

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE  
MINISTRE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE



UNIVERSITE DE M'SILA  
FACULTE DE TECHNOLOGIE  
DEPARTEMENT DE GENIE ELECTRIQUE

MEMOIRE DE FIN D'ETUDES EN VUE DE L'OBTENTION DU DIPLOME  
DE MASTER EN GENIE ELECTRIQUE

SPECIALITE :

Ingénierie des Systèmes Electromécaniques

THEME

---

**Diagnostic de défaillances de l'ensemble convertisseur-moteur et  
commande par les techniques de l'intelligence artificielle**

---

Proposé et dirigé par :

-Dr.KHODJA Djalal Eddine

Présenté par :

- MADANI Nadir

Année Universitaire : 2011 / 2012

N° d'ordre : 039

## Remerciement

Nous tenons à remercier tout d'abord ALLAH le tout puissant pour la Volonté, la santé et la patience, qu'il nous a donnée durant toutes ces longues années. Ainsi, nous tenons à exprimer nos vifs remerciements à notre encadreur

**Dr. KHODJA .Djalal Eddine** pour avoir d'abord proposé ce thème, pour son suivi continué tout le long de ce mémoire et qui n'a pas cessé de nous donner ses conseils.

A travers ce mémoire, nous adressons nos reconnaissances à tous nos enseignants qui ont contribué à notre formation depuis la première classe du primaire jusqu'à aujourd'hui.

Nos remerciements vont aussi à tous les membres du jury qui ont accepté de juger ce travail.

Nous tenons à remercier vivement toutes les personnes qui nous ont aidé à dans ce travail, en particulier **DJAFAR Djamel Eddine**

Et enfin Nous tenons à remercier également tous nos collègues de la promotion **2011-2012** pour leur l'aide inestimable.

*MADANI. Na*

## Dédicace

Avant tous, je remercie ALLAH le tout puissant de m'avoir donné le courage et la patience pour réaliser ce travail malgré toutes les difficultés rencontrées.

Je dédie ce modeste travail

A mes très chers parents, que dieu les garde et les protège pour leurs soutien moral et financier, pour leurs encouragements et les sacrifices qu'ils ont endurés.

À mes grandes mères Mariam

A mes soeurs Rachida, Tounes

A mes frères

A toute ma famille de près ou de loin

Aux chers frères, amis

A tous les amis d'études surtout ceux d'électromécanique

Promotion 2012

## Sommaire

Introduction générale.....	1
<b>Chapitre I : Etat de l'art sur le diagnostic des défaillances des MAS .....</b>	<b>3</b>
Introduction.....	3
I.1 Eléments de constitution de la machine asynchrone.....	3
I.1.a. Stator .....	3
I.1.b. Rotor .....	4
I.2. Types des défauts de la machine asynchrone.....	6
I.2.1.Défaillance d'ordre mécanique.....	6
c. Défaillance de l'arbre .....	6
I.2.2. Défaillance d'ordre électrique .....	6
I.3. Constitution de l'alimentation d'un moteur asynchrone :.....	8
I.4. Défauts des convertisseurs électriques .....	9
I.5. Le diagnostic .....	10
I.5.a. Définition diagnostic : .....	10
I.5.b. Définitions de quelques termes liés au diagnostic .....	11
1. Méthodes internes de diagnostic.....	12
1. a. Les méthodes de diagnostic de défaillances par modélisation fonctionnelle et matérielle .....	13
1. b. Méthodes de diagnostic par modélisation physique.....	13
2. Méthodes externes de diagnostic.....	13
Choix de la signature initiale .....	15
Construction des vecteurs formes .....	15
Position du problème à résoudre.....	18
Conclusion.....	18
<b>Chapitre II : Modélisation de la machine et la commande en présence des défauts</b>	<b>19</b>
Introduction.....	19
II.1. Modélisation de la machine asynchrone en régime normal (modèle triphasé)	19
II.1.1. Hypothèse simplificatrices .....	19
d'hypothèses simplificatrices suivantes [12] : .....	19
II.1.2.Modèle triphasé équivalent d'une machine asynchrone [12][13]. .....	20
II.1.3. Définitions de la matrice de transformation .....	22
II.1.4.Transformation des équations du modèle triphasé .....	23

---

III.1.5. Equations mécaniques .....	26
II.1.6.Simulation de la machine asynchrone dans le régime normal : .....	26
II.1.6.Résultats de simulation.....	28
II.1.7.Résultats de simulation.....	29
II.1.8.Interprétations des résultats .....	30
II.2.Modélisation de la machine en régime anormal .....	30
II.2.1.Simulation de la machine asynchrone dans les régimes anormaux de fonctionnement.....	33
II.2.2.Interprétations des résultats.....	35
Conclusion.....	35
Chapitre III : les réseaux de neurones artificiels.....	36
Introduction.....	36
III.1. Historique.....	37
III.2. Définition du neurone.....	37
III.3. Le neurone biologique au neurone formel .....	37
III.3.1.Le corps cellulaire :.....	38
III.3.2.Les dendrites : .....	38
III.3.3.L'axone : .....	39
III.3.4 La synapse : .....	39
III.4. Définition du réseau de neurones artificiel.....	40
III.5.1. Nature des entrées : .....	41
III.5.2. La fonction d'entrée totale :.....	41
III.5. 3. La fonction d'activation .....	41
III.5.4. Quelques types des fonctions d'activation .....	41
III.7. Protocole d'apprentissage des réseaux de neurones [16] .....	43
III.7. 1.Procédure d'apprentissage : .....	43
III.7. 2.Procédure de validation croisée :.....	43
III.7.3.Types d'apprentissage .....	44
III.7.3.a. Apprentissage non supervisé :.....	44
III.7.3.b. Apprentissage supervisé : .....	44
III.7.3.c. Apprentissage semi-supervisé : .....	45
III .8. Les différentes architectures .....	46
III.8.1. Les Réseaux à couches.....	46
III.8.2. Les réseaux entièrement connectés "Feed back network" .....	46
III.8.3.Les réseaux non bouclés "FEED-FORWARD" .....	47

---

---

III.8.4.Les Perceptrons [16].....	47
III.9.Domaine d'application des réseaux de neurones [07] .....	54
III.10.Limites et avantages des réseaux de neurones [08]......	55
Conclusion.....	56
Chapitre IV : Elaboration du module détection à base du réseau de neurones .....	56
1. Introduction.....	56
IV.1.L'architecture du système automatique de diagnostic des défaillances .....	56
IV.1.1. Sous-système d'acquisition, de Conversion et de traitement de l'information (SACI) :.....	57
IV.1.1.a. Les capteurs : .....	58
IV.2.1.b. La conversion et le multiplexage :.....	58
IV.1.1.c. Le filtre anti-repliement :.....	59
IV.2.1.d. Le convertisseur Analogique-Numérique : .....	59
IV.2.2. Sous-système d'interprétation de l'information : .....	59
IV.3. Elaboration du module d'interprétation des informations :.....	59
3.1. Choix des variables d'entrées de RNA .....	60
3.2. Acquisition des données (base d'apprentissage):.....	60
3.3. Construction de la base d'apprentissage du RNA (Valeurs efficace): .....	60
IV.4. Construction du bloc de RNA .....	61
VI.4.1.Choix des entrées des réseaux:.....	61
IV.4.2. Choix des sorties des réseaux :.....	62
IV.5. présentation des résultats de simulation du RNA en différents états de fonctionnement.....	63
IV.5.2. Interprétation des résultats : .....	65
Conclusion.....	65
Conclusion générale.....	66
Annexe .....	67
Bibliographique.....	69

---

## Listes des figures

figure I. 1. Stator d'une machine asynchrone .....	5
figure I. 2 Vue schématique en perspective du rotor.....	5
figure I. 3 Distribution des défauts des machines électriques .....	6
figure I. 4 L'excentricité statique.....	7
figure I. 5 Structure de l'alimentation d'un moteur pour la variation de vitesse [06] .....	9
figure I. 6 Schéma synoptique de classement des méthodes de diagnostic.....	13
figure I. 7 Principe du diagnostic par modélisation .....	14
figure I. 8 Principe de fonctionnement de la méthode du modèle .....	15
figure I. 9 Procédure de diagnostic basée sur la technique de la reconnaissance des formes .....	16
figure I. 10 Architecture générale d'un système expert de diagnostic .....	17
Figure II. 1 Représentation des enroulements de la machine asynchrone triphasée dans l'espace électrique.....	20
Figure II. 2 Le schéma bloc de simulation du modèle de la machine asynchrone.....	29
Figure II. 3 Résultats de simulation d'un démarrage direct de la MAS à vide alimentée en tension, suivie d'une application d'une perturbation de ( $C_r=3.5 \text{ N.m}$ ) à ( $t=1 \text{ sec}$ ). .....	30
Figure II. 4 Résultats de simulation pour un court-circuit entre 25% spires de la phase.....	34
Figure II. 5 Résultats de simulation la machine en présence de défaut (coupure de la phase).....	35
Figure III. 1 .....	37
Figure III. 2 Le modèle de neurone formel .....	39
Figure III. 3 Comparaison entre le neurone biologique et le neurone artificiel .....	40
Figure III. 4 Réseaux à couche (non bouclé) .....	44
Figure III. 5 Réseaux entièrement connectés (bouclés). .....	44
Figure III. 6 Perceptron multicouche.....	45
Figure III. 7 Différentes opérations de l'algorithme backpropagation.....	46
Figure III. 8 Organigramme de la rétropropagation .....	50

<b>figure IV. 1</b> Architecture du système automatique de diagnostic des anomalies .....	<b>54</b>
<b>figure IV. 2</b> Structure du RNA.....	<b>57</b>
<b>figure IV. 3</b> Evolution de l'erreur quadratique moyenne du RNA .....	<b>58</b>
<b>figure IV. 4</b> Test des sorties du RNA en présence de défaut (monophasé). .....	<b>59</b>
<b>figure IV. 5</b> Test des sorties du RNA en présence de défaut (biphasé).....	<b>60</b>

## Nomenclature

$a, b, c$	Indice correspondant aux trois phases
$C_e$	Couple électromagnétique
$C_r$	Couple résistant
$f$	Coefficient de frottement
$g$	Glissement
$i_{sa}, i_{sb}, i_{sc}$	Courants statoriques
$i_{ra}, i_{rb}, i_{rc}$	Courants rotoriques
$J$	Moment d'inerties
$\Phi_{ra}, \Phi_{rb}, \Phi_{rc}$	Les flux rotoriques
$\Phi_{sa}, \Phi_{sb}, \Phi_{sc}$	Les flux statorique.
$f_{sa}, f_{sb}, f_{sc}$	Les coefficients de court-circuit
$N_s$	Nombre de spires statoriques par phase.
$N_{cc}$	Nombres de spires en court-circuit.
$f_s$	Fréquence d'alimentation
$B_s$	Induction magnétique crée dans l'entrefer par le courant statorique
$L_{sf}$	Inductance de fuite statorique
$L_{rf}$	Inductance de fuite rotorique
$V_{sa}, V_{sb}, V_{sc}$	Tensions d'alimentation des phases statoriques.
$V_{ra}, V_{rb}, V_{rc}$	Tensions d'alimentation des phases rotoriques.
$R_s, l_s$	Résistance et inductance propre d'une phase statorique.
$R_r, l_r$	Résistance et inductance propre d'une phase rotorique.
$\omega$	Vitesse de rotation mécanique
$p$	Nombre de paires de pôles.
$\sigma$	Coefficient de dispersion
$M_{sr}$	Inductances mutuelle entre une phase de stator et une phase de rotor.
$M_s$	Inductance mutuelle entre deux phases statoriques.
$M_r$	Inductance mutuelle entre deux phases rotoriques.
$M_0$	Maximum de l'inductance mutuelle entre une phase statorique et une phase rotorique.
$M_{1,2,3}$	L'inductance mutuelle instantanées entre une phase statorique et une phase rotorique.
$s, r$	Indices stator et rotor respectivement.
$\omega_r$	vitesse électrique de rotation du rotor par rapport stator.
$\omega_{ref}$	Vitesse électrique de référence.
$\theta$	Angle électrique.
$\Omega$	Vitesse mécanique.
$E(k)$	la mesure de l'erreur sur le
$k^{eme}$	exemple entrée/sortie
$w_{ji}(t)$	Est le poids
$\eta$	Est un terme de gain appelé taux d'apprentissage.
$\delta_j(k)$	Est le terme d'erreur pour le neurone j.

## **Introduction générale**

La machine asynchrone a longtemps été fortement concurrencée par la machine synchrone dans les domaines de forte puissance, jusqu'à l'avènement de l'électronique de puissance. La plus grande utilisation de cette machine est due à la standardisation, à sa grande robustesse et à son bas coût d'achat et d'entretien. En fait, elle est omniprésente dans de nombreuses applications et en particulier dans les secteurs de pointe comme l'aéronautique, le nucléaire, les industries chimiques, dans le transport (métro, trains, propulsion de véhicule et des navires, les ascenseurs), dans l'industrie (machines-outils, treuils), dans l'électroménager. Elle était à l'origine uniquement utilisée en moteur mais, toujours grâce à l'électronique de puissance, elle est de plus en plus souvent utilisée en génératrice. C'est par exemple le cas dans les éoliennes [01].

Malgré sa fiabilité et sa robustesse, la machine asynchrone subit, au cours de son fonctionnement, un certains nombres de contraintes de différentes natures (électriques, mécaniques et environnement). Ces dernières induits des défaillances qui peuvent conduire à des arrêts non programmés, à des pertes de production, à des réparations coûteuses et peuvent entraîner de graves conséquences sur la sécurité des personnes, des matériels et de l'environnement.

