usure due au vieillissement, la température de fonctionnement élevée, la perte de lubrification, défaut de montage, et les courants d'arbres.



(a) roulement à bille.

(b) défaut de cage à bille

Figure.I.6. Roulement à bille

I.3.3.2 Autres défaillances mécaniques

Il peut apparaître des phénomènes d'oxydation liés à l'environnement de la machine et plus précisément au taux de salinité qui influe sur l'étanchéité et les contacteurs .

➤ Excentricité statique et dynamique

Parfois la machine électrique peut être soumise à un décentrement du rotor, se traduisant par des oscillations de couple (décalage entre le centre de rotation de l'arbre et le centre du rotor (Figure I.8). Ce phénomène est appelé excentricité (statique et dynamique) dont l'origine peut être liée à un positionnement incorrect des paliers lors de l'assemblage à un défaut de roulement (usure), à un défaut de charge, ou à un défaut de fabrication (usinage).

Trois cas d'excentricité sont généralement distingués: Excentricité statique, excentricité dynamique, l'excentricité mixte.

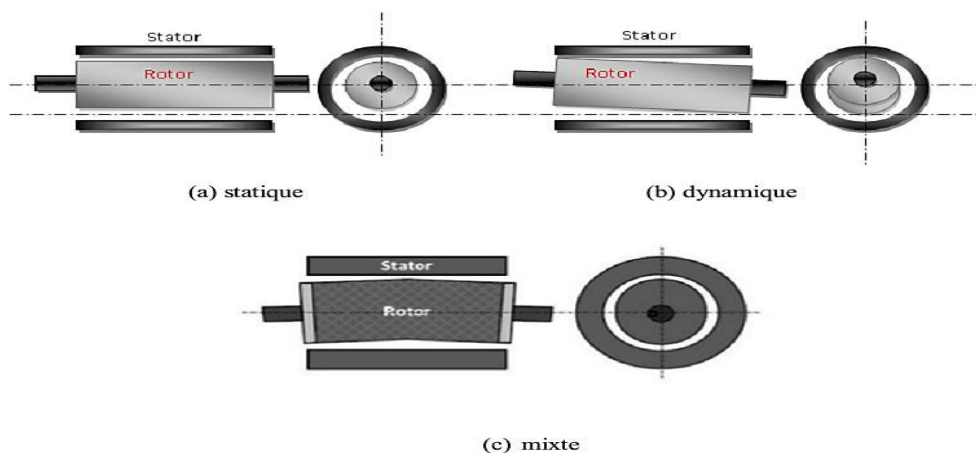


Figure.I.7. défauts d'excentricité

I.4 Methodes de diagnostic fréquemment utilisées:

La maintenance nécessite de connaître les régimes de fonctionnement des systèmes alors que la surveillance donne une réponse aux besoins d'information de la maintenance dans le but de garantir le bon fonctionnement des systèmes. Le diagnostic s'intègre à la surveillance en ayant pour objectif de déterminer les causes de dysfonctionnement, donc le diagnostic des défauts nécessite d'obtenir des symptômes caractéristiques du fonctionnement de l'entraînement surveillé et des analyser pour en déduire l'état du système, alors l'établissement des symptômes se fait souvent en référence à la connaissance du comportement sain. Dans cette perspective nous avons scindés les techniques et méthodes de diagnostic.

I.4.1. Méthodes de diagnostic des défauts basées sur l'analyse spectrale des signaux :

L'analyse spectrale est utilisée depuis de nombreuses années pour détecter des défaillances des machines électriques, essentiellement les ruptures de barres rotorique , la dégradation des roulements. La surveillance par analyse spectrale des entraînements électriques consiste à effectuer une simple transformée de Fourier des grandeurs affectées par le défaut et à visualiser les fréquences parasites constituant la signature d'un défaut dans la machine. Les grandeurs accessibles et mesurables d'une machine asynchrone peuvent être:

- Courants absorbés;
- Flux de dispersion;
- Couple électromagnétique;
- Vitesse rotorique;

I.4.2 Analyse cepstrale

Le cepstre est un anagramme du mot spectre, le cepstre est défini comme étant la puissance spectrale du logarithme du spectre de la puissance, l'intérêt du cepstre est de pouvoir détecter une périodicité dans le spectre de fréquence d'un signal et de la transformer en un pic unique sur l'échelle des fréquences. Pour être capable de distinguer une périodicité dans un spectre, il est nécessaire qu'un nombre suffisant de périodicité suffisamment espacées .

I.4.3 Diagnostic des défauts par estimation paramétrique

Cette méthode de diagnostic utilise les paramètres structuraux d'un modèle de connaissance et extrait par la suite les paramètres du système à partir des lois de connaissance pour détecter et localiser les défaillances, le point essentiel dans l'efficacité de cette méthode est le choix du modèle de connaissance, ces modèles n'ont besoin que de quatre paramètres pour effectuer le diagnostic de défaut.

I.4.4 Diagnostic des défauts par le suivi des grandeurs mesurables

L'analyse fréquentielle des grandeurs mesurables est plus souvent utilisée pour le diagnostic de défaut rotorique, les grandeurs accessibles et mesurables de cette machine peuvent être:

- les courants absorbés ;
- le flux de dispersion ;
- le couple électromagnétique ;
- la vitesse rotorique ;

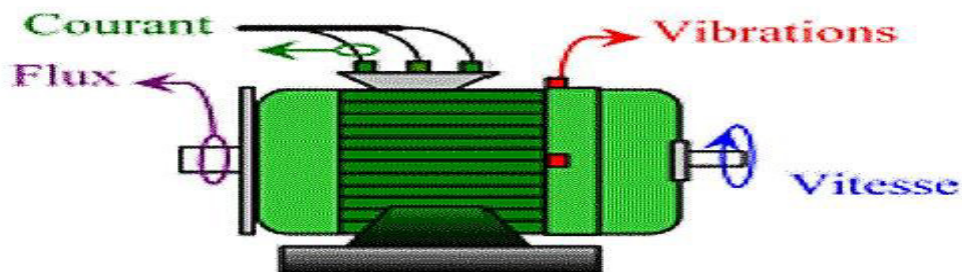


Figure .I.8. schemas représentatif les grandeurs à mesurer

I.4.5 Méthodes basées sur l'intelligence artificielle (IA)

Ces dernières années, la surveillance et la détection de défaut des machines électriques sont éloignées des techniques traditionnelles pour s'orienter vers des techniques qui se base sur l'intelligence artificielle (IA), c'est une branche de l'informatique qui traite la reproduction par la machine de certains aspects de l'intelligence humaine tel qu'apprendre à partir d'une expérience passée à reconnaître des formes complexes et à effectuer des déductions.

Parmi ces méthodes, nous pouvons citer :

I.4.5.1 Reconnaissances des formes (RDF)

La Reconnaissance des formes est un des nombreux aspects de l'intelligence artificielle ou plus exactement de l'intelligence calculatoire. Ces différentes étapes sont illustrées sur la figure suivante:

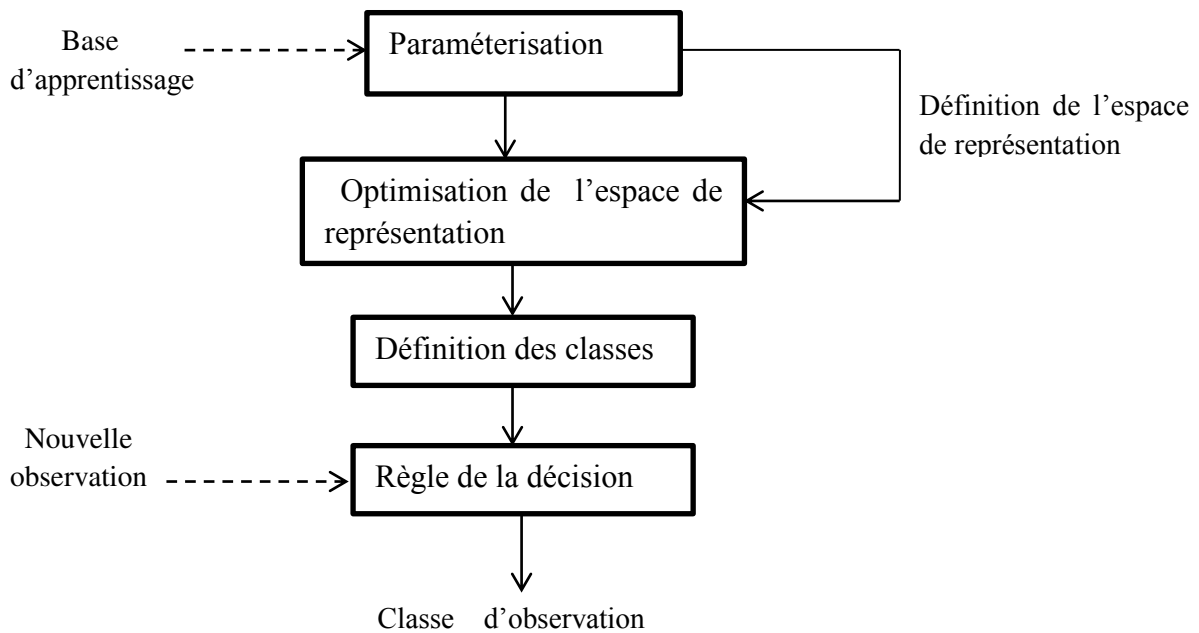


Figure I.9. Différentes étapes de diagnostic par RDF

L'objectif du diagnostic par la reconnaissance des formes est d'associer une observation du système (données fournies par des capteurs, par exemple), à un mode de fonctionnement, correspondant à une classe. Pour cela, on procède comme suit :

- ✓ Choisir les paramètres représentant les observations, ce qui permet de définir l'espace de représentation.
- ✓ Réaliser une base d'apprentissage.
- ✓ Définir les différents modes de fonctionnement, ou critère.
- ✓ Construire une règle de décision permettant d'associer une nouvelle forme à un mode de fonctionnement.

I.4.5.2 Logique floue

Nous venons de voir que la logique floue sert à représenter des connaissances incertaines et imprécises, la commande floue sert à prendre une décision même si l'on ne peut pas estimer les entrées/sorties qu'à partir de prédicats vagues ou lorsque ses entrées/sorties sont entachées d'erreurs que l'on peut évaluer que grossièrement.

La notion d'ensemble floue permet de définir une appartenance graduelle d'un élément à une classe, c'est-à-dire appartenir plus ou moins fortement à cette classe. L'appartenance d'un objet à une classe est ainsi définie par un degré d'appartenance entre 0 et 1.

Il existe plusieurs types de fonction d'appartenance, on peut choisir plusieurs formes, mais les plus usuelles sont triangulaires, trapézoïdales ou gaussiennes. Le contrôleur flou est basé sur un ensemble de règles du type Si. Alors établies en général de manière empirique, il existe trois étapes essentielles dans la mise en œuvre d'un contrôleur flou (Fig.1.11).

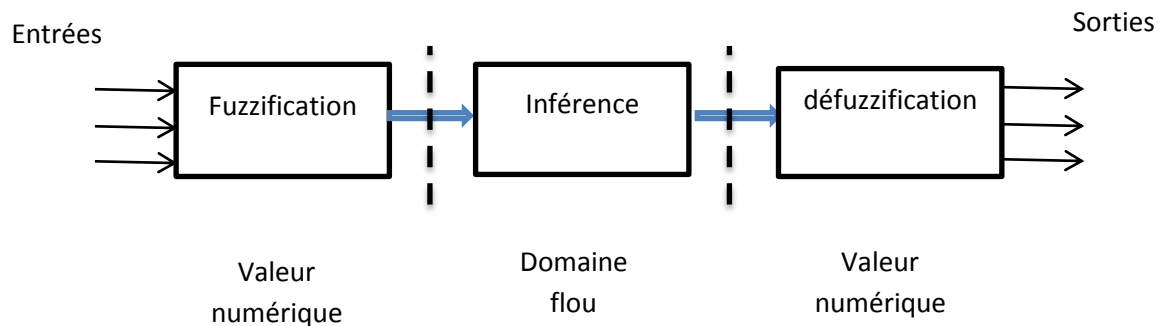


Figure I.10 Etape essentiel d'un controleur flou

I.4.5.3 Diagnostic des défauts par réseaux de neurone artificiel

Pour identifier des défauts dans un système, le diagnostic réalisé par réseaux de neurones doit disposer d'un nombre suffisant d'exemples de bon fonctionnement et de défauts pour pouvoir les apprendre. Pendant la phase d'apprentissage, les exemples sont présentés au réseau en entrée avec les diagnostics correspondants à la sortie, après l'apprentissage, le réseau ne reconnaît pas seulement les exemples appris mais également des paradigmes leur ressemblant, ce qui correspond à une certaine robustesse par rapport aux déformations de signaux par le bruit.

L'inconvénient majeur est d'arriver à déterminer une méthodologie pour maîtriser les problèmes inhérents, qui sont principalement le choix de la structure, de la taille du réseau et des algorithmes d'apprentissage pour un problème précis. Par contre, la principale raison de leur intérêt en diagnostic industriel est leur faculté d'apprentissage et la mémorisation d'un grand volume d'information.

I.5. Conclusion

L'objectifs de cette étude était d'établir l'état de l'art sur la diagnostic de la machine asynchrone, Dans le seul souci de comprendre ce que c'est la modilisation en vue du diagnostic des défauts dans la machine asynchrone, nous avons présentés dans ce première chapitre comme cela été déjà fait dans la plupart des ouvrages parlant de la machine électrique, les principaux éléments constitutif de la machine asynchrone.

Par la suite, le principe de fonctionnement de cette machine,et les différents défauts pouvant l'affecter et les méthodes de diagnostic les plus utilisées ont été vus d'une part.

Dans le chapitre suivant,afin d'aborder la machine asynchrone dans ses autres aspects d'étude, il sera nécessaire de passer à sa modélisation triphasé-biphasé par les circuits électriques magnitiquement couplés et ceci dans l'objectif de nous acheminer vers sa simulation en régime sain.