Le but de notre travail porte sur le diagnostic des défaillances en utilisant les techniques d'intelligences artificielles « les réseaux de neurones »

Le diagnostic des machines électriques s'est fortement développé dans le monde industriel car la volonté d'obtenir une chaîne de production de plus en plus sûre devient, pour certaines applications, indispensable. Les chaînes de productions doivent être dotées de système de protection fiable car une quelconque défaillance, même la plus anodine, 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 les méthodes de diagnostic. Celles-ci ont pour premier objectif de prévenir les utilisateurs d'un risque possibles pouvant apparaître en un point particulier du système.[02]

Il est donc impératif de mettre en oeuvre des systèmes de surveillance adéquats ayant pour but de détecter de façon précoce les défauts.

Bien que déjà présents dans d'autres domaines, et parmi les différentes techniques de diagnostic, l'analyse spectrale, les réseaux de neurones et la logique floue constituent des nouvelles techniques dans le domaine de diagnostic.

Les techniques de surveillance sans modèle sont divisées en deux parties. La première partie correspond aux outils statistiques et de traitement du signal qui sont généralement qualifiés d'outils de traitement de bas niveau, parce qu'ils sont en contact direct avec le

signal capteur, et ne servent généralement que pour la génération d'alarmes brutes, sans aucune information concernant leur signification. La deuxième partie est celle des techniques dites de haut niveau et qui sont plutôt orientées vers la communication avec l'expert.

Celles-ci représentent les techniques de l'Intelligence Artificielle (*IA*) et servent comme outil de base pour l'aide à la décision. Leur réponse est donc plus élaborée que celle des techniques de bas niveau. Cette réponse peut être obtenue soit à partir des données brutes venant directement des variables de surveillance, soit à partir des données traitées venant des sorties des traitements de bas niveau. Le rôle que peut jouer un expert humain reste tout de même indispensable si l'on veut concevoir un outil de surveillance avec les techniques de l'Intelligence Artificielle. Parmi les techniques de l'Intelligence Artificielle utilisées pour la surveillance, sont les Réseaux de Neurones Artificiels (*RNA*), qui se démarquent des autres outils par leur capacité d'apprentissage et de généralisation.

A cet effet, notre travail consiste à élaborer un système automatique de diagnostic des défauts de la machine asynchrone à base des réseaux de neurones artificiels.

Le travail proposé est organisé en quatre chapitres:

Le premier chapitre est une entrée en la matière du diagnostic, commençant par un bref rappel sur la constitution technologique de la machine asynchrone à cage d'écureuil, puis une exposition de classification des différents défauts pouvant affecter chaque élément de cette machine (causes, effets, études statistiques).

Dans le deuxième chapitre de ce travail nous allons modéliser la machine asynchrone en régime sain. En effet, nous allons modéliser la machine dans le repère triphasé, où la modélisation sera détaillée depuis les équations du modèle triphasé jusqu'à l'obtention des équations finales.

Le troisième chapitre décrit une technique d'intelligente nouvellement introduite dans le monde de l'électronique de puissance. Il s'agit principalement des réseaux de neurones artificiels et les différentes structures qui leurs sont associées

Dans le dernier chapitre, nous appliquerons la méthode des réseaux de neurones artificiels, qui se résume en la réalisation d'un système de diagnostic automatique des défauts.

## Chapitre I : Etat de l'art sur le diagnostic des défaillances des MAS

### Introduction

La surveillance et le diagnostic des machines électriques ont été sous le foyer pendant au moins de vingt années avec un intérêt spécial pour les machines d'induction triphasées à cage d'écuriel. Ces derniers présentent de nombreux avantages dus à leur robustesse et à leur rapport de puissance-poids. Ainsi, ils sont employés couramment dans l'industrie. Par conséquent, il y a une demande considérable pour réduire des coûts de maintenance et empêcher des temps de panne imprévus pour les systèmes électriques d'entraînement [2].

Durant maintenant plus d'une vingtaine d'années, des études et des recherches ont été menées sur la façon dont on pourrait détecter une panne, une défaillance et d'y comprendre la relation cause à effet. Ainsi, on pourrait améliorer la fiabilité du moteur asynchrone, donc augmenter sa durée de vie. Dans ce chapitre, nous décrivons le système étudié qui se limite, dans notre cas, à la machine asynchrone triphasée à cage d'écuriel.

Après avoir rappelé les éléments de constitution de cette machine, nous effectuons une analyse des différents défauts pouvant survenir sur chacun d'eux. Pour finir, nous discutons des méthodes de diagnostic actuellement appliquées à la machine asynchrone pour la détection d'un défaut électrique et/ou mécanique.[04]

### I.1 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.

#### I.1.a. Stator

Le stator de la machine asynchrone est constitué de tôles d'acier dans lesquelles sont placés les bobinages statorique. Ces tôles sont, pour les petites machines, découpées en une seule pièce alors qu'elles sont, pour les machines de puissance plus importantes, découpées par sections. Elles sont habituellement recouvertes de vernis pour limiter l'effet des courants de Foucault. Au final, elles sont assemblées les unes aux autres à l'aide de boulons ou de soudures pour former le circuit magnétique statorique.

Une fois cette étape d'assemblage terminée, les enroulements statorique sont placés dans les encoches prévues à cet effet. Ces enroulements peuvent être insérés de manières imbriquées, ondulées ou encore concentriques. L'enroulement concentrique est très souvent utilisé lorsque le bobinage de la machine asynchrone est effectué mécaniquement. Pour les grosses machines, les enroulements sont faits de méplats de cuivre de différentes sections insérés directement dans les encoches. L'isolation entre les enroulements électriques et les tôles d'acier s'effectue à l'aide de matériaux isolants qui peuvent être de différents types suivant l'utilisation de la machine asynchrone.[04]

Le stator d'une machine asynchrone est aussi pourvu d'une boîte à bornes à laquelle est reliée l'alimentation électrique. La (figure I-1) représente les différentes parties qui constituent le stator d'une machine asynchrone. Nous pouvons visualiser la présence d'ailettes de ventilation assurant le refroidissement de la machine lorsque celle-ci fonctionne en charge.

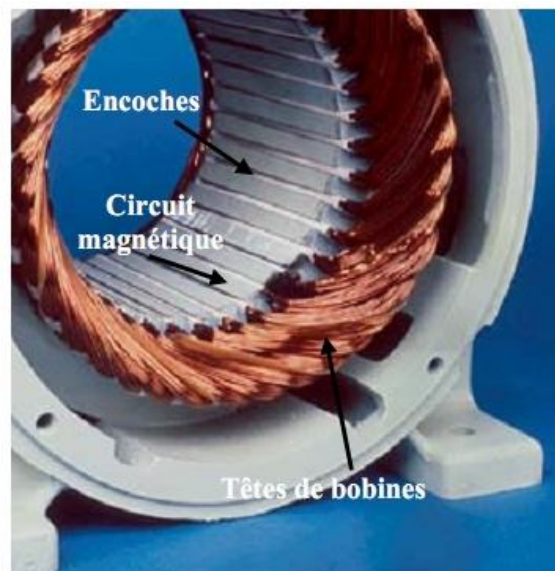


Figure I.1. Stator d'une machine asynchrone

### I.1.b. Rotor

Tout comme le stator, le circuit magnétique rotorique est constitué de tôles d'acier qui sont, en général, de même origine que celles utilisées, pour la construction du stator. Les rotors de machines asynchrones peuvent être de deux types : bobinés ou à cage d'écureuil. Les rotors bobinés sont construits de la même manière que le bobinage statorique (insertion des enroulements dans les encoches rotoriques). Les phases rotoriques sont alors disponibles grâce à un système de bagues-balais positionné sur l'arbre de la machine. En ce qui concerne les rotors à cage d'écureuil, les enroulements sont constitués de barres de cuivre pour les gros moteurs ou d'aluminium pour les petits. Ces barres sont court-circuitées à chaque extrémité par deux anneaux dits "de court-circuit", eux aussi fabriqués en cuivre ou en aluminium.

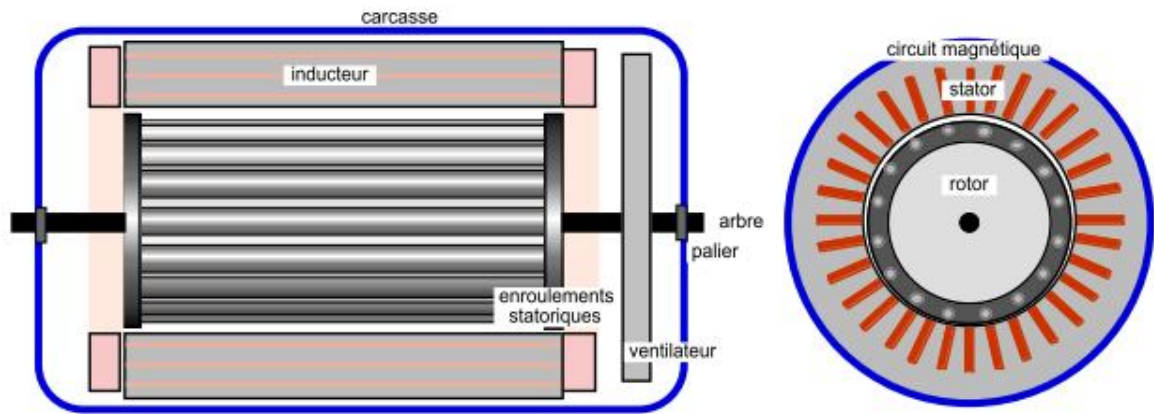


Figure I.2. Vue schématique en perspective du rotor

La sécurité des systèmes présente une importance majeure dans les processus industriels, toute défaillance de l'instrumentation conduit à la génération d'information fautive, la machine asynchrone est très répandue dans le milieu industriel grâce à sa robustesse, malgré ses qualités la machine asynchrone à cage d'écureuil peut présenter des défauts structurels, parmi lesquels la rupture totale ou partielle de barre rotorique et portion d'anneau. [03]

La figure I.3 récapitule la distribution des défauts dans les moteurs examinés dans cette étude. Il faut noter que cette figure représente des données de machines fonctionnant dans différentes applications et dans différentes branches dans l'industrie.

Il est connu que l'occurrence d'un type quelconque de défauts dépend fortement de l'application spécifique de la machine. Par exemple, il a été constaté que dans des machines asynchrones à cage, les défauts de la cage rotorique sont plus élevés que les défauts d'enroulement statorique pour les applications où la machine est fréquemment arrêtée et remise en marche sous une charge importante (machines à outils et les industries minières). [01]

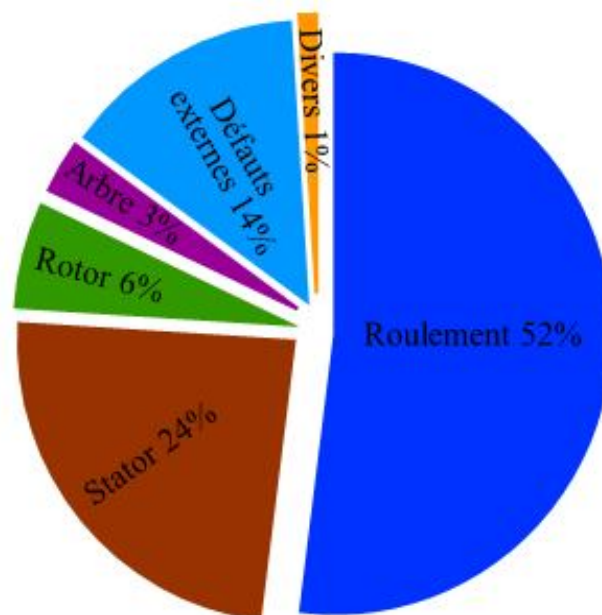


Figure I.3: Distribution des défauts des machines électriques

## I.2. Types des défauts de la machine asynchrone

### I.2.1. Défaillance d'ordre mécanique

C'est les défaillances les plus rencontrées en générale parmi les défauts que compte la machine asynchrone, ces défauts peuvent apparaître au niveau des flasques des roulements à bille ou de l'arbre moteur.[05]

#### a. Défaillance des roulements

Les roulements à bille jouent un rôle très importants dans le fonctionnement de différentes machines électriques les défauts de roulements peuvent être causés par un mauvais choix du matériau à l'étape de fabrication. Les problèmes de rotation causés par un roulement abîmé écaillé ou fissuré peuvent créer des perturbations au sein de la machine.

La graisse qui permet la lubrification et la bonne rotation des roulements peut se rigidifier et causer une résistance à la rotation, l'analyse vibratoire de la machine ou l'analyse harmonique des courants statorique permet de détecter ce type de défaillance.

#### b. Défaillance de l'arbre

L'arbre de la machine peut laisser paraître une fissure due à l'utilisation d'un mauvais matériau lors de sa construction, à court ou long terme cette fissure peut mener à une fracture nette de l'arbre provoquant un arrêt irrémédiable de la machine asynchrone, les milieux corrosifs peuvent aussi affaiblir la robustesse de l'arbre de la machine; par exemple l'humidité peut provoquer des microfissures et conduire à la détérioration complète de la machine, l'excentricité statique, dynamique ou mixte peut induire des efforts considérable sur l'arbre moteur amenant ainsi une fatigue supplémentaire.