CHAPITRE II

Modélisation de la machine asynchrone a cage d'écureuil

II.1 INTRODUCTION :

Pour simuler le fonctionnement de la machine asynchrone, il faut choisir un modèle aussi simple que possible qui représenté réellement la machine et traduit fidèlement son fonctionnement. Une machine asynchrone est représentée par six équations électriques et une équation mécanique, alors c'est difficile de travailler avec ces sept équations même avec l'utile numérique. Et pour modélisé cette dernière il faut utiliser des transformés de Park qui il nous permet de faire un passage de système triphasé vers biphasé équivalent et plus simple à étudier.

Dans ce chapitre, nous allons représenter en première temps le modèle triphasé de la machine asynchrone à cage d'écureuil. On considère d'abord le système avec défaut rotorique de type cassure de barre dans le repère triphasé puis dans un repère biphasé en utilisant le modèle de Park.

Dans la deuxième partie nous présentons les résultats de simulation en étudiant des grandeurs temporelles tels que la vitesse rotorique ; le courant statorique ; le couple électromagnétique. Après avoir introduit le modèle sous un programme écrit en MATLAB, permettant de mettre en évidence le comportement du moteur asynchrone dans les différentes conditions de fonctionnement.

II.2 Modélisation de MAS en présence de défaut rotorique**II.2.1 Modèle triphasé**

Il s'agit de modéliser une machine virtuelle équivalente au moteur asynchrone triphasé, symétrique et équilibré à l'aide d'équations différentielles des phénomènes physiques propres à la machine dont le stator représentée par trois enroulements décalés de 120° dans l'espace, traversés par trois courants variable formant un système triphasé équilibré et le rotor peut être modélisé comme le stator par trois enroulements décalés de 120° dans l'espace mais elles sont en court-circuit. Les trois enroulements rotorique et les trois enroulements statorique sont notées respectivement $(a_r ; b_r, c_r)$ et (a_s, b_s, c_s) .

La modélisation du défaut rotorique se fait par un rajout d'un nouvel axe B_0 repéré par rapport au premier axe a_r de rotor avec angle θ_0 . Cet enroulement court-circuité ajouté est parcouru par un courant I_0 qui va créer un champ rotorique stationnaire H_0 orienté selon l'axe de rotor en défaut. C'est ce qui est illustré dans la figure.II.1.

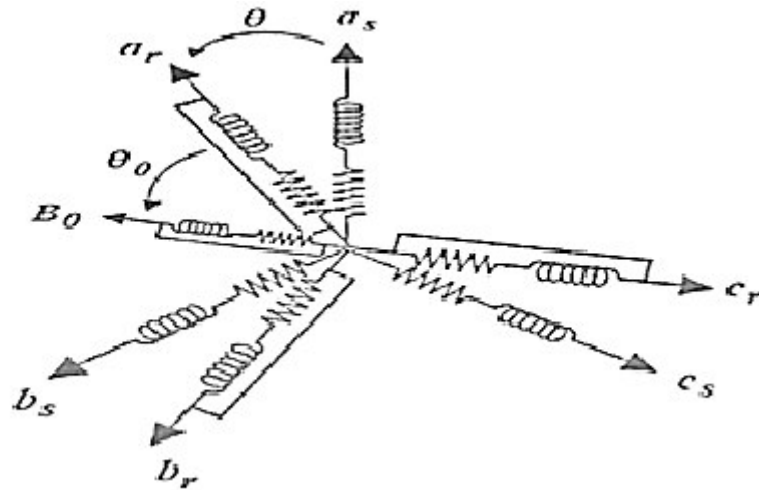


Figure.II.1 Modélisation dans le repère triphasé avec bobinage de cassure de barre

Une panne au rotor est donc équivalente à un bobinage en court-circuit, de fait de la cage d'écureuil et dont le nombre de spire fictifs est proportionnel aux taux de défaut. Et pour avoir cette dernière anomalie, le bobinage doit être obligatoirement avoir la même direction que la barre en défaut. Par conséquent, on a deux paramètres pour localisation et détection de défaut.

- ✓ L'angle électrique θ_0 : c'est un paramètre qui permet la localisation de la barre défaut.
- ✓ Le rapport de défaut η_0 : ce paramètre permet de quantifier le déséquilibre et d'obtenir le nombre de barre cassée. L'expression du rapport de défaut η_0 est donnée par Eq.II.1

$$\eta_0 = \frac{\text{Nombre de spire fictifs en défauts}}{\text{Nombre total de spires fictives sur une phase}} \dots\dots\dots (\text{Eq.II.1})$$

Le nombre total de spire rotorique dans une phase, pour une représentation de trois phases est égale à $\frac{n_b}{3}$. Pour n_{bc} barre cassées η_0 devient :

$$\eta_0 = \frac{3 n_{bc}}{n_b}$$

Le modèle de la machine est établi en tenant compte des hypothèses simplificatrices tel que :

- Une symétrie parfaite de la machine.
- Le bobinage statorique est reparti de manière à donner une f.m.m sinusoïdale et les barres de rotor sont assimilées à un bobinage triphasé en court-circuit.
- Le niveau de la saturation est faible et on néglige l'hystérésis, le courant de Foucault et l'effet de peau.

Ces hypothèses impliquent que :

- Les flux sont additifs.
- Les inductances propres sont constantes.
- La mutuelle inductance varie d'une façon sinusoïdale.
- Les hypothèses citées ci-dessus permettent aussi d'écrire :

$$L_{rr} = L_{ss} = L_{sxy} = L_{rxy} = L_{sr} = L_p$$

Aussi pour simplifier la modélisation de la MAS, on choisit de totaliser les fuites magnétiques au stator. Nous pouvons écrire encore : $L_{fsx} = L_f$ et $L_{fry} = 0$

II.2.2 Equations de la machine

II.2.2.1 Equations électriques

En appliquant la loi d'ohm et la loi de Faraday aux enroulements du stator et du rotor, on trouve une écriture sous forme matricielle :

$$[V_s] = [R_s]. [I_s] + d \frac{[\phi_s]}{dt} \dots\dots\dots\text{stator} \quad (\text{EqII.2})$$

$$[V_r] = [R_r]. [I_r] + d \frac{[\phi_r]}{dt} \dots\dots\dots\text{rotor} \quad (\text{EqII.3})$$

$$0 = [R_0]. [I_0] + d \frac{[\phi_0]}{dt} \dots\dots\dots\text{défaut} \quad (\text{EqII.4})$$

Les matrices de tensions, de courants et de flux sont données par :

$$V_s = \begin{bmatrix} V_{as} \\ V_{bs} \\ V_{cs} \end{bmatrix}; V_r = \begin{bmatrix} V_{ar} \\ V_{br} \\ V_{cr} \end{bmatrix}; \phi_r = \begin{bmatrix} \phi_{ar} \\ \phi_{br} \\ \phi_{cr} \end{bmatrix}; \phi_s = \begin{bmatrix} \phi_{as} \\ \phi_{bs} \\ \phi_{cs} \end{bmatrix}; I_r = \begin{bmatrix} I_{ar} \\ I_{br} \\ I_{cr} \end{bmatrix}; I_s = \begin{bmatrix} I_{as} \\ I_{bs} \\ I_{cs} \end{bmatrix}$$

Ou

– [v_s] / [v_r] : Vecteur de tension statorique et rotorique respectivement

– [I_s] / [I_r] : Vecteur de courant stator / rotor

– [φ_s] / [φ_r] : Vecteur de flux statorique/rotorique

Les matrices de résistances statoriques et rotoriques sont :

$$R_s = \begin{bmatrix} R_s & 0 & 0 \\ 0 & R_s & 0 \\ 0 & 0 & R_s \end{bmatrix} \qquad R_r = \begin{bmatrix} R_r & 0 & 0 \\ 0 & R_r & 0 \\ 0 & 0 & R_r \end{bmatrix}$$

Dans le cas d'une machine sans déséquilibre de paramètres :

$$R_s = R_{as} = R_{bs} = R_{cs} \qquad \text{Et} \qquad R_r = R_{ar} = R_{br} = R_{cr}$$

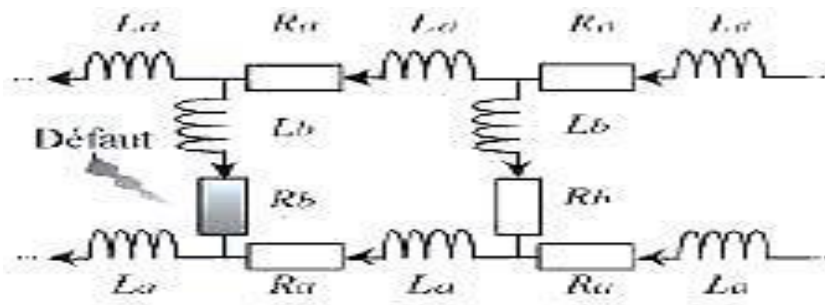


Figure II.2 Circuit équivalent d'un rotor à cage d'écureuil

II.2.2.2 Equations magnétiques

Chaque flux comporte une interaction avec les courants de toutes les phases, écriture sous forme matricielle:

$$[\Phi_{ss}] = [L_s] [I_s] + [L_{sr}] [I_r] + [L_{s0}] [I_0] \dots\dots\dots\text{stator} \qquad (\text{EqII.4})$$

$$[\Phi_{rr}] = [L_r] [I_r] + [L_{rs}] [I_s] + [L_{r0}] [I_0] \dots\dots\dots\text{rotor} \qquad (\text{EqII.5})$$

$$[\Phi_s] = [L_{0s}] [I_s] + [L_{0r}] [I_r] + L_0 I_0 \dots\dots\dots\text{défaut} \qquad (\text{EqII.6})$$

D'après les simplifications au-dessus on obtient à :

$$[L_s] = \begin{bmatrix} L_{psa} + L_{fsa} & -\frac{1}{2}L_{sab} & -\frac{1}{2}L_{sac} \\ -\frac{1}{2}L_{sba} & L_{psb} + L_{fsb} & -\frac{1}{2}L_{sbc} \\ -\frac{1}{2}L_{sca} & -\frac{1}{2}L_{scb} & L_{psc} + L_{fsc} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} L_{pr} + L_f & -\frac{1}{2}L_p & -\frac{1}{2}L_p \\ -\frac{1}{2}L_p & L_p + L_f & -\frac{1}{2}L_p \\ -\frac{1}{2}L_p & -\frac{1}{2}L_p & L_p + L_f \end{bmatrix}$$

$$[L_r] = \begin{bmatrix} L_{pra} + L_{fra} & -\frac{1}{2}L_{rab} & -\frac{1}{2}L_{rac} \\ -\frac{1}{2}L_{rba} & L_{prb} + L_{frb} & -\frac{1}{2}L_{rbc} \\ -\frac{1}{2}L_{rca} & -\frac{1}{2}L_{rcb} & L_{prc} + L_{frc} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} L_p & -\frac{1}{2}L_p & -\frac{1}{2}L_p \\ -\frac{1}{2}L_p & L_p & -\frac{1}{2}L_p \\ -\frac{1}{2}L_p & -\frac{1}{2}L_p & L_p \end{bmatrix}$$

$[L_{ss}]$ Et $[L_{rr}]$ représentent respectivement les matrices d'inductances statorique et rotorique tandis que $[L_{sr}]$ correspond à la matrice d'inductance mutuelle stator rotor et ce sont fonction de l'angle 'θ'.

$$[L_{sr}] = \begin{bmatrix} L_{sra} \cos \theta & L_{sarb} \cos \left(\theta + \frac{2\pi}{3} \right) & L_{sarc} \cos \left(\theta - \frac{2\pi}{3} \right) \\ L_{sbra} \cos \left(\theta - \frac{2\pi}{3} \right) & L_{srb} \cos \theta & L_{sbrc} \cos \left(\theta + \frac{2\pi}{3} \right) \\ L_{scra} \cos \left(\theta + \frac{2\pi}{3} \right) & L_{screb} \cos \left(\theta - \frac{2\pi}{3} \right) & L_{src} \cos \theta \end{bmatrix}$$

Et après la simplification : $[L_{sr}] = L_p \begin{bmatrix} \cos \theta & \cos \left(\theta + \frac{2\pi}{3} \right) & \cos \left(\theta - \frac{2\pi}{3} \right) \\ \cos \left(\theta - \frac{2\pi}{3} \right) & \cos \theta & \cos \left(\theta + \frac{2\pi}{3} \right) \\ \cos \left(\theta + \frac{2\pi}{3} \right) & \cos \left(\theta - \frac{2\pi}{3} \right) & \cos \theta \end{bmatrix}$

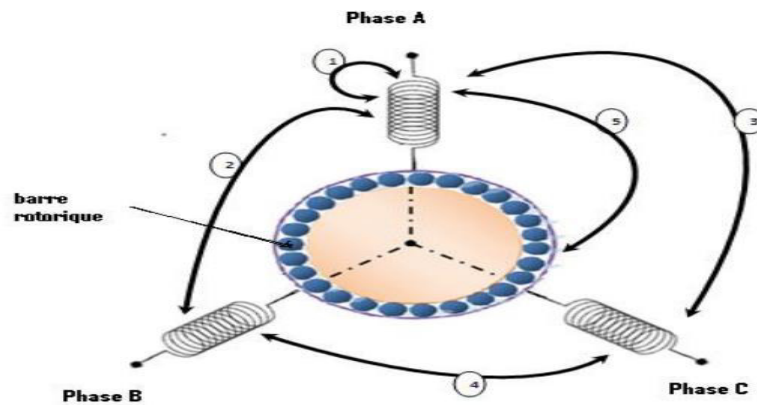


Figure II.3 Inductances mutuelles pour MAS sain

Et $[L_{rs}] = [L_{sr}]^T$

Et on peut écrire alors les différentes mutuelles inductances sous forme matricielle comme suit :

$$L_{sr}(\theta) = \frac{3}{2} L_p T_{32} P(\theta) T_{23} \dots\dots\dots (EqII.7)$$

Avec : $T_{23} = \sqrt{\frac{2}{3}} \begin{bmatrix} \cos(0) & \cos\left(\frac{2\pi}{3}\right) & \cos\left(\frac{4\pi}{3}\right) \\ \sin(0) & \sin\left(\frac{2\pi}{3}\right) & \sin\left(\frac{4\pi}{3}\right) \end{bmatrix} = \sqrt{\frac{2}{3}} \begin{bmatrix} 1 & -\frac{1}{2} & -\frac{1}{2} \\ 0 & \sqrt{\frac{3}{2}} & -\sqrt{\frac{3}{2}} \end{bmatrix}$

$$T_{32} = T_{23}^T \quad \text{ET} \quad T_{32} \cdot T_{23} = I$$

$$P(\theta) = \begin{bmatrix} \cos \theta & \cos \left(\theta + \frac{2\pi}{3} \right) \\ \sin(\theta) & \sin \left(\theta + \frac{2\pi}{3} \right) \end{bmatrix} \quad : \text{Matrice de rotation d'angle } \theta$$

La résistance R_0 de la bobine B_0 s'écrit en fonction de la résistance R_r des trois phases statoriques sans défaut :

$$R_0 = \eta_0 R_r$$

On peut écrire les différentes inductances et mutuelles inductances de la bobine B₀ par rapport aux phases statoriques et rotoriques de la machine :

$$L_0 = \eta_0^2 L_p$$

$$[L_{s0}] = \eta_0 L_p \begin{bmatrix} \cos(\theta_0 + \theta) \\ \cos\left(\theta_0 + \theta - \frac{2\pi}{3}\right) \\ \cos\left(\theta_0 + \theta + \frac{2\pi}{3}\right) \end{bmatrix} = \sqrt{\frac{3}{2}} \eta_0 L_p T_{32} P(\theta) \begin{bmatrix} \cos(\theta_0) \\ \sin(\theta_0) \end{bmatrix} \dots\dots (EqII.8)$$

$$[L_{r0}] = \eta_0 L_p \begin{bmatrix} \cos(\theta_0) \\ \cos\left(\theta_0 - \frac{2\pi}{3}\right) \\ \cos\left(\theta_0 + \frac{2\pi}{3}\right) \end{bmatrix} = \sqrt{\frac{3}{2}} \eta_0 L_p T_{32} \begin{bmatrix} \cos(\theta_0) \\ \sin(\theta_0) \end{bmatrix} \dots\dots\dots (EqII.9)$$

Tel que $[L_{r0}] = [L_{0r}]^T$ et $[L_{s0}] = [L_{0s}]^T$

II.2.3 Transformation du système triphasé :

La mise en équation de la machine asynchrone aboutit de six à un système de six équations différentielles à coefficients variables, la résolution de ce système est très difficile d'où la nécessité de faire une transformation du système triphasé vers un système biphasé équivalent. Cette transformation doit conserver la puissance instantanée et la réciprocité des inductances mutuelles, ceci permet d'établir une expression du couple électromagnétique valable pour la machine réelle avec développement de l'outil numérique.

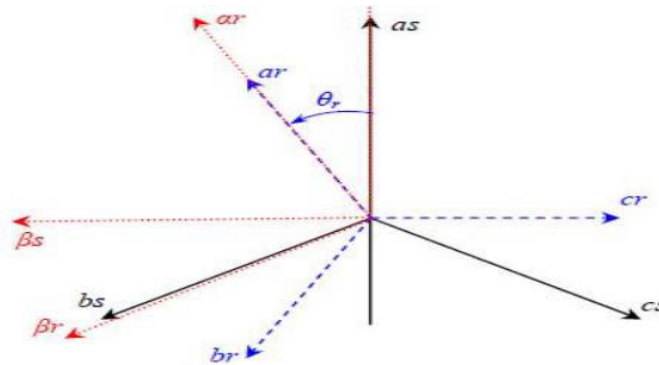


Fig.II.4 Représentation d'une système triphasé au système biphasé

Il vient alors la transformation de système triphasé X_{abc} en système biphasé X_{αβ}

$$\begin{bmatrix} X_\alpha \\ X_\beta \\ X_0 \end{bmatrix} = \sqrt{\frac{2}{3}} \begin{bmatrix} 1 & -\frac{1}{2} & -\frac{1}{2} \\ 0 & \sqrt{\frac{3}{2}} & -\sqrt{\frac{3}{2}} \\ \sqrt{\frac{1}{2}} & \sqrt{\frac{1}{2}} & \sqrt{\frac{1}{2}} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} X_a \\ X_b \\ X_c \end{bmatrix} \dots\dots\dots (EqII.10)$$

Dans le cas ou le système en équilibre ,on peut ecrire :

$$\begin{bmatrix} X_\alpha \\ X_\beta \end{bmatrix} = \sqrt{\frac{2}{3}} \begin{bmatrix} 1 & -\frac{1}{2} & -\frac{1}{2} \\ 0 & \sqrt{\frac{3}{2}} & -\sqrt{\frac{3}{2}} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} X_a \\ X_b \\ X_c \end{bmatrix} \dots\dots\dots (EqII.11)$$

$$X_{\alpha\beta} = T_{23} [X_{abc}]$$

Et $X_{abc} = T_{32} [X_{\alpha\beta}]$

II.2.3.1 La transforme de Park :

La transformation de Park est la plus utilisée dans la littérature, elle permet d'exprimer les grandeur statoriques et rotoriques dans un repère biphasé tournant (d,q) ,ce repère forme avec le repère fixe(a,b) un angle θ appelé angle de Park

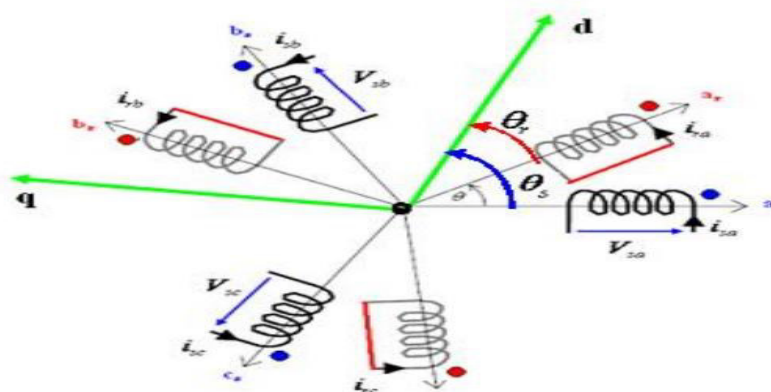


Figure II.5 Représentation de modèle de Park

Il vient alors la transformation du système biphasé $X_{\alpha\beta}$ en un système de Park X_{dq} :

Pour le stator : $\begin{bmatrix} X_{ds} \\ X_{qs} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \cos(\theta_s) & \sin(\theta_s) \\ -\sin(\theta_s) & \cos(\theta_s) \end{bmatrix} \begin{bmatrix} X_{\alpha s} \\ X_{\beta s} \end{bmatrix} = p(-\theta_s) \begin{bmatrix} X_{\alpha s} \\ X_{\beta s} \end{bmatrix} \dots\dots\dots (EqII.12)$

Pour le rotor : $\begin{bmatrix} X_{dr} \\ X_{qr} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \cos(\theta_r) & \sin(\theta_r) \\ -\sin(\theta_r) & \cos(\theta_r) \end{bmatrix} \begin{bmatrix} X_{\alpha r} \\ X_{\beta r} \end{bmatrix} = p(-\theta_r) \begin{bmatrix} X_{\alpha r} \\ X_{\beta r} \end{bmatrix} \dots\dots\dots (EqII.13)$

II.2.3.2 Choix de repère (d,q)

Choix de repère (d,q) : Le choix de repère se fait selon l'objectif de l'application, on distingue trois choix plus important tel que $\omega = \frac{d\theta}{dt}$:

➤ Repère (d,q) lié au stator : ce repère est fixe par rapport au stator, il est utilisé pour l'étude de démarrage et de freinage de la machine. Il est caractérisé par : $\omega_s = 0$ et $\omega_r = -\omega$

$$V_{ds} = R_s \cdot I_{ds} + \frac{d\phi_{ds}}{dt}$$

$$V_{qs} = R_s \cdot I_{qs} + \frac{d\phi_{qs}}{dt}$$

$$0 = R_r \cdot I_{dr} + \frac{d\phi_{dr}}{dt} + \omega_r \cdot \phi_{ds}$$

$$0 = R_r \cdot I_{qr} + \frac{d\phi_{qr}}{dt} - \omega_r \cdot \phi_{qs}$$

➤ Repère (d,q) lié au rotor : ce repère est fixe par rapport au rotor, il est utilisé pour la simulation des régimes transitoires des machines. il est caractérisé par : $\omega_r = 0$ et $\omega_s = \omega$

$$V_{ds} = R_s \cdot I_{ds} + \frac{d\phi_{ds}}{dt} - \omega_s \cdot \phi_{qs}$$

$$V_{qs} = R_s \cdot I_{qs} + \frac{d\phi_{qs}}{dt} + \omega_s \cdot \phi_{ds}$$

$$0 = R_r \cdot I_{dr} + \frac{d\phi_{dr}}{dt}$$

$$0 = R_r \cdot I_{qr} + \frac{d\phi_{qr}}{dt}$$

➤ Repère lié au synchronisme : ce repère est fixe par rapport au champ tournant, il est utilisé pour la commande vectorielle de la machine. Il est caractérisé par : $\omega_s = \omega_r + \omega = 2\pi f_s$

$$V_{ds} = R_s I_{ds} + \frac{d\phi_{ds}}{dt} - \omega \phi_{qs}$$

$$V_{qs} = R_s I_{qs} + \frac{d\phi_{qs}}{dt} - \omega_r \phi_{ds}$$

$$0 = R_r I_{dr} + \frac{d\phi_{dr}}{dt} - \omega_r \phi_{qr}$$

$$0 = R_r \cdot I_{qr} + \frac{d\phi_{qr}}{dt} + \omega_r \cdot \phi_{dr}$$

Dans notre travail, notre choix s'est porté sur le repère de Park lié au rotor. Ce choix nous permet d'écrire :

Grandeurs statoriques :
$$\begin{bmatrix} X_{ds} \\ X_{qs} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \cos(\theta) & \sin(\theta) \\ -\sin(\theta) & \cos(\theta) \end{bmatrix} \begin{bmatrix} X_{\alpha s} \\ X_{\beta s} \end{bmatrix} = p(-\theta) \begin{bmatrix} X_{\alpha s} \\ X_{\beta s} \end{bmatrix} \dots\dots(EqII.14)$$

Grandeurs rotoriques :
$$\begin{bmatrix} X_{dr} \\ X_{qr} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \cos(0) & \sin(0) \\ -\sin(0) & \cos(0) \end{bmatrix} \begin{bmatrix} X_{\alpha r} \\ X_{\beta r} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} X_{\alpha r} \\ X_{\beta r} \end{bmatrix} \dots\dots\dots(EqII.15)$$

Avec :
$$[X_{dqs}] = T_{23} p(-\theta) [X_{abcs}]$$

Et
$$[X_{dqr}] = T_{23} [X_{abcr}]$$

Ainsi les grandeurs de défaut qui sont localisées sur une direction fixe au rotor :

$$[I_{dq0}] = \begin{bmatrix} \cos(\theta_0) \\ \sin(\theta_0) \end{bmatrix} I_0 \quad \text{Et} \quad [\emptyset_{dq0}] = \begin{bmatrix} \cos(\theta_0) \\ \sin(\theta_0) \end{bmatrix} \emptyset_0$$

II.2.3.3.1 Application aux équations électriques dans le repère de Park (d,q) :

Appliquant la transformation de Park à l'expression :

$$[P(\theta_r)]^{-1} \cdot [V_{dqs}] = [R_s] [P(\theta_r)]^{-1} [I_{dqs}] + \frac{d}{dx} ([P(\theta)]^{-1} [\emptyset_{dqs}])$$

On utilisant la formule de la dérivée d'un produit :

$$[P(\theta_s)]^{-1} [V_{dqs}] = [R_s] [P(\theta_s)]^{-1} [I_{dqs}] + [\emptyset_{dqs}] \frac{d}{dx} [P(\theta_s)]^{-1} + [P(\theta_s)]^{-1} \frac{d}{dx} [\emptyset_{dqs}]$$

Multiplions les deux membres de l'égalité par $[P(\theta_r)]$ et nous trouvons :

$$[V_{dqs}] = [R_s] [I_{dqs}] + [P(\theta_s)] [\emptyset_{dqs}] \frac{d}{dx} [P(\theta_s)]^{-1} + \frac{d}{d} [\emptyset_{dqs}] \dots\dots\dots(Eq.II.16)$$

Effectuent le produit matriciel :
$$[P(\theta_s)] \frac{d}{dt} [P(\theta_s)]^{-1} = \begin{bmatrix} 0 & -1 \\ 1 & 0 \end{bmatrix} \frac{d\theta}{dt}$$

Donc l'expression de $[V_{dqs}]$ devient comme suit :

$$[V_{dqs}] = [R_s] [I_{dqs}] + \frac{d}{dx} [\emptyset_{dqs}] + \begin{bmatrix} 0 & \frac{-d\theta s}{dx} \\ \frac{d\theta s}{dx} & 0 \end{bmatrix} [\emptyset_{dqs}] \dots\dots\dots(EqII.17)$$

La même démarche appliquée au rotor. On obtient après la transformation à ces équations:

✓ Equation stator:
$$[V_{dqs}] = [R_s] [I_{dqs}] + \frac{d}{dx} [\emptyset_{dqs}] + \omega P \left(\frac{\pi}{2} \right) [\emptyset_{dqs}] \dots(EqII.18)$$

✓ Equation rotorique: $[0] = [R_r] [I_{dqr}] + \frac{d}{dx} [\emptyset_{dqr}] \dots \dots \dots$ (EqII.19)

✓ Equation de défaut: $[0] = \eta_0 R_r [I_{dq0}] + \frac{d}{dx} [\emptyset_{dq0}] \dots \dots \dots$ (EqII.20)