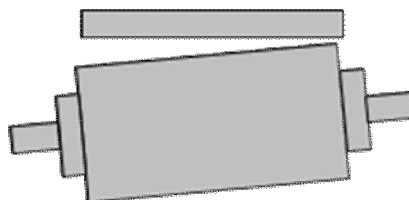


Figure I.4 L'excentricité statique

### I.2.2. Défaillance d'ordre électrique

Les défaillances d'ordre électrique peuvent être la cause de l'arrêt de la machine (au même titre que les défaillances mécaniques), ces défaillances se séparent en deux catégories bien distinctes, les défaillances qui peuvent apparaître dans les circuits électriques statorique et celle qui peuvent apparaître dans les circuits électriques rotorique.

#### a. Défauts Pannes statoriques

- Les courts-circuits internes

Ce sont des pannes dues à un court-circuit dans une ou plusieurs phases statoriques.

Ce type de défaut provoque une détérioration de la machine. Il conduit à un déséquilibre de phases, ce qui perturbe les commandes développées. Un défaut de court-circuit est une connexion directe entre deux points du bobinage, à savoir :

- Les courts-circuits apparaissent, en général, dans les enroulements de phases différentes et dans les têtes de bobines, parce que c'est dans celles-ci que les conducteurs de phases différentes se côtoient
- Les courts-circuits entre spires de la même phase apparaissent soit au niveau des têtes des bobines soit dans les encoches. Ce sont des défauts très fréquents. Ils peuvent se manifester soit entre des spires au milieu du bobinage ou bien entre une spire et le neutre.
- Les courts-circuits proches de l'alimentation entre phases, induisent des courants très forts qui conduisent à une fusion des conducteurs d'alimentation et à la disjonction par les protections

### **Les charges partielles**

Ce type de défaut est dû aux décharges dans les isolants entre conducteurs ou entre conducteurs et la masse qui s'amplifie avec l'usure des isolants. Sa présence précède l'apparition de court-circuit entre phases ou entre phases et masse.

#### **b. défauts rotoriques**

- **Les cassures de barres et de portions d'anneaux des cages**

Ces défauts apparaissent au niveau du bobinage rotorique. Ce sont les défauts les plus fréquents. Ils se présentent par des ruptures totales ou partielles d'une barre au niveau de l'anneau de la cage d'écureuil, ou par des ruptures d'une portion d'anneau. Ils se traduisent par une augmentation de la résistance équivalente d'un enroulement rotorique. Ces pannes rotoriques engendrent malheureusement des ondulations dans le couple électromagnétique qui elles-mêmes provoquent des oscillations de la vitesse de rotation de la machine. Ce qui génère des défauts mécaniques en plus dans la machine.

Suite à l'apparition de ce type de défauts, la machine continue à fonctionner, il est donc très difficile de détecter ces défaillances si la machine est en régime de défauts. Le courant qui conduit une barre cassée se répartit sur les autres barres, ces dernières seront surchargées, ce qui conduit à leurs ruptures, et par la suite la rupture d'un nombre plus important de barres, dans la machine.

- **Vibration des roulements à billes**

Un défaut de roulement à billes se manifeste par la répétition continue du contact défectueux avec la cage de roulement extérieur comme intérieur.

Des contraintes environnementales causées par une contamination de la cage rotorique (industrie chimique par exemple).

Tous comme les défauts statorique les défauts rotorique peuvent être détectés par une analyse harmonique des courants statoriques, une analyse vibratoire permet aussi de détecter ce type de défauts.

### I.3. Constitution de l'alimentation d'un moteur asynchrone :

Dans le cas des moteurs asynchrones, la vitesse de rotation du rotor dépend de la fréquence statorique  $f_s$  (fréquence de la tension d'alimentation du moteur) et de la fréquence des courants rotoriques (donc de la charge). Un convertisseur statique permet de faire varier l'amplitude et la fréquence de la tension d'alimentation et donc de faire varier la vitesse de la machine.

Plusieurs stratégies de commande peuvent être utilisées. Les commandes scalaires dont une version simplifiée assure un rapport  $U/f_s$  constant (avec  $f_s$ , la fréquence des courants statoriques et  $U$ , la tension efficace d'alimentation), les commandes vectorielles à flux orienté

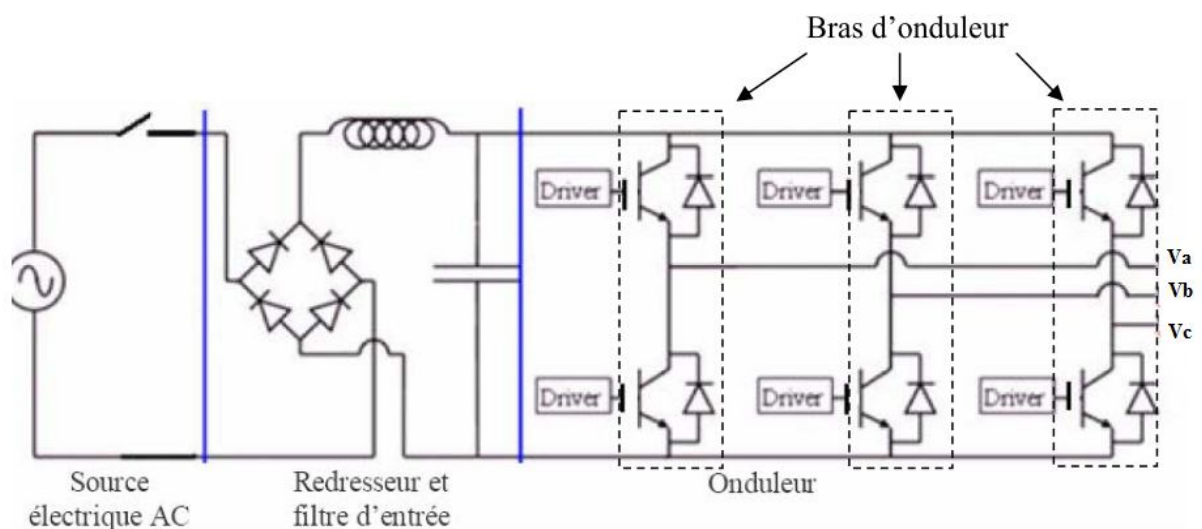


Figure I.5 Structure de l'alimentation d'un moteur pour la variation de vitesse [06]

Les différents éléments constituant la chaîne d'alimentation sont :

- **Source électrique AC :**

La source électrique alternative est généralement obtenue par le réseau triphasé électrique.

- **Redresseur :**

Il permet de transformer une tension alternative en tension continue.

- **Filtrage :**

Il élimine phénomènes d'ondulation de la tension en sortie du redresseur. Ce filtre, associé au pont redresseur, constitue une source de tension continue servant à alimenter le bus continu à l'entrée de l'onduleur.

- **Onduleur**

Il permet de transformer une tension continue en une tension alternative d'amplitude et de fréquence variables. Dans notre application, le rapport  $U/f_s$  est maintenu constant car on souhaite conserver les performances en régime permanent du moteur, c'est-à-dire disposer du statorique  $\Phi_s$  constant et donc cela impose, en première approximation, de maintenir  $U/f_s$  constant jusqu'à la vitesse nominale. Il génère une succession d'impulsions de tension, réalisée par l'intermédiaire de la commande des interrupteurs. Sur la **figure I.5**, il s'agit d'un onduleur à trois demi-points (ou bras), qui est la structure la plus répandue, car elle offre un compromis intéressant entre le coût et les performances.

La commande la plus répandue pour ce type de convertisseur est la modulation de largeur d'impulsions (M.L.I.) ou Pulse Width Modulation (P.W.M). Cette modulation est une technique de découpage permettant de générer des formes de courant arbitraires.

Dans notre cas, elles seront quasi sinusoïdales.

L'onduleur va générer des tensions ou des courants de fréquence variable riches en harmoniques. Celles-ci sont à l'origine de pertes supplémentaires (fer et Joule) s'ajoutant aux pertes 'normales' qu'on aurait si les tensions et les courants étaient sinusoïdaux. L'accroissement de l'échauffement dû à ces pertes supplémentaires et les contraintes en tension risquent de diminuer la durée de vie du moteur.

#### **I.4. Défaits des convertisseurs électriques**

Le fonctionnement à vitesse variable de la machine asynchrone nécessite un contrôle de l'énergie par un convertisseur statique. En effet, on peut envisager d'autres types de défauts potentiels qui peuvent surgir sur la partie puissance et commande, à savoir :

- La défaillance d'un bras d'onduleur: c'est à dire d'un des composants électroniques (transistor ou thyristor) est maintenu hors tension (ouvert) ;
- L'un des composants est maintenu fermé ;
- La défaillance du capteur de vitesse : il n'y a pas de retour de la valeur de la vitesse sur la commande (défaut sur la commande);
- La défaillance partielle du capteur de vitesse (offset sur le capteur) ;

Par ailleurs, le diagnostic d'une défaillance fait appel le plus souvent à l'utilisation de signatures élaborées à partir de signaux qui contiennent les informations jugées pertinentes par les spécialistes du domaine. La complexité des signaux dépend de la nature des systèmes et des matériels à diagnostiquer et varie en fonction de l'anomalie recherchée.

En ce qui concerne la machine asynchrone et pour identifier les défaillances citées ci-dessus, on peut citer les techniques de validation des signaux :

- la mesure des températures ;
- le contrôle des émissions de fréquences radio ;
- le contrôle du champ électromagnétique ;
- le contrôle des vibrations ;
- l'analyse chimique;
- les mesures des bruits acoustiques ;
- l'analyse de la signature du courant du moteur;
- la mesure de la vitesse.

La technique retenue dans cette étude est l'analyse des courants du moteur et de sa vitesse de rotation ainsi que de la tension d'alimentation. Les défaillances considérées seront celles du stator. Par conséquent, le courant, la vitesse du moteur et la tension peuvent être considérés comme étant les valeurs indicatrices les plus représentatives des défaillances considérées. [08]

## **I.5. Le diagnostic**

### **I.5.a. Définition diagnostic :**

Ensemble d'actions visant à évaluer l'état d'un procédé à partir de la connaissance de son fonctionnement. A partir de l'observation du procédé, on détermine par comparaison avec les divers états de fonctionnement connus (ou un raisonnement logique) le degré de défaillance du système, l'origine de ses défaillances et leurs causes.[08]

Par, ailleurs, le diagnostic des systèmes de production, par les méthodes sans modèles en particulier, atteint un degré de raison certaine. Les techniques développées permettent en effet de détecter et de diagnostiquer la plupart des défauts.

Néanmoins, leurs applications restent limitées dans un contexte industriel. en effet , pour les industriels , il est impératif d'appréhender le degré du défaut et de prévoir le moment optimal pour arrêter le système et intervenir (maintenance prédictive). Ce besoin est connu sous la terminologie « pronostic ».

On trouve actuellement des systèmes de diagnostic incluant des méthodes pronostic (interpolation, méthodes paramétriques de type autorégressifs, etc) .les résultats qu'ils offrent sont décevants en particulier parce qu'ils n'incluent par les connaissances, les conditions de marche des systèmes de production, etc...[09]

L'historique du diagnostic des défaillances est ancien comme les machines électriques elles mêmes. Les utilisateurs de la machine électrique se sont initialement penchés sur les simples protections comme les surtensions, les surintensités et les défauts à la terre. Cependant, comme la complexité de la machine se développe en croissance, des améliorations sont aussi recherchées dans le domaine du diagnostic des défaillances. [09]

### I.5.b. Définitions de quelques termes liés au diagnostic

- **Défaillance**

Événement engendrant une modification du fonctionnement du procédé. L'état du système ne correspond plus à un fonctionnement normal, le système n'est plus apte à assurer totalement sa fonction.

- **Dégradation**

Une dégradation représente une perte de performances d'une des fonctions assurées par un équipement.

Si les performances sont au-dessous du seuil d'arrêt défini dans les spécifications fonctionnelles de cet équipement, il n'y a plus dégradation mais défaillance.

- **Panne**

Une panne est l'inaptitude d'une entité (composant ou système) à assurer une fonction requise.

Si nous écartons la possibilité d'erreurs de conception, la définition précédente implique que toute défaillance entraîne une panne. La défaillance correspond à un événement et la panne à un état.

Sur le plan temporel, la défaillance correspond à une date et la panne à une durée comprise entre la date d'occurrence de la défaillance et la date de fin de réparation.

- **Disponibilité**

La norme AFNOR X 60-500 définit la disponibilité comme « l'aptitude d'une entité à être en état d'accomplir une fonction requise dans des conditions données, à un instant donné ou pendant un intervalle de temps donné, en supposant que la fourniture des moyens extérieurs nécessaires de maintenance soit assurée ».

Elle se caractérise par la probabilité  $A(t)$  d'être, à l'instant  $t$ , en état d'accomplir les fonctions requises [09].

- **Fiabilité**

Capacité d'un système à fonctionner pendant un certain temps sans panne, elle se caractérise par le temps moyen de bon fonctionnement.

#### **\*Maintenance - Maintenabilité**

La maintenance est l'action de mise en état du matériel; elle peut être préventive, afin d'augmenter la fiabilité du système, ou bien être curative, consécutive au diagnostic d'un défaut. La maintenabilité caractérise la facilité de maintenance du procédé; elle peut être largement augmentée par la mise en œuvre d'un système de diagnostic.

## Sécurité

Ce terme regroupe les caractéristiques concernant l'utilisation du procédé et ses dangers potentiels pour l'utilisateur ou pour le matériel.