II.2.3.3.2 Application aux équations de flux

$$[\emptyset_{dqs}] = (L_m + L_f)[I_{dqs}] + L_m \left([I_{dqr}] + \sqrt{\frac{2}{3}} \eta_0 [I_{dq0}] \right) \dots \dots \dots$$
 (EqII.21)

$$[\emptyset_{dqr}] = L_m \left([I_{dqr}] + [I_{dqs}] + \sqrt{\frac{2}{3}} \eta_0 [I_{dq0}] \right) \dots \dots \dots$$
 (EqII.22)

$$[\emptyset_{dq0}] = \sqrt{\frac{2}{3}} \eta_0 L_m Q(\theta_0) ([I_{dqs}] + [I_{dqr}] + \sqrt{\frac{2}{3}} \eta_0 [I_{dq0}]) \dots \dots \dots$$
 (Eq.II.23)

Avec : $L_m = \frac{3}{2} L_p$ Inductance magnétisante

$$Q(\theta_0) = \begin{bmatrix} \cos(\theta_0) \\ \sin(\theta_0) \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \cos(\theta_0) & \sin(\theta_0) \\ \sin(\theta_0) & -\cos(\theta_0) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \cos(\theta_0)^2 & \cos(\theta_0) \sin(\theta_0) \\ \cos(\theta_0) \sin(\theta_0) & \sin(\theta_0)^2 \end{bmatrix} \dots \dots \dots$$
 (Eq.II.24)

Par analogie avec l'étude du schéma équivalent ramené au primaire des transformations, les équations de flux de la machine asynchrone en défaut rotorique devient :

$$[\emptyset_{dqs}] = [\emptyset_{dqf}] + [\emptyset_{dqm}] = L_f [I_{dqs}] + L_m ([I_{dqs}] + [I_{dqr}] - \hat{I}_{dq0}) \dots \dots \dots$$
 (Eq.II.25)

$$[\emptyset_{dqr}] = [\emptyset_{dqm}] = L_m ([I_{dqs}] + [I_{dqr}] - \hat{I}_{dq0}) \dots \dots \dots$$
 (Eq.II.26)

$$[\emptyset_{dq0}] = \eta_0 Q(\theta_0) [\emptyset_{dqm}] \dots \dots \dots$$
 (Eq.II.27)

Avec : $[\hat{I}_{dq0}] = -\sqrt{\frac{2}{3}} \eta_0 [I_{dq0}]$ Et $[\emptyset_{dq0}] = \sqrt{\frac{3}{2}} [\emptyset_{dq0}] \dots \dots \dots$ (Eq.II.28)

De même, l'équation de tension du bobinage en défaut ramenée au primaire s'écrit :

$$[\hat{I}_{dq0}] = \frac{2}{3} \frac{\eta_0}{R_r} Q(\theta_0) \frac{d}{dt} \emptyset_{dqm} = R_0^{-1} \frac{d}{dt} \emptyset_{dqm} \dots \dots \dots$$
 (Eq.II.29)

II.2.3.3.3 Schéma électrique équivalent

D'après l'équation(Eq.II.27) La bobine B_0 représentant le défaut se ramène à un simple quadripôle résistif mis en parallèle avec l'inductance magnétisante et la résistance rotorique.

Dans le repère de Park, la mise en équation d'état d'un tel système reste complexe, il s'avère plus judicieux d'établir le schéma équivalent de la machine avec la résistance rotorique R_r et la résistance de défaut R_0 totalisée au rotor.

Ainsi, la résistance équivalente R_{eq} est la mise en parallèle de la résistance rotorique R_r et la résistance de défaut R_0 , l'expression de la matrice résistante équivalente au rotor et alors obtenue comme suit :

$$R_{eq}^{-1} = R_r^{-1} + R_0^{-1} = R_r^{-1} (1 + \frac{2}{3} \eta_0 Q(\theta_0)) \dots \dots \dots (Eq.II.30)$$

En inversant, on obtient ainsi l'expression de la résistance équivalente :

$$R_{eq} = R_r + R_{défaut} = R_r (1 - \frac{\alpha}{\alpha+1} Q(\theta_0)) \dots \dots \dots (Eq.II.31)$$

Avec : $\alpha = \frac{2}{3} \eta_0$ et $R_r = R_r \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ 0 & 1 \end{bmatrix}$

Tel que : $R_{défaut} = \frac{\alpha}{\alpha+1} \begin{bmatrix} \cos(\theta_0)^2 & \cos(\theta_0) \sin(\theta_0) \\ \cos(\theta_0) \sin(\theta_0) & \sin(\theta_0)^2 \end{bmatrix}$

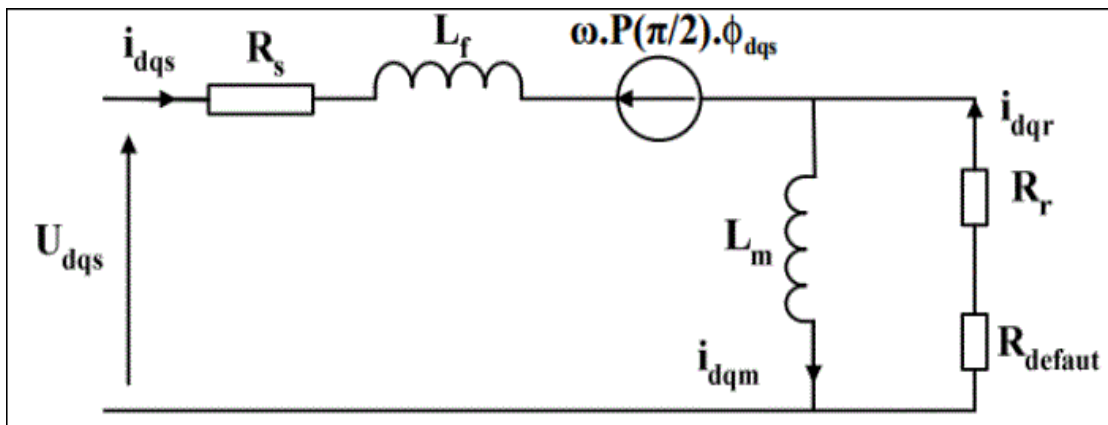


Figure II.6 schémas équivalent du MAS avec cassure de barre

On peut constater que la résistance de défaut, contrairement à de la résistance saine, c'est non équilibrée et possède des termes de couplage. Ainsi, l'introduction de cette matrice dans le schéma équivalent modifie entièrement la structure de la machine. Lorsque la machine est saine (donc $\alpha=0$), la résistance $R_{\text{défaut}}$ devient nulle ce qui revient à court-circuit le quadripôle de défaut. Le schéma équivalent de la machine en défaut correspondant au modèle classique de Park lié au rotor. Lorsque le paramètre est non nul, la résistance $R_{\text{défaut}}$ introduit un déséquilibre dans les grandeurs rotoriques ainsi que des termes de couplage sur les deux axes (d,q) de rotor. Par conséquent, de nouvelles composantes dont la pulsation est proportionnelle au glissement de la machine sont introduites, et se retrouvent de ce fait dans les courants statoriques, traduisant ainsi un déséquilibre rotorique.

II.2.3.4 Représentation d'état du modèle de défaut

La loi de la mise en rotation du moteur est donnée par l'équation générale de la dynamique :

$$J \frac{d\Omega(t)}{dt} = C_{em}(t) - C_r - f_v \Omega(t) \dots\dots\dots (Eq.II.32)$$

Avec :

$\Omega = \frac{\omega}{p}$: vitesse mécanique

J : Moment d'inertie

f_v : Coefficient de frottement visqueux

Le couple électromagnétique C_{em} peut présenter comme suit : $C_{em} = P \frac{L_{sr}}{L_r} ([I_s] \wedge [\theta_r])$

L'expression de couple C_{em} dans le repère de Park avec fuite ramenée au stator s'écrit :

$$C_{em} = p (I_{qs} \theta_{dr} - I_{ds} \theta_{qr}) \dots\dots\dots (Eq.II.33)$$

En remplaçant dans l'équation électromecanique.Eq.II.24.on obtient

$$\frac{d\omega}{dt} = \frac{p^2}{J} (I_{qs} \theta_{dr} - I_{ds} \theta_{qr}) - \frac{f_v}{J} \omega - \frac{p}{J} C_r \dots\dots\dots (Eq.II.34)$$

En vue d'obtenir à un modèle non linéaire de la machine asynchrone, nous proposons de la mettre sous forme d'équations d'état. Nous allons choisir dans tout ce qui suivra le vecteur $[I_{ds}; I_{qs}; \theta_{qr}; \theta_{dr}; \omega; \theta]$ comme vecteur d'état et les grandeurs $(V_{ds}; V_{qs}; C_r)$ comme variable

de commande. Et en considérant les dynamiques des flux rotoriques $[\varnothing_{dqr}]$ et des courants statorique $[I_{dqs}]$ aux dynamiques électromagnétiques (ω, θ) , le système peut alors être décrit par le système d'équations non linéaires. Après des calculs, nous aboutissons au système suivant :

$$[\dot{X}] = f([x]) + g[u] \dots\dots\dots (Eq.II.35)$$

$$[Y] = h([x]) \dots\dots\dots (Eq.II.36)$$

Avec : $h([x]) = \begin{bmatrix} I_{ds} \\ I_{qs} \\ \omega \end{bmatrix}$ et $R_{eq} = R_r \left(1 - \frac{\alpha}{\alpha+1} Q(\theta_0)\right)$ Ou $\alpha = \frac{2}{3} \eta_0$

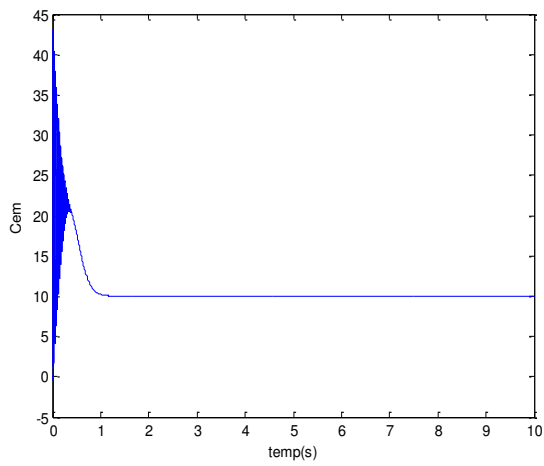
$$f([x]) = \begin{bmatrix} -\left((R_s I + R_{eq}) L_f^{-1} + \omega P \left(\frac{\pi}{2}\right)\right) I_{dqs} + \left(R_{eq} L_m^{-1} - \omega P \left(\frac{\pi}{2}\right)\right) L_f^{-1} \varnothing_{dqr} \\ R_{eq} I_{dqs} - R_{eq} L_m^{-1} \varnothing_{dqr} \\ \frac{P^2}{J} (I_{qs} \varnothing_{dr} - I_{qs} \varnothing_{qr}) - \frac{f}{J} \omega \\ \omega \end{bmatrix}$$

$$g = \begin{bmatrix} \frac{1}{L_f} & 0 & 0 \\ 0 & \frac{1}{L_f} & 0 \\ 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & -\frac{P}{J} \\ 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}, [\dot{X}] = \begin{bmatrix} I_{ds} \\ I_{qs} \\ \varnothing_{dr} \\ \varnothing_{qr} \\ \omega \\ \theta \end{bmatrix}, [Y] = [I_{qs} \ I_{ds} \ \omega]^T, [u] = [V_{ds}; V_{qs}; C_r]$$

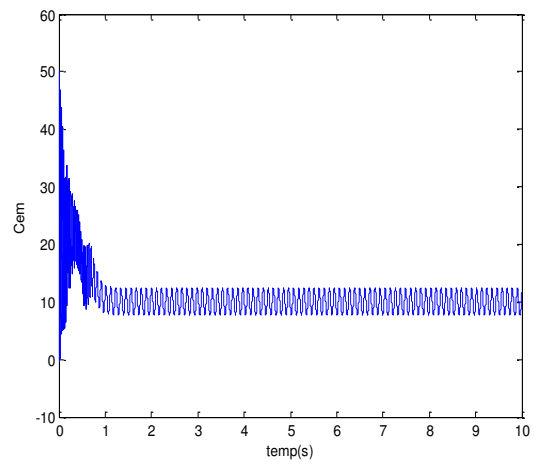
II.3 Simulation modèle de la machine asynchrone

Nous présentons dans cette partie la simulation des grandeurs de la machine (vitesse, couple, courant d'une phase statorique, le flux rotoriques) a l'état sein et en présence de défaut.

Alors le choix d'un tel modèle est imposés par l'objectif de la simulation, dans notre cas, on a choisir le défaut à 40% de cassure de barre rotorique.