## Sûreté

Elle regroupe les notions de disponibilité, fiabilité, maintenabilité et sécurité du système. Elle caractérise la confiance que l'on peut apporter au fonctionnement. [10]

### I.5.c Méthodes de diagnostic :

Sur le graphe (Figure. I.6) sont présentées les différentes méthodes de diagnostic

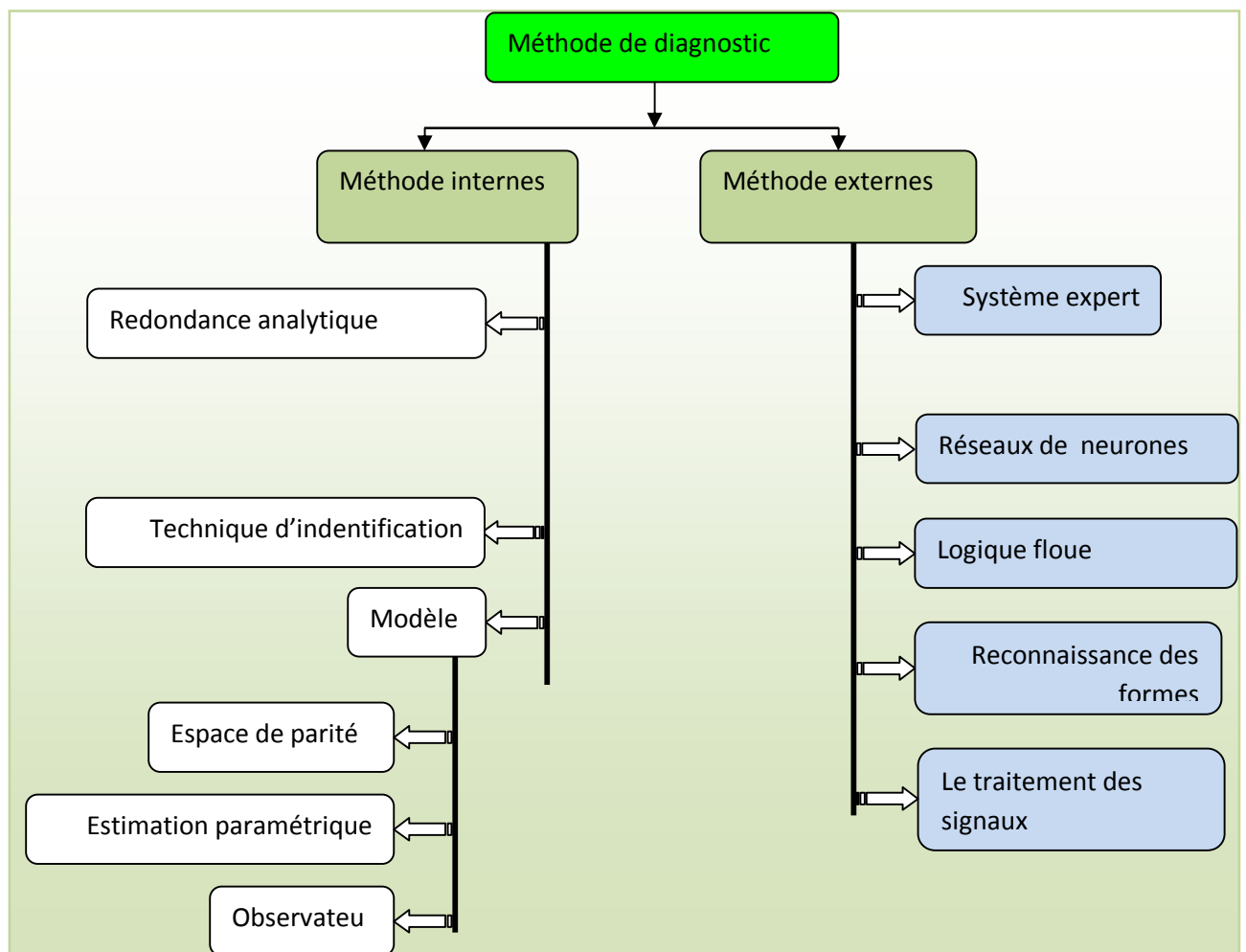


Figure. I.6 Schéma synoptique de classement des méthodes de diagnostic

#### 1. Méthodes internes de diagnostic

Ces types de méthodes sont basés sur les techniques de modélisation à savoir

- les méthodes du diagnostic par modélisation fonctionnelle et matérielle ;
- les méthodes de diagnostic de défaillance par modélisation physique.

##### 1. a. Les méthodes de diagnostic de défaillances par modélisation fonctionnelle et matérielle

Un système est un ensemble déterminé d'éléments interconnectés; ces éléments sont regroupés fonctionnellement en vue de remplir une ou plusieurs fonctions.

Une défaillance fonctionnelle est caractérisée par la perte d'une des fonctions d'un élément donné. Le principe des méthodes de modélisation des défaillances fonctionnelles est d'établir a priori les liens entre les causes initiales des défaillances et de leurs effets mesurables par les systèmes de traitement de l'information.

### 1. b. Méthodes de diagnostic par modélisation physique

Cette famille de méthodes, repose principalement sur les modèles mathématiques qui représentent d'une manière satisfaisante le processus réel et qui devront aussi être validés expérimentalement avant toute utilisation industrielle.

Ces méthodes sont regroupées en trois grandes familles :

- Les méthodes du modèle
- Les méthodes d'identification des paramètres
- Les méthodes d'estimation du vecteur d'état

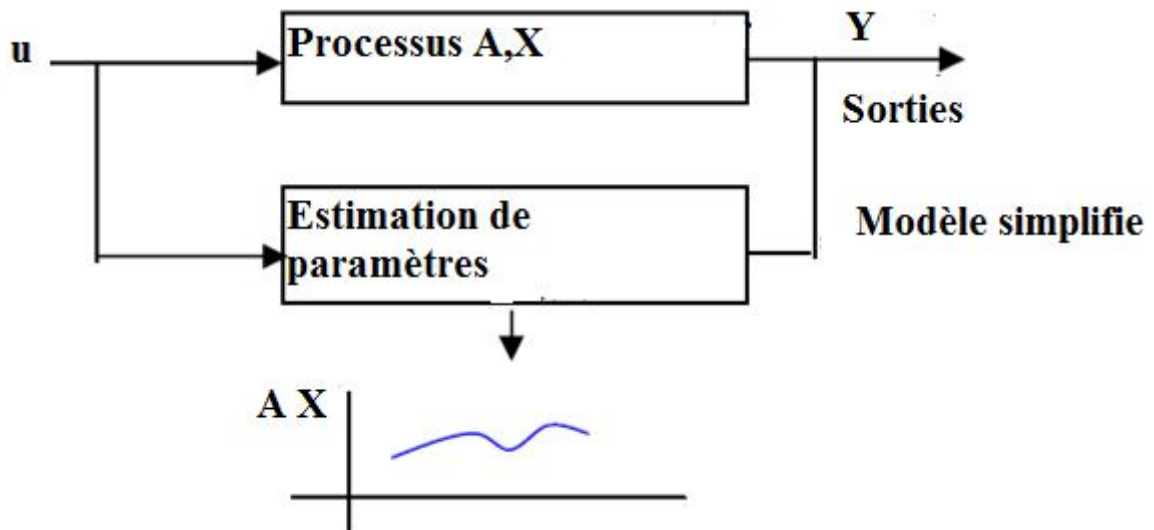


Figure. I.7. Principe du diagnostic par modélisation

Le principe de ces méthodes, illustré sur la **figure I.4** repose sur la prise en compte des observations ' $u$ ' pour remonter aux paramètres  $A$  ou à son vecteur d'état interne  $X$ . les éléments  $A$  et  $x$  ayant par définition un sens physique, la cause exacte de la défaillance devenant facile à identifier et à localiser.

Toutes ces méthodes seront détaillées antérieurement.

### 2. Méthodes externes de diagnostic

Ces méthodes ne nécessitent pas un modèle mathématique pour décrire les relations de cause à effet, la seule connaissance repose sur l'expertise humaine confrontée à un solide retour d'expérience. Le principe de fonctionnement de ces méthodes est divisé en trois phases [08]

#### 2. a. La méthode du modèle

La méthode du diagnostic basée sur le modèle consiste à comparer les grandeurs déduites d'un modèle représentatif du fonctionnement des différentes

entités du processus avec les mesures directement observées sur le processus industriel. La figure I.3 représente le fonctionnement d'un système de détection de défaillances utilisant l'approche basée sur le modèle.

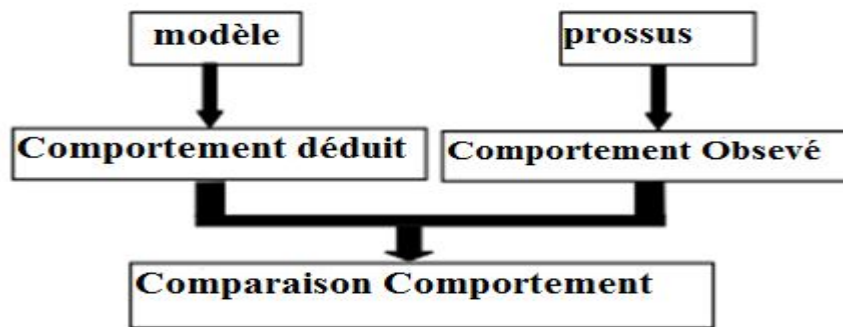


Figure I-8 : Principe de fonctionnement de la méthode du modèle

## 2. b. La méthode de diagnostic par identification des paramètres

La méthode de diagnostic par identification des paramètres s'applique au cas très particulier où l'on souhaite suivre l'évolution de certains paramètres physiques critiques pour le fonctionnement d'un processus et qui ne sont pas mesurables directement. Par exemple l'encrassement des tubes dans un échangeur de chaleur modifie directement le coefficient d'échange thermique. Dans ce cas, il est possible à partir des mesures de températures, des débits et des pressions (des fluides entrant et sortant) d'évaluer de façon indirecte le coefficient d'échange thermique. Le principe général des méthodes d'identification est d'estimer les paramètres internes physiques représentés par un vecteur paramètre  $\Theta$  du modèle à partir de la connaissance des signaux d'entrées 'u' et de sortie 'y' mesurées sur le processus industriel par des méthodes appropriées [09]

## 2. c. Diagnostic par traitement du signal

Le diagnostic est réalisé par la détection d'un écart obtenu à partir de la signature observée avec une signature de référence, ce principe de comparaison est appelé principe de corrélation et il utilise les caractéristiques des signaux dans les domaines temporel ou fréquentiel ou les deux conjointement

En effet, la fonction de corrélation de deux signaux exprime les variations de la similitude existante entre ces signaux. Si sa valeur est proche d'une valeur maximale possible, on dit que ces deux signaux sont corrélés, si la corrélation est nulle, on dit qu'ils sont non corrélés.

## 2. d. Méthode de l'arbre de défaillance

C'est une méthode inductive avec laquelle on introduit toutes les combinaisons d'événements possibles qui entraînent la réalisation d'un événement unique indésirable. Les conditions et les événements sont organisés sous la forme d'un arbre utilisant des symboles logiques « et » et « ou ». Les défaillances identifiées dans l'arbre sont relatives aux défaillances des matériels, à des erreurs humaines ou à tout autre élément significatif.

## 2. e. Méthode de reconnaissance des formes

Parmi toutes les approches du diagnostic, la reconnaissance des formes est une technique de définition d'algorithmes permettant de classer des objets dont l'aspect a varié par rapport à un objet type. Il s'agit de définir à quelle forme-type une forme observée ressemble le plus. Dans ce cas,

la forme est définie par un ensemble de 'd' paramètres appelés caractères qui sont les composants du vecteur forme  $x$ ; les prototypes sont les points représentatifs du vecteur forme dans l'espace à 'd' dimensions;

Dans un problème de reconnaissance des formes on suppose généralement que les formes  $x$  à classer appartiennent à  $M$  catégories bien déterminées appelées classes et notées  $W_1, W_2, \dots, W_m$ .

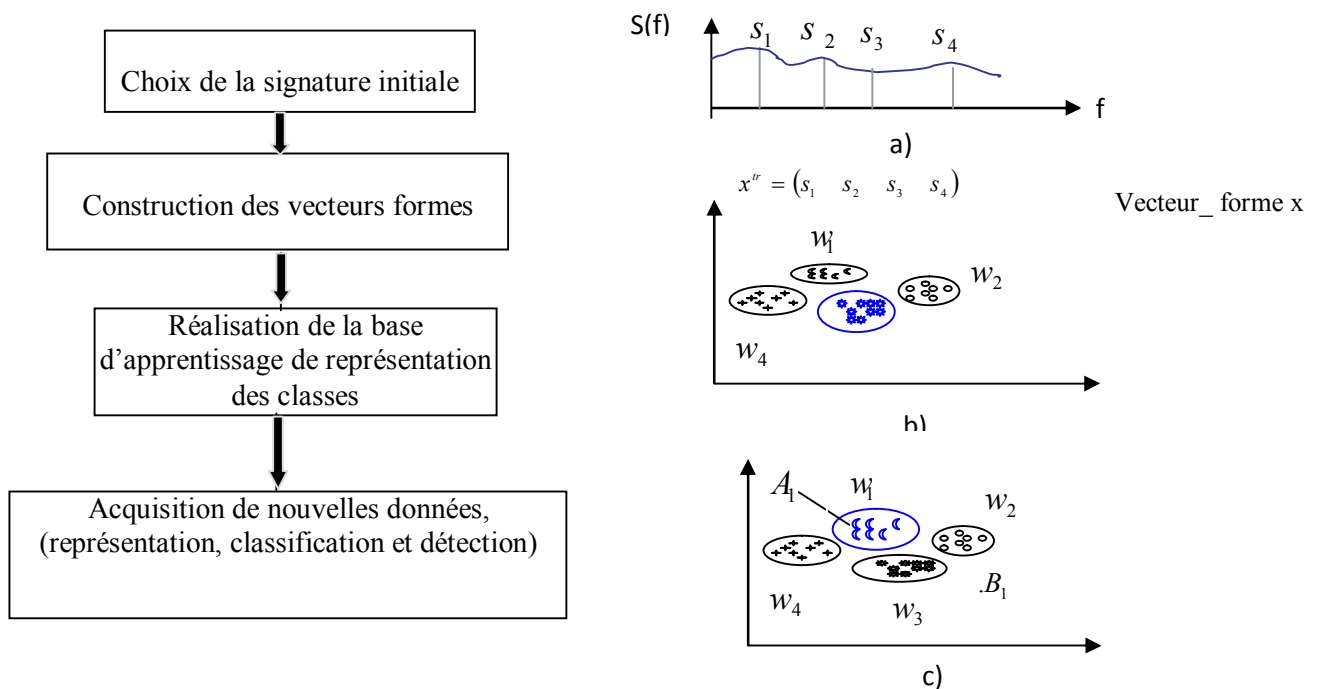


Figure .I.9. Procédure de diagnostic basée sur la technique de la reconnaissance des formes

## 2. f. Diagnostic par systèmes experts

Un système expert doit fournir des réponses associées à une situation donnée sachant que la complexité du domaine étudié ne permet pas d'établir a priori toutes les configurations possibles des situations; ainsi un spécialiste du dépannage réalise son diagnostic à l'aide d'une description partielle de la situation.

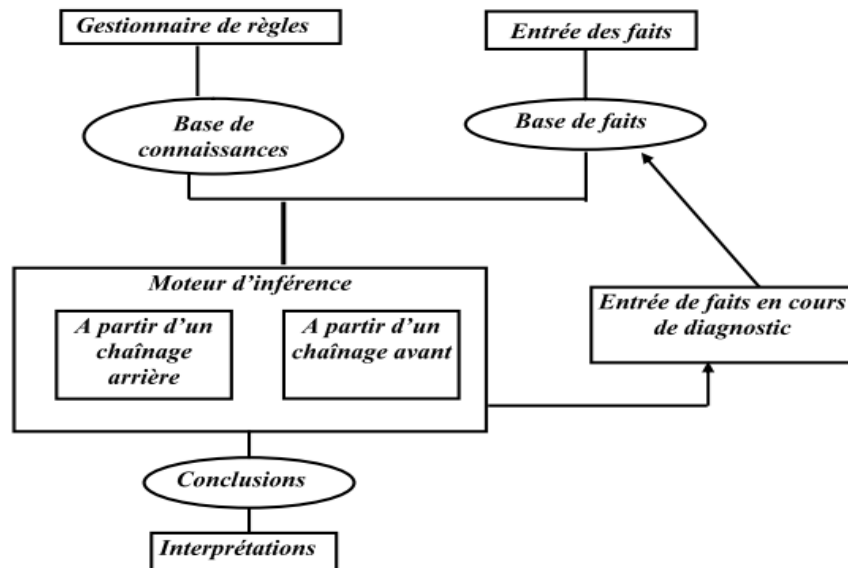


Figure I.9: Architecture générale d'un système expert de diagnostic [05]

## 2. g. Diagnostic par logique floue

Cette approche, contrairement à la logique du tout ou rien de G.Boode, a pour but la prise en compte de la logique de la pensée humaine qui est approximative.

Le concept de sous-ensemble flou a été introduit pour prendre en compte l'imprécision. La fonction d'appartenance à un ensemble flou prend des valeurs sur l'intervalle. Celles-ci expriment le degré d'appartenance d'un élément à cet ensemble: 0 pour la non appartenance stricte et 1 pour l'appartenance stricte

Le principe de fonctionnement du diagnostic basé sur la logique floue consiste à extraire et à calculer les signaux d'entrée, en utilisant les règles linguistiques représentées sous forme de fonctions d'appartenances, ces règles peuvent contenir tous les modèles possibles qui correspondent au mode de défaut considéré.

En général, la procédure de fonctionnement d'un système flou est accomplie en trois étapes:

- \* La fuzzification ;
- \* L'inférence;
- \* La défuzzification.

## 2. h. Diagnostic par réseaux de neurones

Durant ces dernières années, d'importants efforts ont été déployés dans le développement de méthodes de contrôle et de surveillance automatique dans ce domaine. Les techniques de l'intelligence artificielle qui servent comme outil de base pour l'aide à la décision, présentent une réponse plus élaborée qui peut être obtenue soit à partir de données brutes venant directement des variables de surveillance, soit à partir de données traitées venant des sorties de traitements de bas niveau [10]

Cette méthode fait partie des méthodes de diagnostic externes, elle utilise la classification automatique des signaux et des formes.

Le principe de fonctionnement des réseaux de neurones est inspiré des mécanismes de fonctionnement du cerveau humain.

De l'extérieur, le réseau de neurones se présente comme une 'boite noire ' qui reçoit des signaux d'entrée et qui fournit les réponses appropriées.

Dans le cas du diagnostic, les différents états de fonctionnement normaux et anormaux sont le plus souvent caractérisés par des signatures. L'opérateur humain, après avoir mémorisé et appris les différentes formes de signatures associées à un état déterminé, est capable à la lecture d'une nouvelle signature d'identifier très rapidement l'état de la machine. Si la nouvelle signature est déjà apprise, il devra l'interpréter et la mémoriser. En général, le RNA permet de reconstituer

- \* la nature des cellules élémentaires qui le constituent (binaires ou continues) ;
- \* l'architecture et le nombre des couches du réseau;
- \* la nature des connexions ;
- \* les méthodes d'apprentissage
- \* les performances de classification ;
- \* les mécanismes de mémorisation.

### **Position du problème à résoudre**

D'après l'étude du diagnostic des défauts de la machine asynchrone, il a été constaté qu'il existe plusieurs méthodes de diagnostic ces dernières leurs applications dépendent aux objectif tracés et aux défauts fréquents considérés pendant le fonctionnement de la machine.

Parmi les défauts étudiés il a été remarqué que les défauts statoriques sont les plus fréquents Dans ce cas nous allons proposer un modèle de la MAS qui tient compte de ces défauts afin de révéler les signaux inducteurs des défauts

Enfin, une méthodes d'intelligence artificielle a savoir les RNA a été choisie pour effectuer le diagnostic de la MAS en utilisant ces signaux indicateurs de défauts.

### **Conclusion**

Dans le présent chapitre ont été exposées les étapes nécessaires à la mise en place d'un système d'aide au diagnostic (analyse de la problématique du diagnostic) ; une analyse critique faite sur les méthodes du diagnostic, il a été déduit que les méthodes externes du diagnostic des défaillances sont bien adaptées au système à étudier, car la modélisation physique de toutes les défaillances de la machine asynchrone ne peut pas être réalisée. Parmi les méthodes externes, la technique des réseaux de neurones a été retenue pour l'élaboration du système de diagnostic des défaillances du système électromécanique. En effet, l'analyse bibliographique effectuée a démontrée que les RNA sont largement utilisées dans le domaine du diagnostic, en raison de leurs avantages et de leur simplicité.

## Chapitre II : Modélisation de la machine et la commande en présence des défauts

### Introduction

Le diagnostic des défaillances par le suivi paramétrique peut reposer sur l'estimation des évolutions de certains paramètres électriques de la machine. Les variations des paramètres sélectionnés doivent être représentatives des défauts considérés.

Le moteur est constitué de deux parties; le circuit électrique et le circuit magnétique. Le circuit électrique est constitué de trois bobinages répartis au stator, alimentés en triphasé alternatif en courant ou en tension. Pour notre étude le choix est porté sur une alimentation en tension, généralement utilisée pour les moteurs asynchrones. Le rotor du moteur est constitué de barres court-circuitées et disposées en cage d'écureuil ou d'un bobinage rotorique (dans le cas d'une machine à rotor bobiné). Il est représenté dans le modèle triphasé-triphasé par trois phases court-circuitées entre elles et ramenées au stator[11].

Dans ce chapitre nous allons présenter une autre méthode de modélisation de la machine asynchrone, elle est basée sur la théorie d'accouplement électromagnétique des circuits électriques, cette méthode prend en considération les défauts statoriques de la machine. Un système d'équations différentielles décrivant la machine asynchrone (système triphasé).

Cette modélisation nécessite une étude précise et rigoureuse des signatures des défauts de la machine asynchrone.

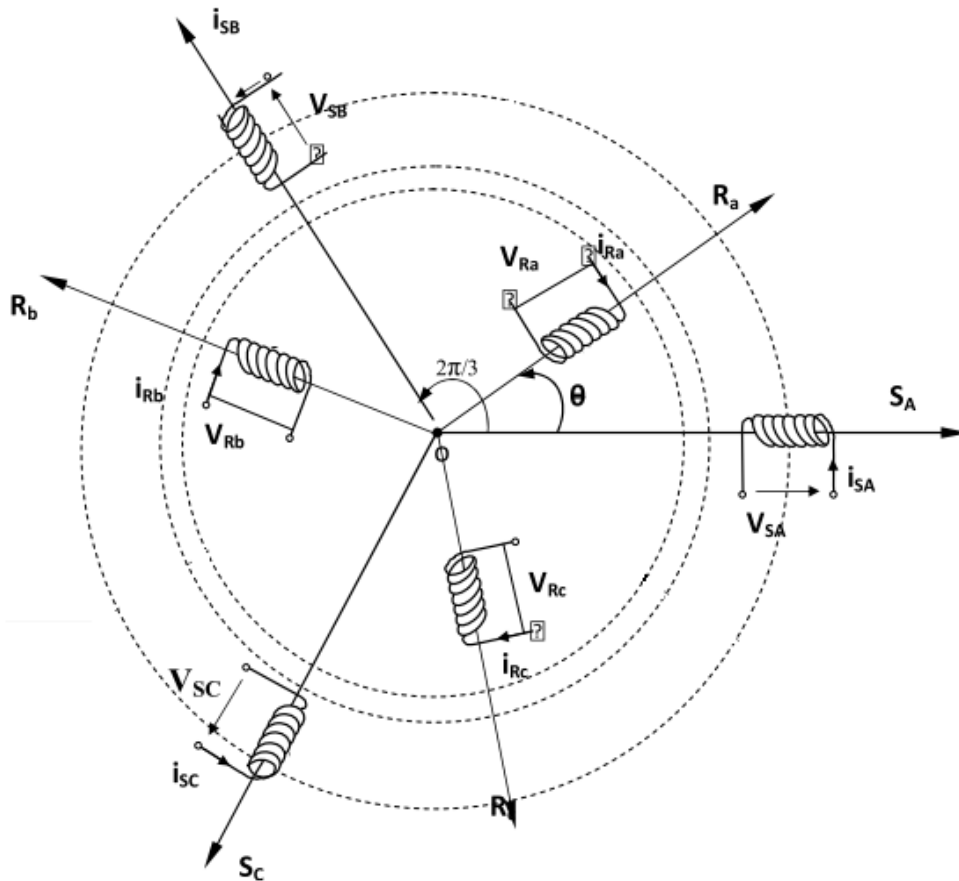
### II.1. Modélisation de la machine asynchrone en régime normal (modèle triphasé)

#### II.1.1. Hypothèse simplificatrices

L'étude de la modélisation de la machine asynchrone sera faite dans le contexte habituel d'hypothèses simplificatrices suivantes [12] :

- L'entrefer constant.
- L'effet des encoches négligé.
- La distribution spatiale sinusoïdale des forces magnétomotrices d'entrefer.
- Le circuit magnétique non saturé et à perméabilité constante.
- Les pertes ferromagnétiques négligeables.
- L'influence de l'effet de peau et de l'échauffement sur les caractéristiques, ne sont pas pris en compte.

- La constante des inductances propres
- La structure principale de la machine asynchrone est représentée par la figure (II.1), elle est composée de six enroulements dans l'espace électrique, les axes statoriques sont décalés entre eux d'un angle  $(2\pi/3)$ , ainsi que les axes rotoriques. L'angle  $\theta$  représente l'angle entre l'axe de la phase rotorique de référence ( $R_a$ ) et l'axe fixe de la phase statorique de référence ( $S_a$ ). Les flux sont considérés positifs selon le sens des axes des enroulements de la machine asynchrone.