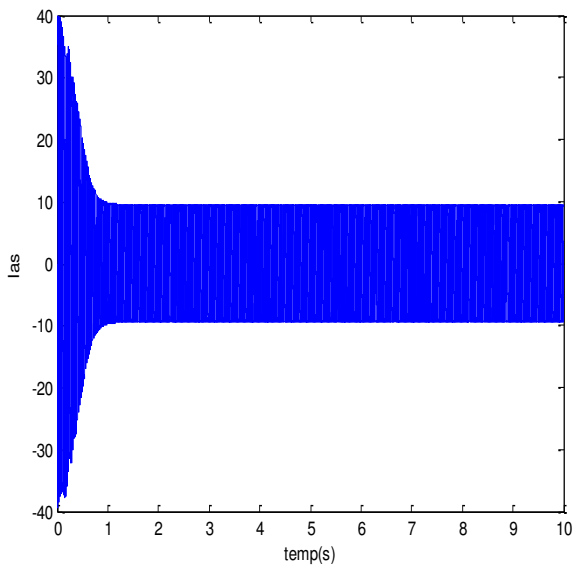


a- Fonctionnement sain

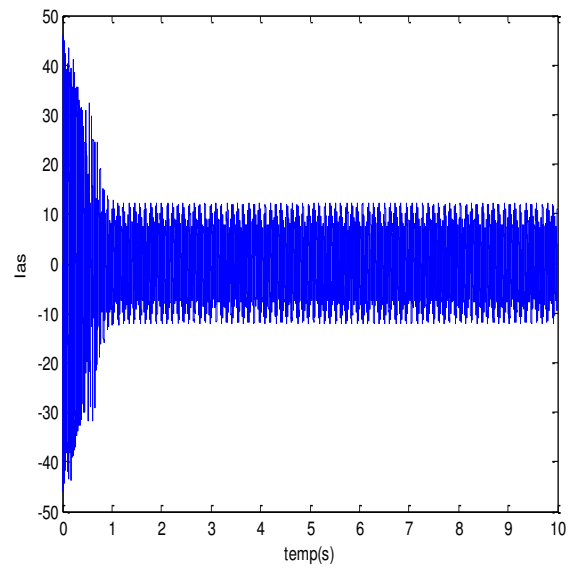


b- Fonctionnement a 40% de défaut

Figure II.7 couple électromagnétique

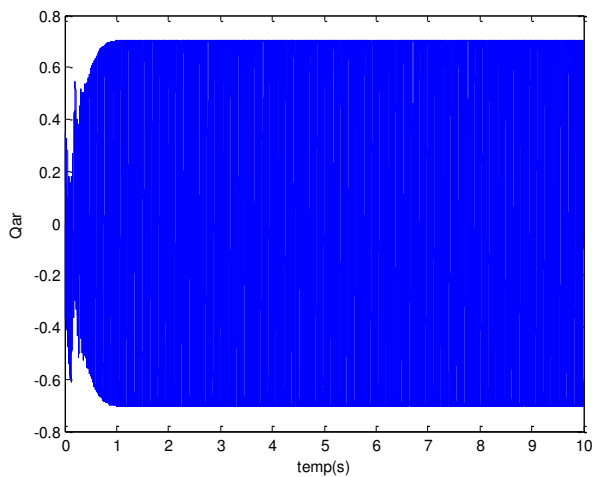


a- Fonctionnement sain

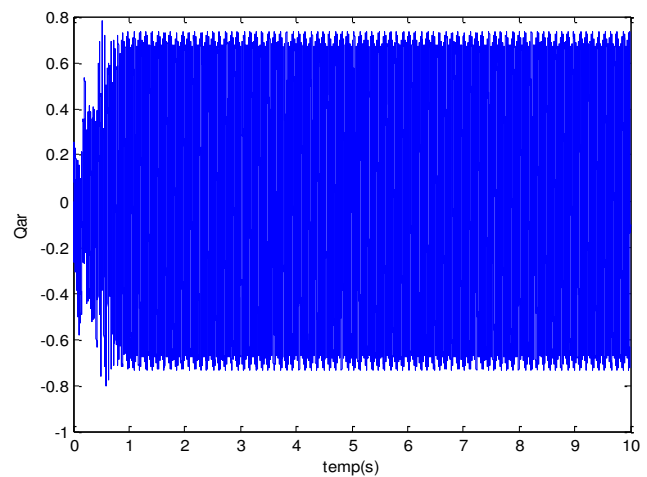


b- Fonctionnement a 40% de défaut

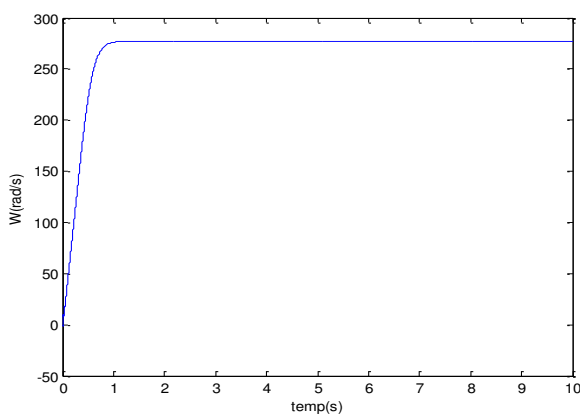
Figure II.8 Courant statorique I_{as}



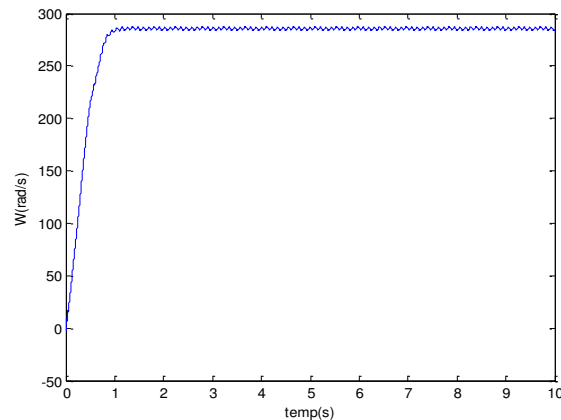
a-Fonctionnement sain



b- Fonctionnement a 40% de défaut

Figure II.9 flux rotorique Q_{ar} 

a- Fonctionnement sain



b- Fonctionnement a 40% de défaut

Figure II.10 la vitesse de rotation (ω)

II.3.1 Interprétation des résultats

Après simulation, Nous avons trouvé que la rupture d'une barre provoque des oscillations dans : le couple, la vitesse et le courant statorique et le flux rotorique. Les cassures de barres provoquent une distribution déséquilibrée des courants entre les barres rotoriques et la différence entre l'augmentation des amplitudes du courant et flux rotorique sont très visible entre le cas sain et le cas de défauts (figure II.8), (figure II.9). Et nous avons vu précédemment que l'amplitude des oscillations du couple et de la vitesse, ainsi que la modulation augmente sensiblement avec le pourcentage de défaut comme illustré les figures (II.7, II.10).

II.4 Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons présenté un modèle permettant la simulation de la machine asynchrone triphasée à cage. Ce modèle nous permet de bien modéliser les défauts de cassure de barres rotoriques. Et nous avons simulé le moteur asynchrone pour les deux cas de fonctionnement sain et avec défaut de cassure de barre afin de montrer l'effet de défaut sur son comportement électromécanique.

Le chapitre suivant sera consacré au développement des méthodes de diagnostic des machines asynchrones en utilisant l'intelligence artificiel avec réseaux de neurones.

CHAPITRE III

**Diagnostic de la machine asynchrone
par réseaux de neurone artificiel**

III .1 Introduction :

Dans l'industrie le domaine de diagnostic automatisé est essentiel, son développement est confondu avec la modernité des équipements, Parmi ces développements on trouve l'intelligence artificielle (IA), qui prête à la résolution du beaucoup des problèmes posés. Les réseaux de neurones (RN) est une partie très important de l'IA, ils sont imités de la structure de cerveau humain ou mécanismes mentaux, ces mécanismes étant basés sur des processus neurophysiologiques.

Dans ce chapitre, on commence dans un premier temps, par la représentation de réseaux de neurone et son architecture, puis on propose une procédure pour le diagnostic de la machine asynchrone, l'étude et la simulation se faite sous MATLAB en utilisant modèle de la machine obtenue au précèdent chapitre.

III .2 Les réseaux de neurone artificiel

III .2.1 Définition

Les réseaux de neurone sont des réseaux fortement connectés de processeurs élémentaires fonctionnant en parallèle. Chaque processeur élémentaire calcule une sortie unique sur la base des informations qu'il reçoit. Toute structure hiérarchique de réseaux est évidemment un réseau. Les réseaux de neurones forment un ensemble des fonctions non linéaires, permettant de construire par apprentissage une vaste famille de modèles et de correcteurs non linéaires, tel que recevant des signaux de l'extérieur par ses entrées, et délivrant des signaux de sortie, qui sont en fait les activités de certains neurones

III .2.2 Neurone biologique

C'est l'organe élémentaire de base qui forme le système nerveux des êtres vivant, il comporte les éléments suivants :

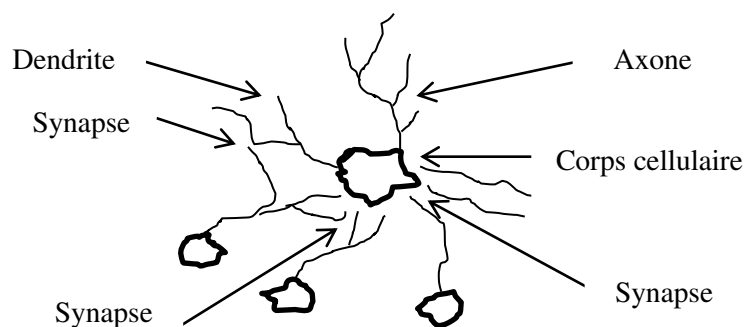


Figure III.1 : Schéma d'un réseau de neurones biologiques.

III .2.3 Neurone formel

Le neurone formel est un modèle mathématique non linéaire simplifié du neurone biologique, il présente un certain nombre d'entrées, les dendrites, un corps traitant les entrées suivant la méthode du tout ou rien, et un axone véhiculant la réponse du neurone.

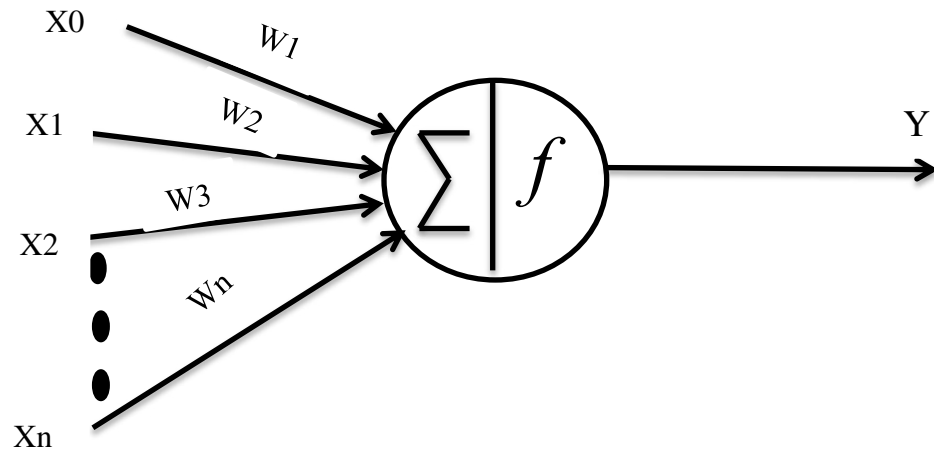


Figure III.2 : Modèle de base d'un neurone formel

III .2 .4 Les avantages des réseaux de neurones

La rapidité, la robustesse très utile lorsque le diagnostic doit être conduit en ligne, Plusieurs algorithmes d'apprentissage sont disponibles.

III .2 5 Les inconvénients des réseaux de neurones

L'apprentissage peut être lent et difficile, Une fois entraîné, un réseau de neurones n'est pas flexible

III .3 Apprentissage :

III .3.1 Définition

L'apprentissage est une étape très importante en développement de réseau de neurones. C'est l'opération qui consiste au réseau de neurones à modifier itérativement les coefficients en fonction du stimulus présenté à la couche d'entrée. On distingue trois grandes classes d'algorithmes d'apprentissage : apprentissage supervisé, apprentissage non supervisé, et apprentissage par renforcement.

III .3.2 Techniques d'apprentissage

III .3.2.1 Apprentissage supervisé

Dans ce cas on fournit au réseau les données à traiter mais aussi la sortie attendu, les résultats corrects (c'est-à-dire les valeurs que l'on désire que le réseau obtienne en sortie) sont

fournis au réseau, si bien que celui-ci peut ajuster ses poids de connexions pour les obtenir (la modification des paramètres internes afin de minimiser l'erreur constatée). Après l'apprentissage, le réseau est testé en lui donnant seulement les valeurs d'entrée mais pas les sorties désirées, et en regardant si le résultat obtenu est proche du résultat désiré.

III .3.2.2 Apprentissage non supervisé

Pour les réseaux à apprentissage non supervisé, on ne fournit pas au réseau les sorties que l'on désire à obtenir, on le laisse évoluer librement jusqu'à ce qu'il se stabilise (s'auto-organise), utilisant les lois régissant l'évolution des synapses.

III .3.2.3 Apprentissage par renforcement

L'apprentissage est de type par renforcement lorsque le réseau de neurone interagit avec l'environnement. L'environnement donne récompense pour une réponse satisfaisante du réseau et assigne une pénalité dans le cas contraire, le réseau doit ainsi, découvrir les réponses qui lui donnent un maximum de récompenses.

III .4 Les types de réseaux de neurone utilisé

Dans notre travail on s'intéresse sur deux type sont :

- les réseaux de neurone a perceptron multicouche (MLP) .
- les réseaux de neurone a fonction base radiale(FBR).

III .4.1 Réseaux de neurone à perceptron multicouche

III .4.1.1 présentation

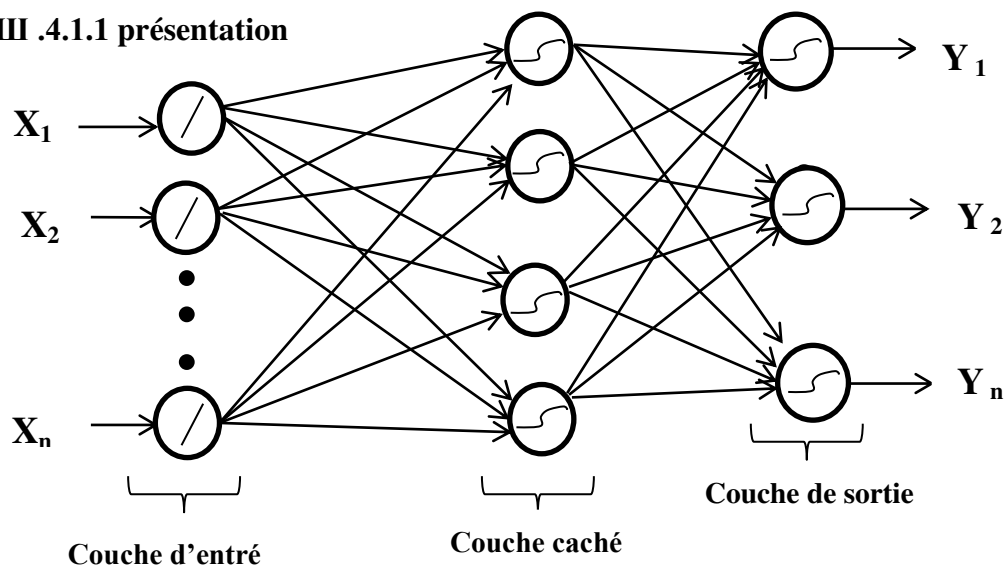


Figure III.3 Architecture d'un MLP

Un MLP (Multi Layer Perceptron) est composé d'une couche d'entrée, une couche de sortie et une ou plusieurs couches cachées, les éléments de deux couches adjacentes sont interconnectés par des poids assurant la liaison des différentes couches comme indiqué sur la (figure III.3).