Figure(II.1): Représentation des enroulements de la machine asynchrone triphasée dans l'espace électrique

### II.1.2. Modèle triphasé équivalent d'une machine asynchrone [12][13].

La machine peut être modélisée par les équations suivantes :

La loi de Faraday permet d'écrire :

$$V = R.I + \frac{d\Phi}{dt} \quad II.1$$

$$[U_s] = [R_s][I_s] + [P\Phi_s] \quad II.2$$

, cette notation est l'écriture condensée de :

$$\begin{bmatrix} U_{sa} \\ U_{sb} \\ U_{sc} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} R_s & 0 & 0 \\ 0 & R_s & 0 \\ 0 & 0 & R_s \end{bmatrix} \begin{bmatrix} i_{sa} \\ i_{sb} \\ i_{sc} \end{bmatrix} + P \frac{d}{dt} \begin{bmatrix} \Phi_{sa} \\ \Phi_{sb} \\ \Phi_{sc} \end{bmatrix} \quad II.3$$

$$[0] = [R_r][I_r] + [P\Phi_r] \quad II.4$$

Cette notation est l'écriture condensée de :

$$\begin{bmatrix} U_{ra} \\ U_{rb} \\ U_{rc} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} R_r & 0 & 0 \\ 0 & R_r & 0 \\ 0 & 0 & R_r \end{bmatrix} \begin{bmatrix} i_{ra} \\ i_{rb} \\ i_{rc} \end{bmatrix} + P \frac{d}{dt} \begin{bmatrix} \Phi_{ra} \\ \Phi_{rb} \\ \Phi_{rc} \end{bmatrix} \quad II.5$$

$$[\Phi_s] = ([M_{ss}] + [L_{sf}])[I_s] + [M_{sr}][I_r] \quad II.6$$

$$[\Phi_r] = [M_{rs}][I_s] + ([M_r] + [L_{rf}])[I_r] \quad II.7$$

Où

-P désigne opérateur différentiel

Les variables  $[U_s] = \begin{bmatrix} u_{sa} \\ u_{sb} \\ u_{sc} \end{bmatrix}$ ,  $[I_s] = \begin{bmatrix} i_{sa} \\ i_{sb} \\ i_{sc} \end{bmatrix}$ ,  $[\phi_s] = \begin{bmatrix} \Phi_{sa} \\ \Phi_{sb} \\ \Phi_{sc} \end{bmatrix}$  représentent les tensions, les courants, et les flux au stator respectivement.

Les variables  $[I_r] = \begin{bmatrix} i_{ra} \\ i_{rb} \\ i_{rc} \end{bmatrix}$ ,  $[\Phi_r] = \begin{bmatrix} \Phi_{ra} \\ \Phi_{rb} \\ \Phi_{rc} \end{bmatrix}$  représentent les courants, et les flux au rotor respectivement.

Les inductances sont données par les expressions suivantes :

$$[L_{sf}] = \begin{bmatrix} l_{sf} & 0 & 0 \\ 0 & l_{sf} & 0 \\ 0 & 0 & l_{sf} \end{bmatrix} \quad II.9$$

$$[M_{ss}] = M_s \begin{bmatrix} 1 & -1/2 & -1/2 \\ -1/2 & 1 & -1/2 \\ -1/2 & -1/2 & 1 \end{bmatrix} \quad II.10$$

$$[M_{sr}] = [M_{rs}]^t = M \begin{bmatrix} \cos(\theta) & \cos\left(\theta + \frac{2\pi}{3}\right) & \cos\left(\theta - \frac{2\pi}{3}\right) \\ \cos\left(\theta - \frac{2\pi}{3}\right) & \cos(\theta) & \cos\left(\theta + \frac{2\pi}{3}\right) \\ \cos\left(\theta + \frac{2\pi}{3}\right) & \cos\left(\theta - \frac{2\pi}{3}\right) & \cos(\theta) \end{bmatrix} \quad II.11$$

Avec :

La résistance de chaque phase statorique est proportionnelle au nombre de spires utiles. On écrit alors la matrice des résistances statoriques  $[R_s]$  est donnée par :

$$[R_s] = R_s \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad II.12$$

Lorsque le moteur tourne, les coefficients  $[M_{sr}]$  et  $[M_{rs}]$  ne sont pas constante, ils varient en fonction de l'angle  $\theta$  position angulaire entre le rotor et le stator.

Ceci rend le modèle triphasé équivalent difficilement utilisable tant en commande qu'en surveillance, dans l'approche qui suit une transformation mathématique est appliquée sur les équations du modèle précédent afin de rendre l'ensemble calculable en ligne.

### II.1.3. Définitions de la matrice de transformation

Le champ magnétique créé par le courant circulant au rotor a la même pulsation que celui créé par le courant circulant au stator. Ainsi, le champ magnétique créé par un courant statorique fictif. La relation entre ce courant fictif et le courant rotorique est donné par une transformation mathématique. En utilisant cette transformation l'ensemble des variables du rotor (flux et courants) peuvent être changées en nouvelle variables ayant la même pulsation que les variables du stator. Ainsi, tous les paramètres du modèle seront indépendants de la position angulaire  $\theta$  la transformation est donné par la matrice suivante :

$$[T] = \begin{bmatrix} \cos(\theta) + \frac{1}{2} & \cos\left(\theta + \frac{2\pi}{3}\right) + \frac{1}{2} & \cos\left(\theta - \frac{2\pi}{3}\right) + \frac{1}{2} \\ \cos\left(\theta - \frac{2\pi}{3}\right) + \frac{1}{2} & \cos(\theta) + \frac{1}{2} & \cos\left(\theta + \frac{2\pi}{3}\right) + \frac{1}{2} \\ \cos\left(\theta + \frac{2\pi}{3}\right) + \frac{1}{2} & \cos\left(\theta - \frac{2\pi}{3}\right) + \frac{1}{2} & \cos(\theta) + \frac{1}{2} \end{bmatrix} \quad II.13$$

On montre facilement que cette matrice est orthogonale :

$$[T]^{-1} = [T]^T \quad II.14$$

#### II.1.4. Transformation des équations du modèle triphasé

Considérant l'équation (II.6) en introduisant la matrice [T] comme suit:

$$[\Phi_s] = [M_s][I_s] + [M_{sr}][I_r] = [M_s][I_s] + [M_{sr}][T]^{-1}[T][I_r] \quad II.15$$

Ceci conduit à :

$$[\Phi_s] = [M_s][I_s] + [M_{sr}^s][I_r^s] \quad II.16$$

Où

$$[M_{rs}^s] = [M_{rs}][T]^{-1} \quad II.17$$

$$[I_r^s] = [I_r][T] \quad II.18$$

Avec

$$[M_{sr}^s] = \begin{bmatrix} M & -M/2 & -M/2 \\ -M/2 & M & -M/2 \\ -M/2 & -M/2 & M \end{bmatrix} \quad II.19$$

En multipliant à gauche par [T] l'équation (II.7) on obtient :

$$[\Phi_r^s] = [M_{rs}^s][I_s] + [M_r^s][I_r^s] \quad II.20$$

Où

$$\begin{cases} [M_{rs}^s] = [M_{rs}] [T] \\ [M_r^s] = [T] [M_r] [T]^{-1} \\ [\Phi_r^s] = [\Phi_r] [T] \\ [I_r^s] = [I_r] [T] \end{cases} \quad II.21$$

On peut facilement montrer que les deux propriétés suivantes satisfaites

$$[M_{rs}^s] = [M_{sr}^s]^T \quad II.22$$

$$[M_r^s] = [M_r] \quad II.23$$

Considérant maintenant l'équation (II.4)

$$[0] = [R_r] [I_r] + P [\Phi_r]$$

De manière équivalent, on à

$$[0] = [T]^{-1} [R_r] [I_r] [T] + P ([T] [T]^{-1} [\Phi_r]) \quad II.24$$

En multipliant à gauche par [T] on obtient

$$[0] = [T]^{-1} [R_r] [I_r] [T] [T] + [T] P ([T] [T]^{-1} [\Phi_r]) \quad II.25$$

$$[0] = [R_r] [I_r^s] + [T] P ([T]^{-1}) [\Phi_r^s] + P [\Phi_r^s] \quad II.26$$

Cette équation peut être écrite sous la forme

$$[0] = [R_r] [I_r^s] + (1-S) W_N [K_{rs}^{sp}] P [\Phi_r^s] \quad II.27$$

Où

$$[K_{rs}^{sp}] = \begin{bmatrix} 0 & \sqrt{3}/3 & -\sqrt{3}/3 \\ -\sqrt{3}/3 & 0 & \sqrt{3}/3 \\ \sqrt{3}/3 & -\sqrt{3}/3 & 0 \end{bmatrix} \quad II.28$$

Les équations II.2, II.27, II.16, II.20 représentent un nouveau modèle triphasé dans lequel tous les paramètres peuvent être calculés en ligne.

$$[U_s] = [R_s] [I_s] + [P \Phi_s]$$

$$[0] = [R_r][I_r^s] + (1-S)W_N [K_{rs}^{sp}] P [\Phi_r^s]$$

$$[\Phi_s] = [M_s][I_s] + [M_{sr}^s][I_r^s]$$

$$[\Phi_r^s] = [M_{rs}^s][I_s] + [M_r^s][I_r^s]$$

Puisque  $[M_r^s]$  est une matrice de rang plein, elle est inversible. A partir de II.20 nous obtenons

$$[I_r^s] = [M_r^s]^{-1} ([\Phi_r^s] - [M_{rs}^s][I_s]) \quad II.29$$

En substituant cette expression dans l'équation II.27 on obtient

$$[0] = [R_r][M_r^s]^{-1} ([\Phi_r^s] - [M_{rs}^s][I_s]) + (1-S)W_N [K_{rs}^{sp}] [\Phi_r^s] + P [\Phi_r^s] \quad II.30$$

Ce qui est équivalent

$$[0] = ([R_r][M_r^s]^{-1} + (1-S)W_N [K_{rs}^{sp}]) [\Phi_r^s] - [R_r][M_r^s]^{-1} [M_{rs}^s][I_s] + P [\Phi_r^s] \quad II.31$$

En substituant l'expression de l'équation II.29 dans l'équation II.16 on obtient

$$[\Phi_r] = [M_s][I_s] + [M_r^s]^{-1} [M_{rs}^s] ([\Phi_r^s] - [M_{rs}^s][I_s]) \quad II.32$$

Qui est équivalent à

$$[\Phi_s] = ([M_s] + [M_r^s]^{-1} [M_{rs}^s][M_{rs}^s]) [I_s] + [M_r^s]^{-1} [M_{sr}^s] [\Phi_r^s] \quad II.33$$

En utilisant II.33 et II.2 il vient:

$$[U_s] = [R_s][I_s] + P([M_s] - [M_r^s]^{-1} [M_{sr}^s][\Phi_r^s]) [I_s] + [M_r^s]^{-1} [M_{sr}^s] [\Phi_r^s] \quad II.34$$

Ce qui donne

$$[U_s] = [R_s][I_s] + P([M_s] - [M_r^s]^{-1} [M_{sr}^s]) [I_s] + [M_r^s]^{-1} [M_{sr}^s] [\Phi_r^s] \quad II.35$$

À partir d'II.31 on obtient:

$$P [\Phi_r^s] = [R_r][M_r^s]^{-1} [M_{sr}^s][I_s] + ([R_r][M_r^s]^{-1} (1-S)W_N [K_{rs}^{sp}]) [\Phi_r^s] \quad II.36$$

Ce qui donne en utilisant II.35 et II.36

$$\begin{aligned}
[U_s] &= [R_s][I_s] + P([M_s] + [M_{rs}^s][M_r^s]^{-1}([R_r][M_r^s]^{-1}[M_{rs}^s])[I_s]) \\
&\quad - [M_r^s]^{-1}[M_{rs}^s]([R_r][M_r^s]^{-1} + (1-S)W_N[K_{rs}^s])[\Phi_r^s] - [M_r^s]^{-1}[M_{sr}^s][M_{rs}^s])P[I_s]
\end{aligned} \tag{II.37}$$

Ce qui conduit à :

$$\begin{aligned}
\Gamma P[I_s] &= ([U_s] - ([R_s] + [M_{sr}^s][M_r^s]^{-1}[R_r][M_r^s]^{-1}[M_{rs}^s])[I_s]) + [M_{sr}^s][M_r^s]^{-1}([R_r][M_r^s]^{-1} \\
&\quad + (1-S)W_N[K_{rs}^{sp}])[\Phi_r^s]
\end{aligned} \tag{II.38}$$

Avec :

$$\Gamma = [M_s] - [M_{sr}^s][M_r^s]^{-1}[M_{rs}^s] \tag{II.39}$$

Finalement; nous obtenons

$$\begin{aligned}
P[I_s] &= \Gamma^{-1}([U_s] - ([R_s] + [M_{sr}^s][M_r^s]^{-1}[R_r][M_r^s]^{-1}[M_{rs}^s])[I_s]) \\
&\quad + \Gamma^{-1}[M_{sr}^s][M_r^s]^{-1}([R_r][M_r^s]^{-1} + (1-S)W_N[K_{rs}^{sp}])[\Phi_r^s]
\end{aligned} \tag{II.40}$$

Les équations II.36 et II.40 représentent le modèle triphasé de la machine asynchrone.

### III.1.5. Equations mécaniques

L'équation de mouvement est donnée par:

$$J \frac{d}{dt} \Omega + f \Omega = C_e - C_r \tag{II.41}$$

Le couple est donné par l'expression suivante :

$$C_e = P \frac{M_{sr}}{L_r} [(i_{sb} \Phi_{rc} - i_{sc} \Phi_{rb}) - (i_{sa} \Phi_{rc} - i_{sc} \Phi_{ra}) + (i_{sa} \Phi_{rb} - i_{sb} \Phi_{rb})] \tag{II.42}$$

### II.1.6. Simulation de la machine asynchrone dans le régime normal :

#### Mise en équation d'état

Une caractéristique importante du modèle est la nature des variables d'état. Dans la plupart des modèles de machines électriques, les variables d'état sont généralement les courants circulant dans les divers enroulements de la machine ou les flux de ces mêmes enroulements. Le choix devrait être dicté par le système d'équations qui requiert le moins de calcul.

Pour une machine asynchrone triphasée alimentée en tension, les tensions statoriques  $u_{sa}, u_{sb}, u_{sc}$  représentent les variables de commande, et nous considérons les courants statoriques

$i_{sa}, i_{sb}, i_{sc}$ , les flux rotoriques  $\Phi_{ra}, \Phi_{rb}, \Phi_{rc}$  et la pulsation mécanique  $\Omega$  comme variables d'état, le couple résistant «  $C_r$  » étant comme perturbation.

On cherche à obtenir un système d'équation écrit sous forme :

$$\begin{cases} \dot{X} = AX + BU \\ Y = CX \end{cases} \quad (II.43)$$

$[A]$  : Matrice d'évolution.

$[B]$  : Matrice de commande.

$[U] = [u_{sa} \ u_{sb} \ u_{sc} \ 0 \ 0 \ 0]^T$  : Vecteur de commande.

En choisissant les variables d'état  $i_{sabc}, \Phi_{rabc}$  on obtient le vecteur  $[X]$  :

$$[X] = [i_{sa} \ i_{sb} \ i_{sc} \ \Phi_{ra} \ \Phi_{rb} \ \Phi_{rc}]^T$$

Après arrangement des équations, on obtient le système suivant :

$$\begin{cases} \frac{di_{sa}}{dt} = K_{A1}i_{sa} + K_{A2}i_{sb} + K_{A3}i_{sc} + G_{A1}\Phi_{ra} + G_{A2}\Phi_{rb} - G_{A3}\Phi_{rc} + V_{A1}U_{sa} + V_{A2}U_{sb} + V_{A3}U_{sc} \\ \frac{di_{sb}}{dt} = K_{B1}i_{sa} + K_{B2}i_{sb} + K_{B3}i_{sc} - G_{B1}\Phi_{ra} + G_{B2}\Phi_{rb} + G_{B3}\Phi_{rc} + V_{B1}U_{sa} + V_{B2}U_{sb} + V_{B3}U_{sc} \\ \frac{di_{sc}}{dt} = K_{C1}i_{sa} + K_{C2}i_{sb} + K_{C3}i_{sc} + G_{C1}\Phi_{ra} - G_{C2}\Phi_{rb} + G_{C3}\Phi_{rb} + V_{C1}U_{sa} + V_{C2}U_{sb} + V_{C3}U_{sc} \\ \frac{d\Phi_{ra}}{dt} = f_{A1}i_{sa} - f_{A2}i_{sb} - f_{A3}i_{sc} - H_{A1}\Phi_{ra} - H_{A2}\Phi_{rb} - H_{A3}\Phi_{rc} \\ \frac{d\Phi_{rb}}{dt} = f_{B1}i_{sa} + f_{B2}i_{sb} - f_{B3}i_{sc} - H_{B1}\Phi_{ra} - H_{B2}\Phi_{rb} - H_{B3}\Phi_{rc} \\ \frac{d\Phi_{rc}}{dt} = f_{C1}i_{sa} - f_{C2}i_{sb} + f_{C3}i_{sc} - H_{C1}\Phi_{ra} - H_{C2}\Phi_{rb} - H_{C3}\Phi_{rc} \end{cases}$$

Par identification :

$$A = \begin{bmatrix} K_{A1} & K_{A2} & K_{A3} & G_{A1} & G_{A2} & G_{A3} \\ K_{B1} & K_{B2} & K_{B3} & G_{B1} & G_{B2} & G_{B3} \\ K_{C1} & K_{C2} & K_{C3} & G_{C1} & G_{C2} & G_{C3} \\ f_{A1} & f_{A2} & f_{A3} & H_{A1} & H_{A2} & H_{A3} \\ f_{B1} & f_{B2} & f_{B3} & H_{B1} & H_{B2} & H_{B3} \\ f_{C1} & f_{C2} & f_{C3} & H_{C1} & H_{C2} & H_{C3} \end{bmatrix}, \quad B = \begin{bmatrix} V_{A1} & V_{A2} & V_{A3} \\ V_{B1} & V_{B2} & V_{B3} \\ V_{C1} & V_{C2} & V_{C3} \end{bmatrix}, \quad X = \begin{bmatrix} i_{sa} \\ i_{sb} \\ i_{sc} \\ \Phi_{ra} \\ \Phi_{rb} \\ \Phi_{rc} \end{bmatrix}, \quad U = \begin{bmatrix} u_{sa} \\ u_{sb} \\ u_{sc} \end{bmatrix}$$

Les équations de ce modèle et le paramètre sont représentées dans l'annexe (B).

### II.1.6. Résultats de simulation

La machine asynchrone est alimenté directement par le réseau triphasé 220/380V, de fréquence : 50Hz, cette machine démarre à vide, afin d'appliqué un couple résistant de ( $Cr = 3.5 \text{ N.m}$ ) à ( $t= 1\text{sec}$ ).

Nous illustrons la vitesse de rotation du moteur exprimé en ( $\text{rad/s}$ ), le couple électromagnétique ainsi que le courant statorique et le flux rotorique.

Les paramètres de la machine asynchrone sont indiqués en Annexe.

Les résultats de simulation sont représentés par la figure (II.2).

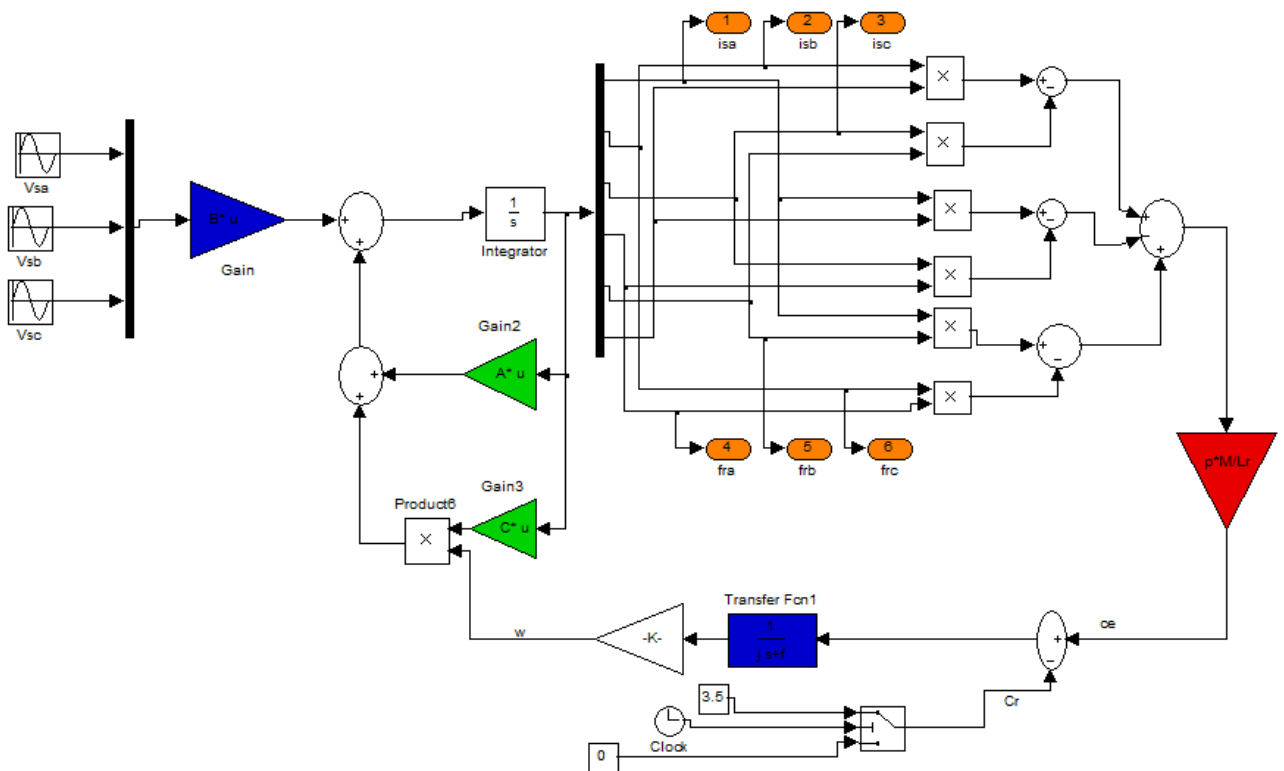


Figure (II.2) : Le schéma bloc de simulation du modèle de la machine asynchrone

## II.1.7. Résultats de simulation

Dans la figure II.2 qui suit on présente les résultats de la simulation, où on a associé l'onduleur avec la machine

A l'instant  $t = 1$  s nous avons appliqué un couple résistant  $C_r = 3.5$  N.m

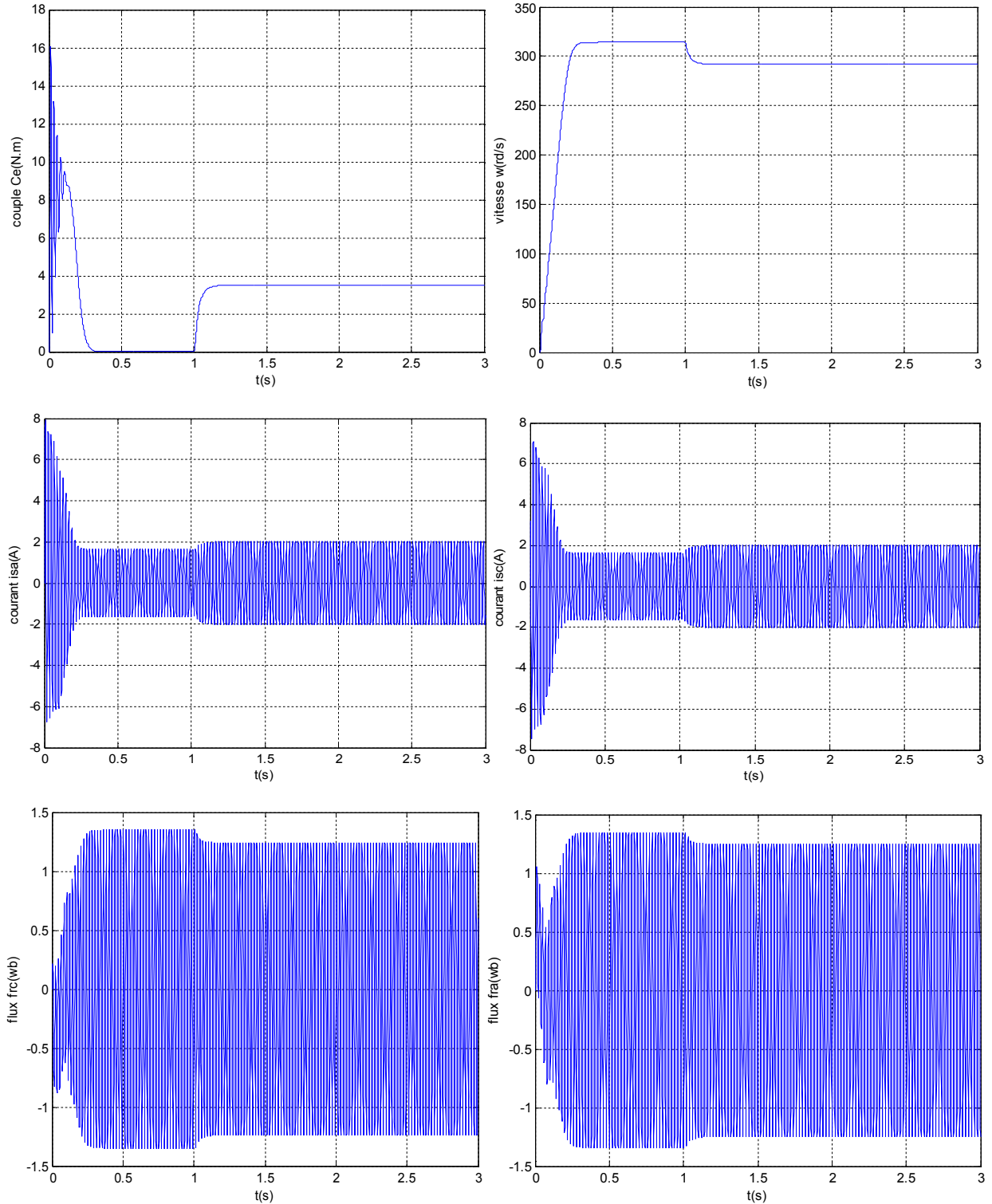


Figure (II.3) : Résultats de simulation d'un démarrage direct de la MAS à vide alimentée en tension, suivie d'une application d'une perturbation de ( $C_r=3.5$  N.m) à ( $t=1$ sec).

- (a) Réponse du couple électromagnétique  $C_{em}$  (N.m).
- (b) Réponse de la vitesse de rotation  $\omega$  (rad/sec).
- (c) Réponse du courant statorique  $i_{sa}$  (A).
- (d) Réponse du courant statorique  $i_{sc}$  (A).
- (e) Réponse du flux rotorique  $\Phi_{ra}$  (Wb).
- (f) Réponse du flux rotorique  $\Phi_{rc}$  (Wb).

### II.1.8. Interprétations des résultats

Lors de démarrage, un fort appel de courant où il présente des dépassements excessifs mais il disparaît rapidement au bout de quelques alternances pour donner lieu à une forme sinusoïdale d'amplitude constante, après l'application de la charge on constate une légère augmentation du courant. Ce dernier est nécessaire à développer un fort couple aux premiers instants de démarrage. Ce couple tend vers zéro, après l'application de la charge, il atteint la valeur de couple résistant. On constate qu'au démarrage, il y a un accroissement presque linéaire de l'allure de la vitesse, celle-ci tend vers un régime établi. L'application de la charge, ( $C_r = 3.5 \text{ N.m}$ ) provoque une diminution de la vitesse de rotation de même pour le flux rotorique

### II.2. Modélisation de la machine en régime anormal

Comme il est introduit dans le chapitre précédent, un des défauts les plus communs dans les machines électriques est le défaut entre spires dans le bobinage du stator. Dans cette partie, nous nous intéressons à la modélisation et l'étude de défauts entre spires de l'enroulement statorique. Un défaut entre spires indique dégradation de l'isolant entre deux spires d'un enroulement d'une même phase du stator. Le défaut d'isolation est modélisé par une résistance connectant deux points de la bobine, sa valeur dépend de la gravité du défaut. Le bobinage du stator de la machine avec défaut entre spires est représenté dans la figure (II.4).