III .4.1.2 Apprentissage de MLP

L'apprentissage d'un MLP est un apprentissage supervisé, par correction des erreurs, le choix de nombre du couche caché n'a aucune loi, on le changer dépend au temps d'apprentissage et performance et la régression et l'erreur.

III .4.2 Réseaux de neurone à fonctions base radiales

III .4.2.1 Présentation

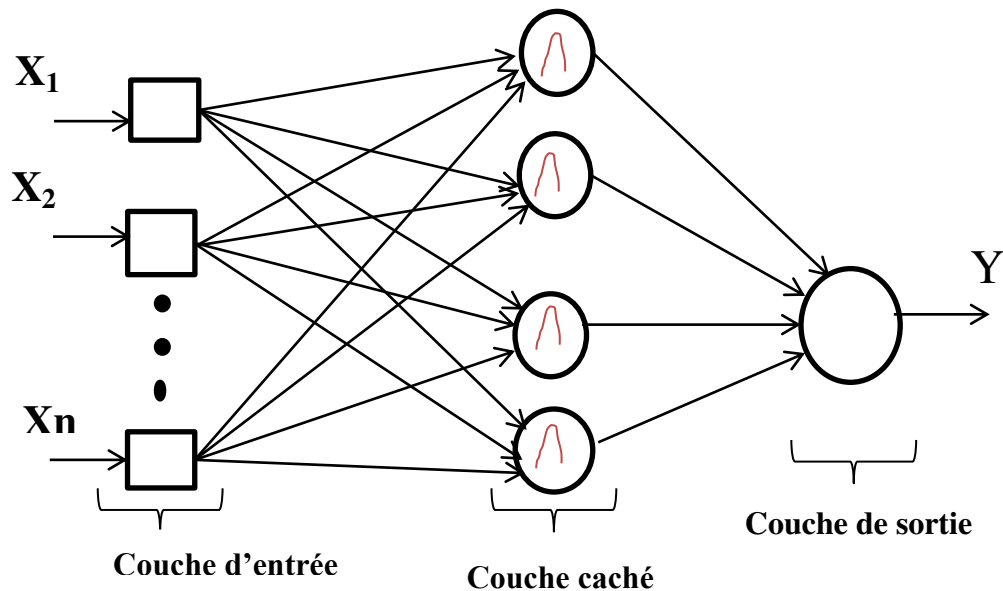


Figure III.4 : architecture d'un FBR

Les réseaux de neurone à fonctions de base radiales (FBR) est un réseau de neurone a trois couches, une couche d'entré, une couche caché et une couche de sortie, la particularité de ce réseau réside dans la couche cachée réagit par une fonction de sortie a base radiale, la couche cachée représente une mémoire, elle mémorise les informations qui concernent les différents classe de problème

III .4.2.2 Apprentissage de modèle FBR

L'apprentissage d'un modèle FBR consiste à déterminer son architecture (le nombre N de fonctions radiales) et à fixer les valeurs des paramètres. Ce dernier est de type supervisé ou non supervisé, et pour construire un modèle FBR on doit construire une base de données très riche, qui possède beaucoup d'information sur le défaut.

III .5 Application du diagnostic par réseaux de neurone sur la MAS

III .5.1 Présentation

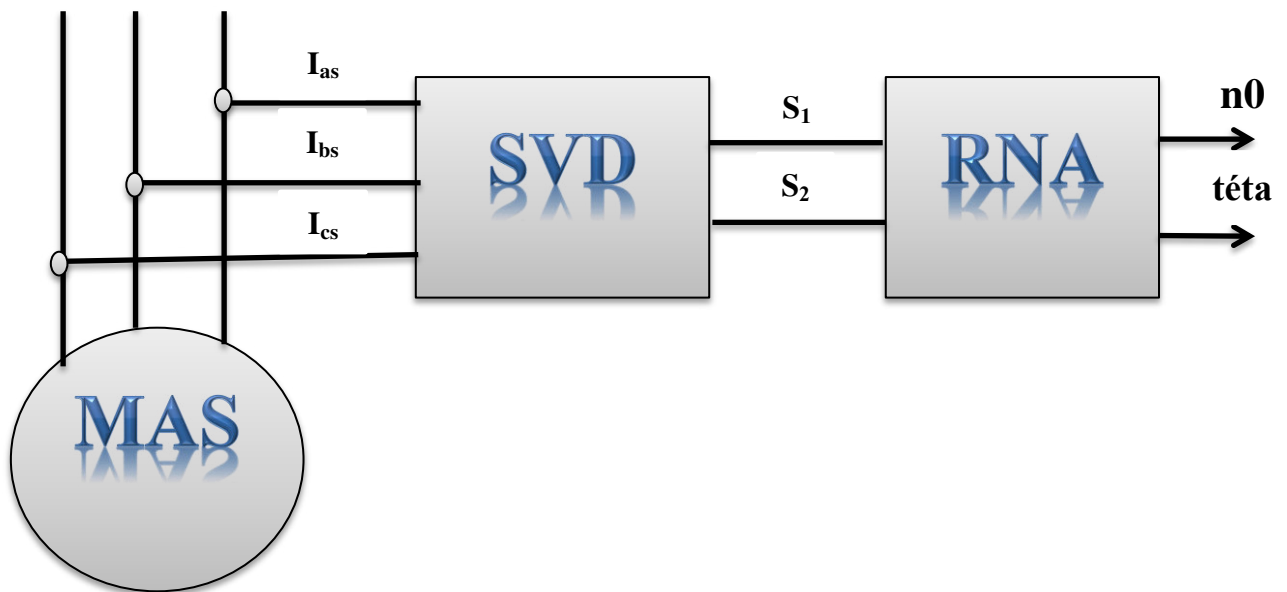


Figure III.5 : modèle de diagnostic par réseaux de neurone

Notre travail consiste à diagnostiquer la MAS par les réseaux de neurone avec deux architectures MLP et FBR, afin de prendre les résultats de simulation de modèle de chapitre II, on considère les courants statoriques I_{abcs} comme des paramètres d'entrée du système voulu, et on passe vers la décomposition des valeurs singulières pour avoir des valeurs en format réduite qui sont S_1 , S_2 et S_3 mais on prend S_1 et S_2 uniquement qu'ils vont entrer au système neuronale, pour obtenir à la sortie désirée (le nombre de barres cassées et leurs emplacements) afin de suivre toutes les étapes de système neurone.

III .5.2 La décomposition en valeur singulière (SVD)

III .5.2.1 Présentation

Elle est considérée comme une méthode de décomposition orthogonale propre, l'idée essentielle de la décomposition des valeurs singulières (SVD) est de décomposer la matrice de données en trois matrices simples : deux orthogonales et une diagonale, l'un des avantages de la SVD est de pouvoir réduire les données, il nous fournit une description plus compacte des données, alors il est pour donner la meilleure approximation d'une matrice rectangulaire par une autre matrice de même dimension mais de rang inférieur. Dans notre

cas, on l'utilise uniquement pour réduire et avoir un format compact de la matrice (qui contient les I_{abcs}) pour qu'on puisse récupérer les valeurs de I_{abcs} (S_1, S_2, S_3) en format réduit

III .5.2.2 Principe

Soit A une matrice quelconque de taille $m \times n$ et de rang r tel que le rang de la matrice A est le nombre de valeurs singulières non nulles, il existe une matrice orthogonale U d'ordre $m \times m$, Une matrice orthogonale V d'ordre $n \times n$ et une matrice pseudo diagonale S de dimension $m \times n$ qui a la même dimension que A , tous les éléments hors de la diagonale principale sont nuls, malgré que la matrice n'est pas carrée.

$$A = U * S * V^T$$

$$[A]_{m \times n} = [U]_{m \times m} [S]_{m \times n} [V]_{n \times n}$$

$$U \times U^T = I(m)$$

$$V \times V^T = I(n)$$

$$S = \begin{bmatrix} S_1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & S_2 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & S_3 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & \ddots & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & S_{n-1} \end{bmatrix}$$

Les valeurs
singulières

III .5.2.3 Les sorties de SVD

Les graphes indiqués ci-dessus comportent les variations de la sortie SVD qui sont : S_1, S_2, S_3

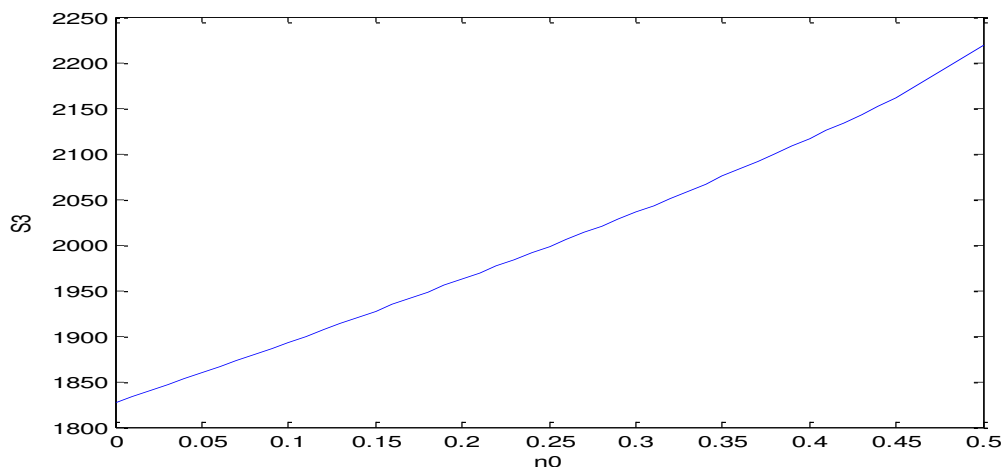


Figure III.6 variation de S1 en fonction de n0% quand $\theta=0$

La Figure III.6 représente le graphe de S1 en fonction de nombre de barre cassé (n_0) a $t\acute{e}ta=0$ on voit que S1 varie linéairement de façon direct de 0.01 jusqu'à 0.5.

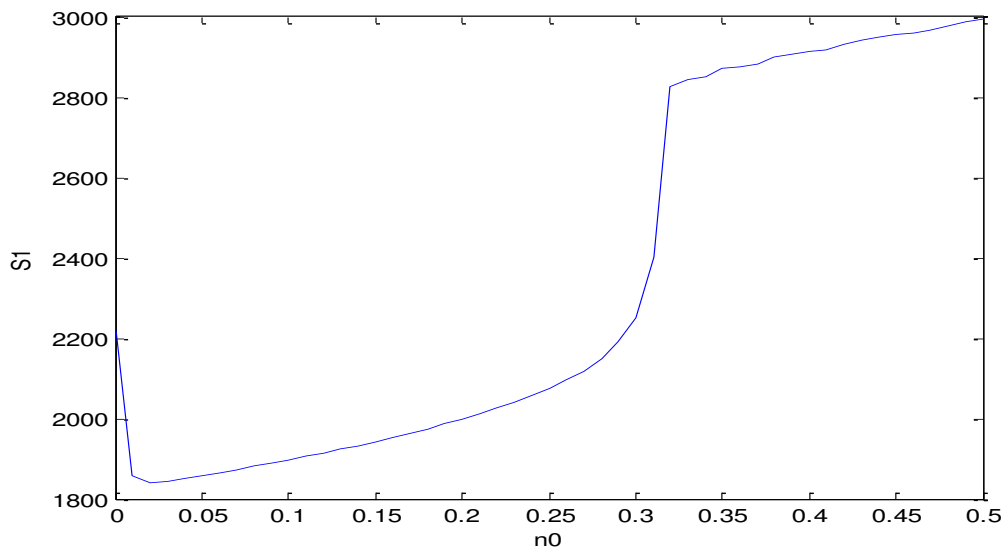


Figure III.7 : variation de S1 en fonction de $n_0\%$ quand $t\acute{e}ta=2\pi/3$

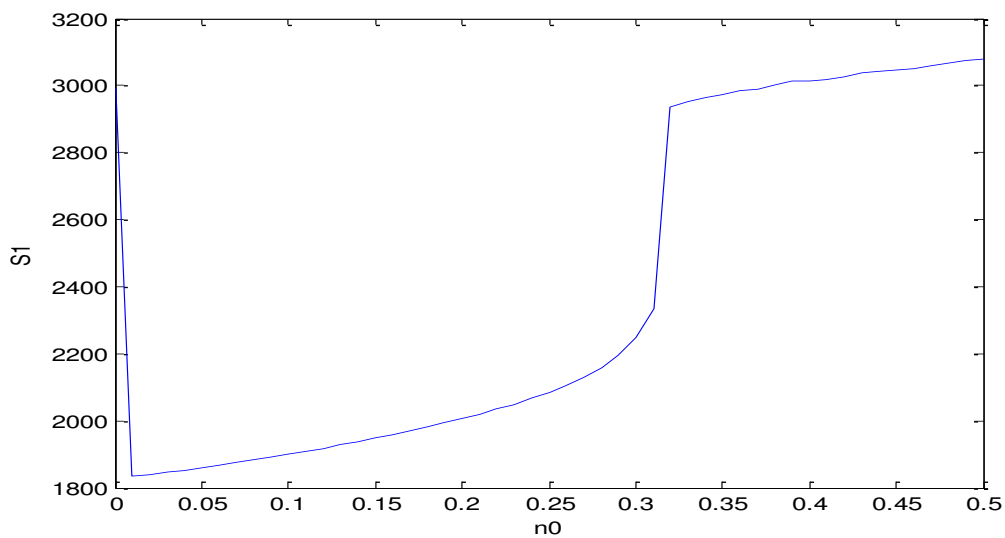


Figure III.8: variation de S1 en fonction de $n_0\%$ quand $t\acute{e}ta=4\pi/3$

Les Figures (III.7, III.8) représentent les variations S1 en fonction de nombre de barre cassé (n_0) a $t\acute{e}ta=2\pi/3$, et à $t\acute{e}ta=4\pi/3$, on observe que S1 varie linéairement jusqu'à $n_0=0.3$ et augmentent presque verticalement puis il continue de façon linéaire jusqu'à $n=0.5$.

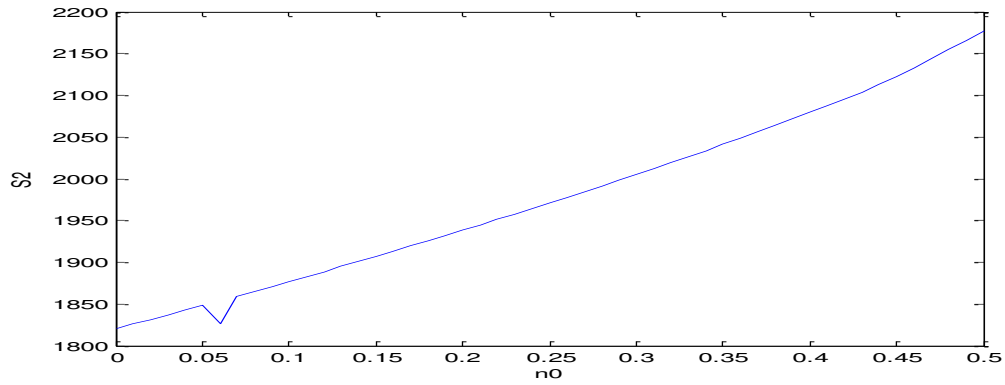


Figure III.9: variation de S2 en fonction de n0% quand $\theta=0$

La Figure III.9 représente le graphe de S2 en fonction de nombre de barre cassé (n0) a

$\theta=0$, on remarque que S2 varie linéairement de façon direct de 0.01 jusqu'à 0.5.

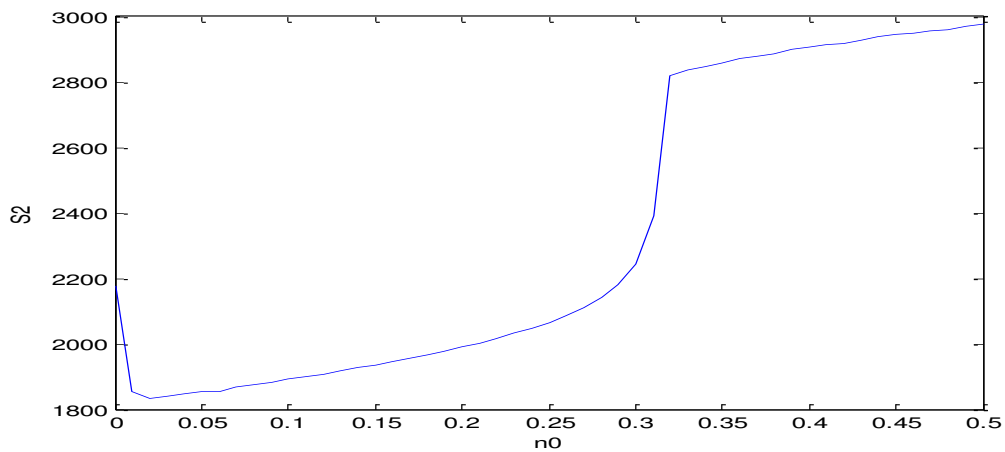


Figure III.10: variation de S2 en fonction de n0% quand $\theta=2\pi/3$

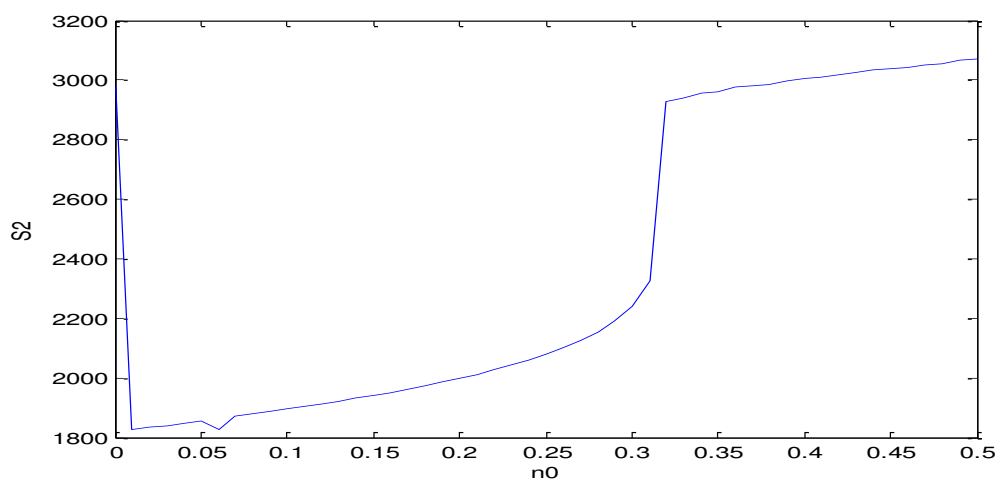


Figure III.11 : variation de S2 en fonction de n0% quand $\theta=4\pi/3$

Les Figures (III.10, III.11) représentent les variations S2 en fonction de nombre de barre cassé (n_0) à $\theta=2\pi/3$, et à $\theta=4\pi/3$, on remarque que S2 varie linéairement jusqu'à $n_0=0.3$ et augmentent presque verticalement puis il continue de façon linéaire jusqu'à $n_0=0.5$.

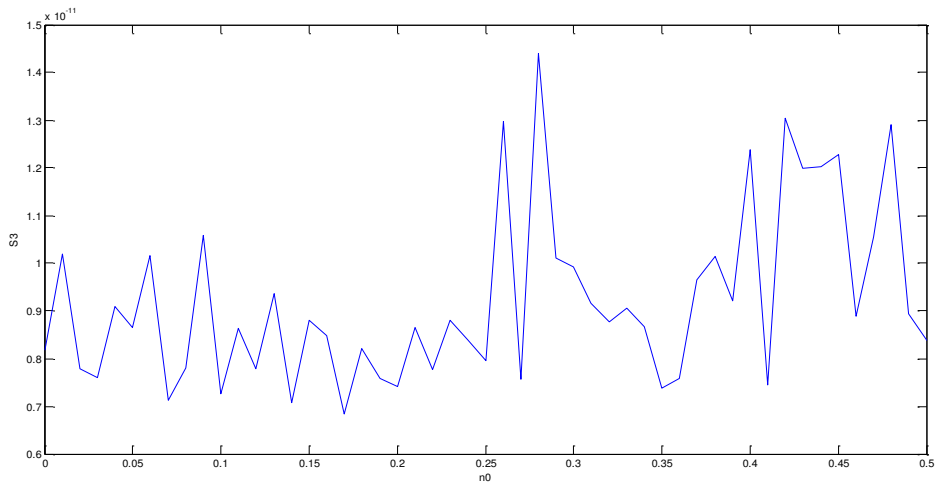


Figure III.12 : variation de S3 en fonction de $n_0\%$ quand

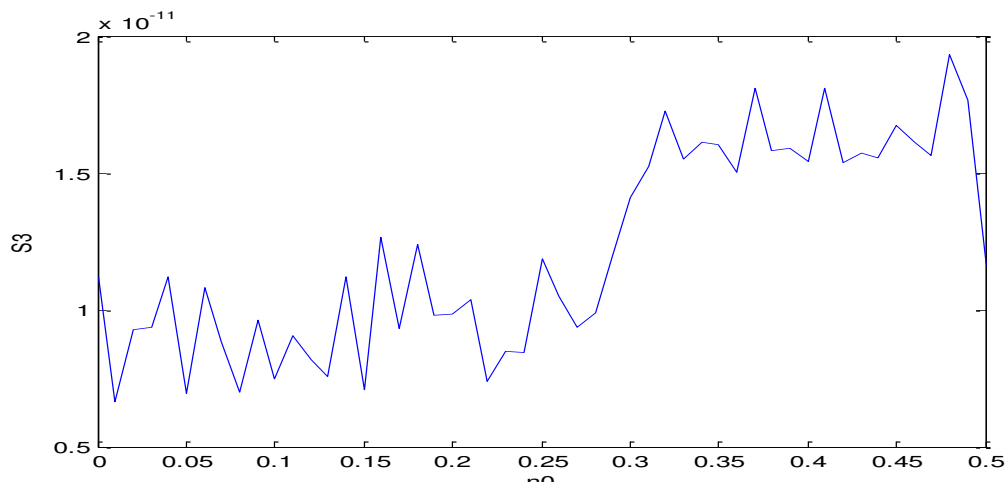


Figure III.13 : variation de S3 en fonction de $n_0\%$ quand $\theta=2\pi/3$

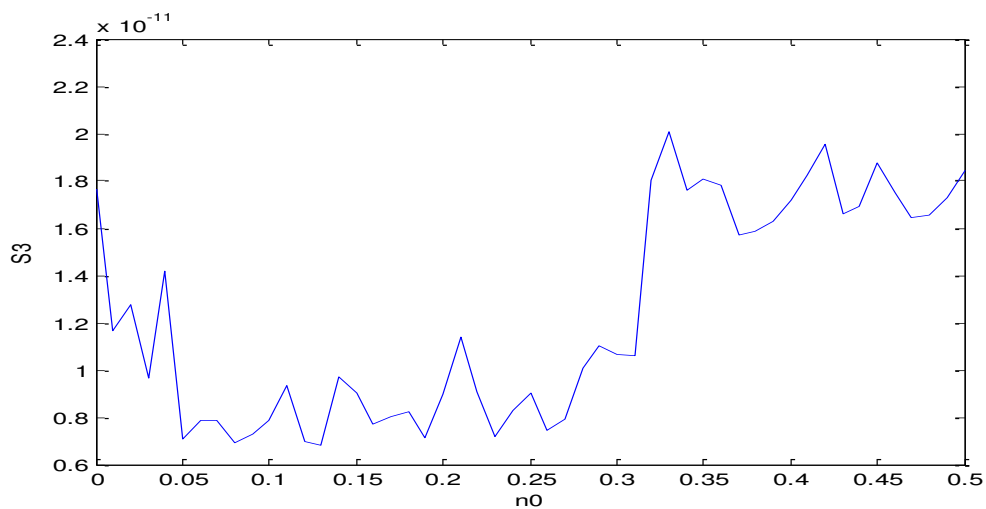


Figure III.14 variation de S3 en fonction de $n_0\%$ quand $\theta=4\pi/3$

Les Figures (III .12, III .13, III .14) représente le graphe de S3 en fonction de nombre de barre cassé (n0) à téta= 0, téta=2pi/3, téta=4pi/3 en suivant l'ordre précédent), on remarque que toute les graphes sont de type fréquentiel, ils ont des pic d'amplitude différentes formes de signal variés de n0=0.01 jusqu'à n0=0.25, l'amplitude a vu une diminution puis une augmentation jusque a n0=0.5.

III .5.3 Application de réseaux de neurone MLP

III .5.3.1 Apprentissage de MLP

La couche d'entré comporte S1 et S2

On règle les paramètres de MLP :

- ✓ On a choisi Trois couches cachées [10, 20,18],
- ✓ Nombre d'époche=1200; Erreur = 10^{-12}

Ces paramètre est choisis après plusieurs essaie (changement nombre de couche et neurone et nombre d'époche) du programme de MLP on va obtenue les résultats suivant.

III .5.3.2 Résultat d'apprentissage

La Figure III.15 représente la performance de réseau MLP. Après la simulation, on observe que la réponse de système n'atteindre jamais la performance désirée. Et la Figure III.16 représente la régression de l'apprentissage MLP, on remarque qu'il y'a une bonne corrélation entre les sorties désirées et les sorties obtenue par le réseau.

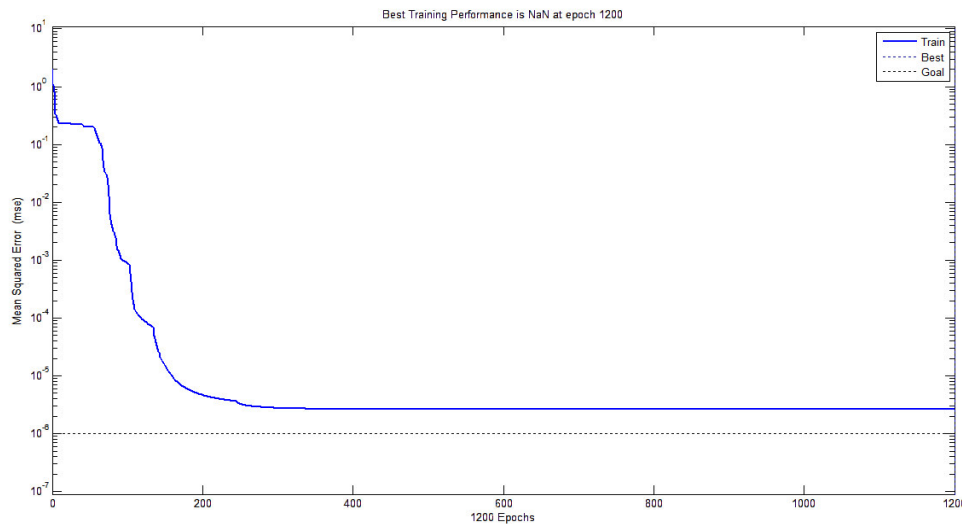


Figure III.15 graphe de performance de RNMLP

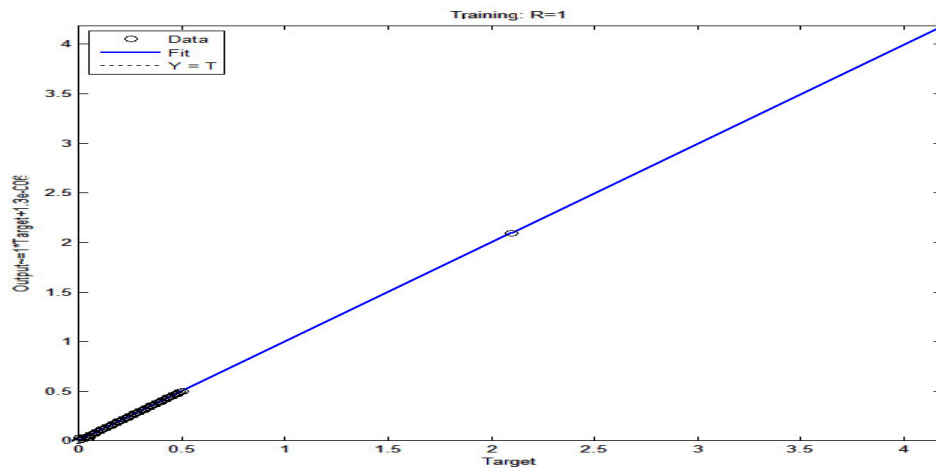


Figure III.16 le graphe de Régression MLP

III .5.3.3 Les tests de réseaux de neurone MLP :

N°	Les résultats de test	Les résultats désirés
1	n0= 1.6283e-06 téta= -1.7978e-07	n0=0 téta=0
2	n0= 0.4500908 téta= 7.6189e-05	N0=0.45 téta=0
3	n0= 0.2506 téta= 2.0943	n0=0.25 téta=2pi/3
4	No= 0.4999 téta= 4.1888	N0=0.5 téta=4pi/3

Tab III.1 résultat de test de réseaux de neurone MLP

A partir les résultats de tableau III.1, On remarque que la réponse de système moins performante, par ce que les valeurs obtenues indésirables par rapport aux réponses désirées. Alors on va essayer avec une autre architecture de réseaux de neurone.

III .5.4 Application de réseaux de neurone a fonction base radial

III .5.4.1 Apprentissage de réseaux de neurone a fonction base radiale

Dans notre travail on utilise l'apprentissage supervisé, on met un programme sous MATLAB de réseaux de neurone à fonction base radiale(RNFBR), on introduit notre entré (S₁, S₂), pour on obtient aux résultats de la Figure III.17.

III .5.4.2 Les résultats d'apprentissage

La Figure III.17 Représente le Résultat d'apprentissage de **RNFBR** en fonction de la performance, et on observe que l'erreur est minimal et la performance tend vers 0, alors les résultats obtenus sont satisfaites que possible.

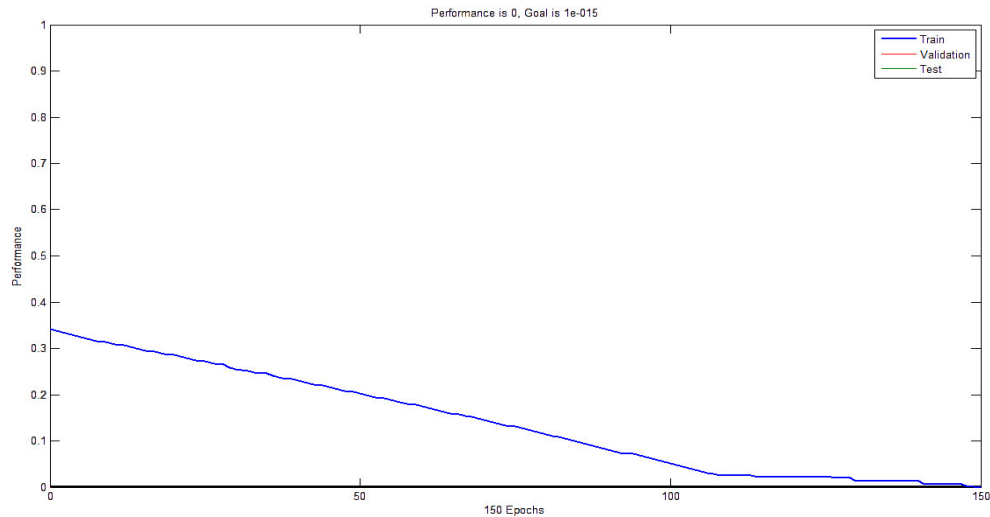


Figure III.17 Résultat d'apprentissage de RNFBR

III .5.4.3 Les tests de réseaux de neurone FBR

N°	Les résultats de test	Les résultats désirés
1	n0= 3.747e-16 téta= 2.4869e-14	n0=0 téta=0
2	n0= 0.4500 téta= -1.9539e-14	n0=0.45 téta=0
3	n0= 0.2500 téta= 2.09439	n0=0.25 téta=2pi/3
4	no= 0.5000 téta= 4.1887	n0=0.5 téta=4pi/3

Tab III. 2 résultat de test de réseaux de neurone

On remarque que les résultats des tests obtenue plus proche aux valeurs désiré, Donc on vue une marge d'erreur très petite, alors ces résultats est performant donc ce système est fiable.

III .6 Conclusion

Nous avons fait la diagnostique du machine asynchrone par les réseaux de neurone, pour la détection défaut rupture d'une barre rotorique, et pour cela on considère les courants statorique comme entrée de RN, et nombre de barre cassé (n0) et son emplacement (téta) comme sortie. Et pour cela, on a essayé avec deux type de réseaux de neurone, On a débuté par les réseaux de neurone multicouche (MLP), mais son résultats ne sont pas de la performance souhaité, alors on a passé aux réseaux de neurone fonction base radiale qui nous donner des résultats mieux performant que la précédente. Et les résultats obtenus nous permettons de dire que le système neuronal est capable de connaitre les points de l'état sain et défectueux. Alors le réseau de neurone est une méthode efficace et utile pour le diagnostic.

Conclusion générale

Les machines asynchrones nécessitent une détection rapide et précoce de leurs défaillances, à cause de leurs utilisations fréquentes dans diverses applications, le travail présenté dans ce mémoire s'inscrit dans le cadre du diagnostic des défauts rotorique dans le moteur asynchrone à cage d'écureuil, les ruptures des barres ont été plus spécifiquement l'objet de notre travail.

Dans le premier chapitre, nous avons rappelé les principaux éléments de constitution de la machine asynchrone à cage. Puis nous avons présenté les différents défauts qui peuvent apparaître dans les machines asynchrones ainsi que les méthodes de diagnostic couramment utilisées.

Dans le deuxième chapitre, nous avons proposé un modèle pour une machine asynchrone à cage d'écureuil, ce modèle nous a permis d'effectuer des simulations avec une barre cassée et de visualiser en présence d'un défaut la modulation du courant, et de la vitesse de rotation et l'évolution du courant dans les barres rompues, et d'autre part de visualiser les ondulations où se situent les composantes créées par la rupture d'une barre rotorique.

Le troisième chapitre, a été consacré pour la description d'une méthode de diagnostic qui permet la détection d'un défaut naissant au rotor d'une machines asynchrone, cette méthode s'appuie sur l'évaluation des réseaux neuronaux artificiels, ces dernier ont une capacité d'apprentissage sur un ensemble de données qui lui permet d'adopter une réaction conforme face à des cas peu différents de ceux auxquels il a été habitué. Alors l'estimation des paramètres et de l'état de la machine à base de réseaux de neurones dans le but d'augmenter la robustesse, dans notre travail, on a étudié cette technique et leur application dans le but de surveiller notre équipement afin de la simuler pour détecter l'apparition d'une barre rotorique cassée tel que nous avons passé aux principaux notions de ses formes, et ses architecture. A la fin, nous avons touchés et experter avec le (MLP) et (RBF) nos test d'erreur et de performance qui se sont des indices de détection et diagnostic de défaut. Nous avons appliqué cette méthode sur les courants statoriques, ce qui a fourni des informations suffisantes pour effectuer le diagnostic de la machine asynchrone.

Bibliographie

- [1] A. Bouguerne, "Diagnostic automatique des défauts des moteurs asynchrones", Mémoire Magister, Université de Constantine, 2009.
- [2] L. Kerszenbaum et C. F. Landy, "The existence of large inter bar currents in the three phase squirrel cage motors with rotor-bar and en-ring faults" IEEE Transactions on Power Apparatus Systems, Vol. PAS-103, n°7, pp.1854- 1862, July 1984.
- [3] Bonnett, A.H; Soukup, G.C "Cause and analysis of stator and rotor failures in threephase squirrel-cage induction motors", Industry Applications, IEEE Transactions on, Volume: 28, Issue: 4, July-Aug. 1992, pp.921 – 937, 1992.
- [5] O. Ondel, " Diagnostic par Reconnaissance des Formes: Application a un Ensemble Convertisseur-Machine ", Thèse de Doctorat, L'Ecole Centrale de Lyon, Octobre 2006.
- [6] B. Samir et D. Zoheir. "Diagnostic de défauts de la MAS à Rotor à Cage d'écureuil ", Projet de fin d'étude. ENP. Juin 2006.
- [7] R. Casimir, "Diagnostic des défauts des machines asynchrones par reconnaissance des formes", Thèse de l'Ecole Centrale de Lyon, CEGELY, 2003.
- [8] M. Nezar, "Diagnostic des associations convertisseurs statiques machine asynchrone en utilisant les techniques de l'intelligence artificielle", Thèse de doctorat, université de Batna, 2006.
- [9] G. Didier, "Modélisation et diagnostic de la machine asynchrone en présence de défaillances", Thèse de doctorat, Université Henri Poincaré, Nancy 2004.
- [10] H. RAZIK, "le contenu spectral du courant absorbé par la machine asynchrone en cas de défaillances, un état de l'art", La revue 3EI n0 29- Juin, pp.48-52, 2002.
- [11] E.S.Hamdi, "Contribution au Diagnostic d'une Machine Asynchrone Triphasée à Cage ", Thèse de doctorat, Université de Biskra, Algérie, 2006
- [12] D. Toumi, "Détection des défauts rotoriques dans la machine asynchrone (cassure des barres et excentricité) ", Mémoire de Magistère, Université Mohamed Boudiaf, Oran, Avril 2002.

- [14] Drif .Malika, “ Diagnostic des Défauts dans les Machines Electriques et leur Surveillance par Emploi de l’Intelligence Artificielle ”, Thèse Magister 2004.USTMBO..
- [15]: R. Casimir, " Diagnostic des défauts des machines asynchrone par reconnaissance des formes", Thèse de doctorat, Ecole Central de Lyon.
- [16]: B. Smail, "Contribution au diagnostic de la machine asynchrone par estimation paramétrique", Thèse de doctorat, Université de Poitiers 2002.
- [17]: O. Ondel, “ Diagnostic par reconnaissance des forme, application a un ensemble convertisseur machine asynchrone”, Thèse de doctorat, Ecole de doctorat Electrotechnique, Electronique, Automatique de Lyon 2006.
- [18]: L. Bagli, “contribution à la commande de la machine asynchrone, utilisation de la logique floue, des réseaux neurones et des algorithmes génétiques ” Université Henri Poincaré –Nancy, Janvier 1999.
- [19] Roland Casimir, « Diagnostic des défauts des machines asynchrones par reconnaissances des formes.» thèse de doctorat, Ecole Centrale de Lyon, 2003.
- [20] N.Lahcéne « diagnostic de défaut au rotor d’une machine asynchrone à cage d’écureuil. » Mémoire de magister. Ecole Polytechnique d’Alger 2005
- [21] Kabache N., (2006), Amélioration des performances de la commande d’un moteur asynchrone à cage et élaboration d’un estimateur universel de ces paramètres en utilisant les réseaux de neurones artificiels. Thèse de doctorat, Université de Boumerdès.
- [22] Baghli L., (1999), Contribution de la commande de la machine asynchrone, utilisation de la logique floue, des réseaux de neurones et des algorithmes génétiques. Thèse de doctorat, Université Henri Poincaré, Nancy I.
- [23] Brakni E.M.,(2011), Réseaux de neurones artificiels appliqués à la méthode Électromagnétique transitoire infinité . Mémoire présenté à L’université du Québec à Chicoutimi Comme exigence partielle De la maîtrise en ingénierie.
- [24] Ghers F.,(2006), Application des techniques de commandes intelligentes pour le contrôle d’une machine asynchrone. Thèse de doctorat, Annaba.
- [25]J. Guérin, N. Lahrichi, S. (2017) Le Digabel Decomposition en valeurs singulières _Ecole Polytechnique de Montréal

Annexe : Paramètre de la machine asynchrone

Résistance propre d'une phase statorique $R_s=2.86$

Résistance propre d'une phase rotorique $R_r=2.756$

Inductance propre $l_p=0.397$

Inductance magnétisante $l_m= (1.5)*l_p$

Inductance de fuite totaliser au stator $l_i=0.009594$

Moment d'inertie de la machine $J_m=0.023976$

Coef de frottement visqueux $f_v=0.0014439$

Tension d'alimentation $V=310$

Nbr de pair de pôles $P=1$

Fréquence d'alimentation $f_s=50$

Le couple résistant $C_r=0$;

Résumé

Le travail réalisé dans ce mémoire s'inscrit dans la thématique de la modélisation et le diagnostic d'une machine asynchrone à cage d'écureuil.

Le démarrage est par une représentation de la machine asynchrone, ces constitutions, ces défauts, et quelque type de diagnostic.

Ensuite, la modélisation de la machine en équations mathématique en présence d'un défaut rotorique (cassure de barre) et une simulation.

En dernière, représentation des réseaux de neurone artificiel et l'application pour la détection de défaut rotorique selon deux méthodes le réseau de neurone a perceptron multicouche et a le réseau de neurone fonction base radiale.

Les mots clés :

La machine asynchrone-diagnostique-détection- réseaux de neurone artificielle- perceptron multicouche- neurone fonction base radiale.

ملخص

في الجزء الأول نتطرق الى تعريف و عرض مكونات الماكنة اللاتزامنية ذات قفص سنجاب و بعض اعطابها و طرق تشخيصها.

في الجزء الثاني نقوم بتجسيد الماكنة اللاتزامنية على شكل معادلات رياضية و محاكاتها في ظل وجود عطب الا و هو كسر قضبان الدوار.

في الجزء الأخير نستعمل الذكاء الاصطناعي في الكشف عن هذه الاعطاب ، و بالخصوص نستعمل شبكة الاعصاب الاصطناعية ، بحيث نستعمل طريقتين منها الأولى هي متعددة الطبقات ، الثانية هي ذات وظيفة القاعدة الشعاعية.

الكلمات المفتاح

الماكنة اللاتزامنية-المحاكات- عطب- الذكاء الاصطناعي- شبكة الاعصاب الاصطناعية- متعددة الطبقات- وظيفة القاعدة الشعاعية- قضبان الدوار -قفص سنجاب