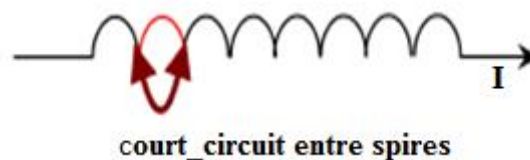


Figure (II.4). court-circuit entre les spires

Soit  $N_s$  le nombre de spires en régime sain de la machine asynchrone. Un court-circuit statorique conduira à une diminution dans le nombre de spires de chaque phase statorique.

On définit les coefficients de court –circuit suivants :

Coefficient de court –circuit relatif à la 1<sup>ère</sup> phase statorique :  $k_{sa} = \frac{N_{cc1}}{N_s}$

Coefficient de court –circuit relatif à la 2<sup>ème</sup> phase statorique :  $k_{sb} = \frac{N_{cc2}}{N_s}$

Coefficient de court –circuit relatif à la 3<sup>ème</sup> phase statorique :  $k_{sc} = \frac{N_{cc3}}{N_s}$

Le nombre de spires en court –circuit :  $N_{cc}$

Le nombre de spires utiles pour les trois phases statoriques, est alors donné par :

$$N_1 = N_s - N_{cc1} = (1 - k_{sa})N_s = f_{sa}N_s$$

$$N_2 = N_s - N_{cc2} = (1 - k_{sb})N_s = f_{sb}N_s$$

$$N_3 = N_s - N_{cc3} = (1 - k_{sc})N_s = f_{sc}N_s$$

Les matrices  $[R_s]$ ,  $[M_{sr}]$ ,  $[M_{rs}]$ ,  $[M_{ss}]$  et  $[L_{sf}]$  dépendent des trois coefficients  $f_{sa}$ ,  $f_{sb}$ ,  $f_{sc}$

Les inductances sont données par les expressions suivantes :

$$[L_{sf}] = \begin{bmatrix} f_{sa}^2 L_{sf} & 0 & 0 \\ 0 & f_{sb}^2 L_{sf} & 0 \\ 0 & 0 & f_{sc}^2 L_{sf} \end{bmatrix}, \quad [M_{ss}] = M_s \begin{bmatrix} f_{sa}^2 & -f_{sa}f_{sb}/2 & -f_{sa}f_{sc}/2 \\ -f_{sa}f_{sb}/2 & f_{sb}^2 & -f_{sa}f_{sb}/2 \\ -f_{sa}f_{sc}/2 & -f_{sa}f_{sb}/2 & f_{sc}^2 \end{bmatrix}$$

$$[M_{sr}] = M \begin{bmatrix} f_{sa} \cos \theta & -f_{sa} \cos(\theta + 2\pi/3) & f_{sa} \cos(\theta - 2\pi/3) \\ f_{sb} \cos(\theta - 2\pi/3) & f_{sb} \cos \theta & f_{sb} \cos(\theta + 2\pi/3) \\ f_{sc} \cos(\theta + 2\pi/3) & f_{sc} \cos(\theta - 2\pi/3) & f_{sc} \cos \theta \end{bmatrix}$$

Avec :

$$[M_{sr}] = [M_{rs}]^T$$

La matrice des résistances statoriques  $[R_s]$  est donnée par :

$$[R_s] = R_s \begin{bmatrix} f_{sa} & 0 & 0 \\ 0 & f_{sb} & 0 \\ 0 & 0 & f_{sc} \end{bmatrix}$$

On remplace les matrices  $[R_s]$ ,  $[M_{ss}]$ ,  $[L_{sf}]$ ,  $[M_{rs}]$  et  $[M_{sr}]$  dans le modèle triphasé de la machine asynchrone (III.28), (III.32), (III.33) et (III.34) obtenu dans le troisième chapitre on obtient :

$$P[\Phi_r^s] = [R_s][M_r^s]^{-1}[M_{sr}^s][I_s] + \left( [R_r][M_r^s]^{-1} (1-S)W_N[K_{rs}^{sp}] \right) [\Phi_r^s]$$

$$P[I_s] = \Gamma^{-1}([U_s] - ([R_s] + [M_{sr}^s][M_r^s]^{-1}[R_r][M_r^s]^{-1}[M_{rs}^s])[I_s]) + \Gamma^{-1}[M_{sr}^s][M_r^s]^{-1}([R_r][M_r^s]^{-1} + (1-S)W_N[K_{rs}^{sp}])[\Phi_r^s]$$

Equations mécaniques :

$$J \frac{d}{dt} \Omega + f \Omega = C_e - C_r$$

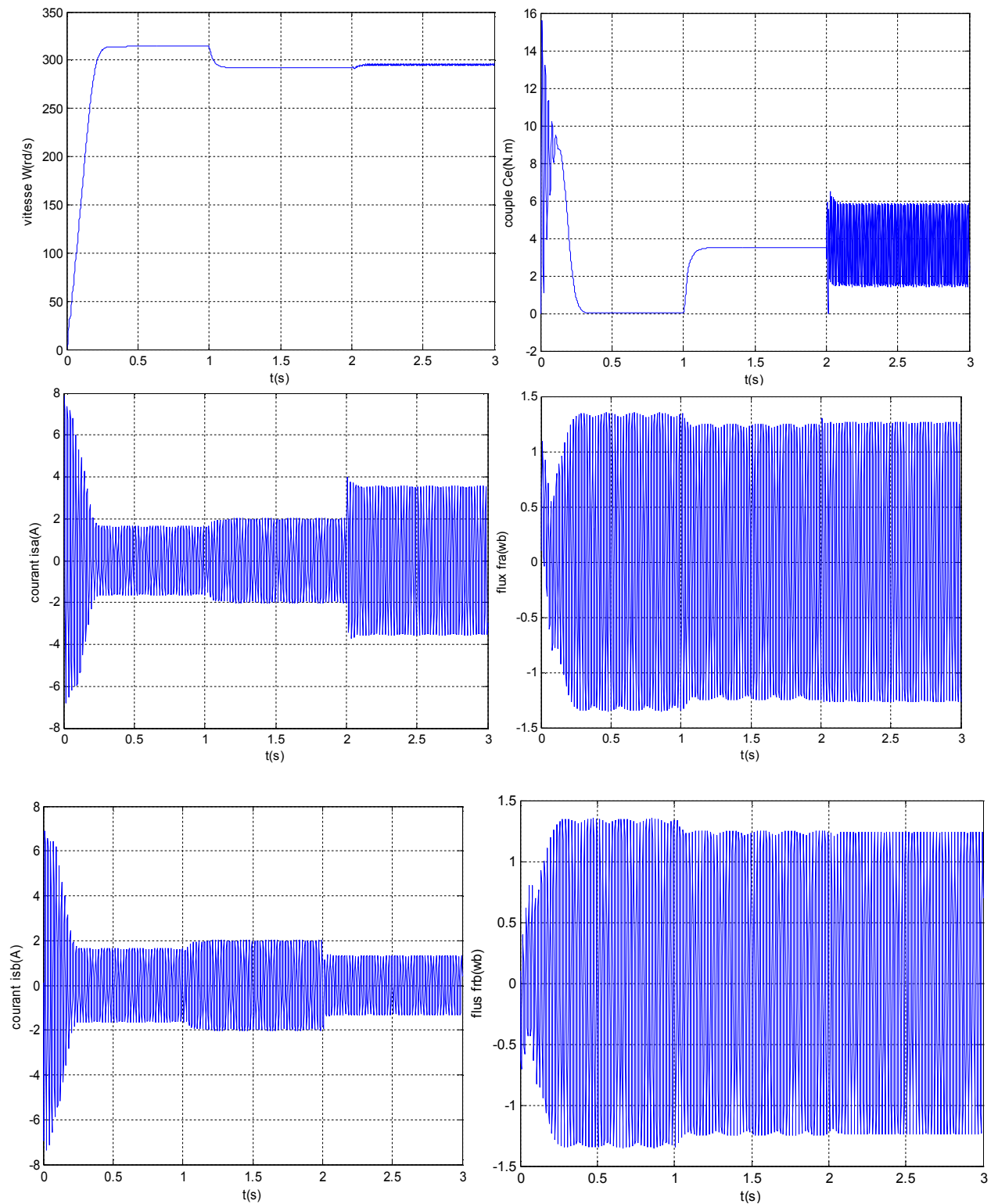
L'équation de mouvement est donnée par:

$$C_e = \frac{pM_{sr}}{l_r} [(i_{sb}\Phi_{rc} - i_{sc}\Phi_{rb}) - (i_{sa}\Phi_{rc} - i_{sc}\Phi_{ra}) + (i_{sa}\Phi_{rb} - i_{sb}\Phi_{rb})]$$

Les équations (II.1), (II.2), (II.3) et (II.4) représentent le modèle de la machine asynchrone en présence de défaillances au stator.

### II.2.1. Simulation de la machine asynchrone dans les régimes anormaux de fonctionnement

#### a. Court-circuit entre 25% spires de la première phase :



Figure(II.5) : Résultats de simulation pour un court-circuit entre 25% spires de la phase

### b. Coupure d'une phase :

La figure (IV.4) représente les résultats de simulation, où nous avons appliqué la commande vectorielle sur convertisseur-machine en présence d'une coupure d'une phase à l'instant  $t=2s$  précédé par l'application de la charge ( $t=1s$ ).

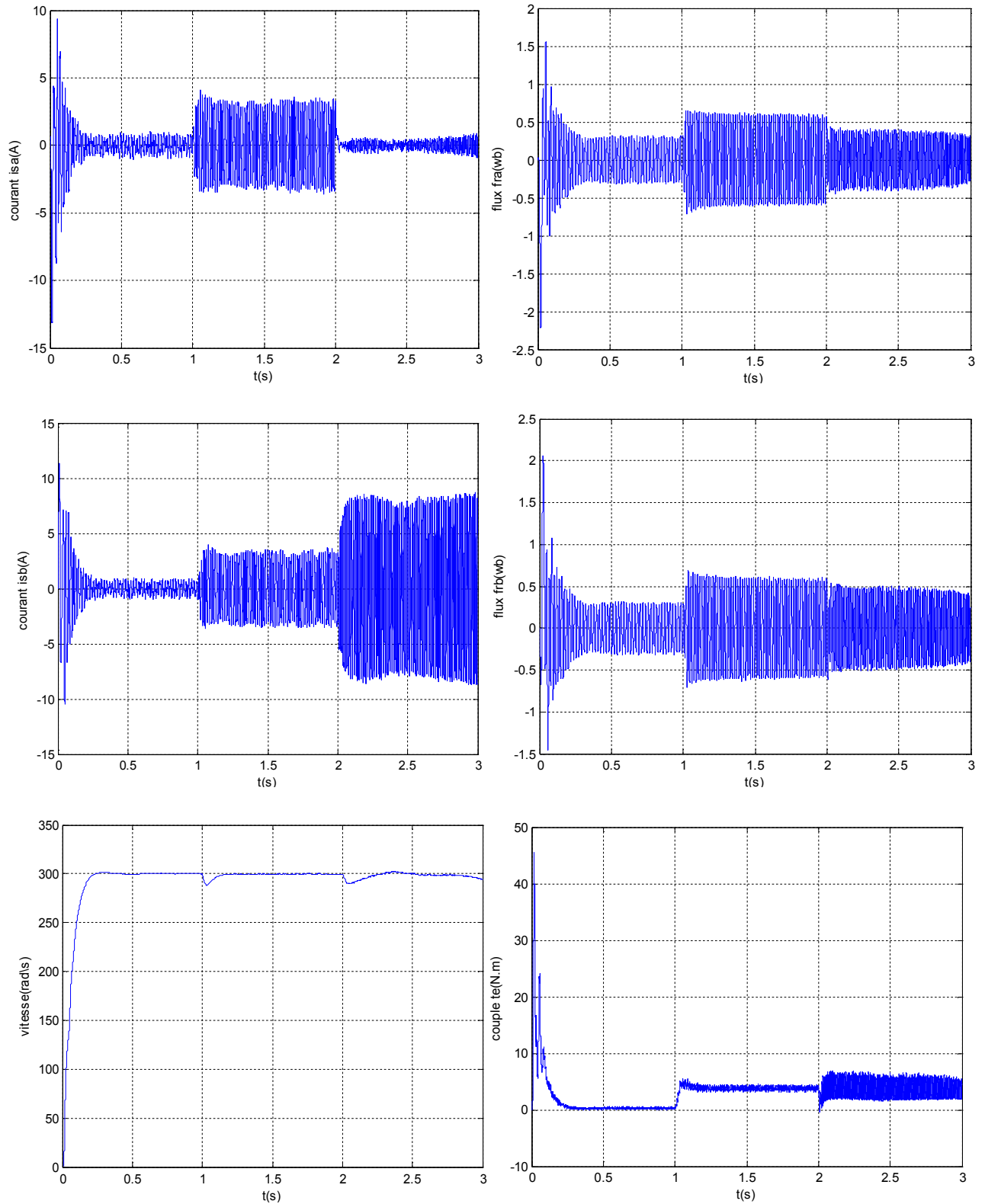


Figure (II.6) : Résultats de simulation la machine en présence de défaut (coupure de la phase).

## II.2.2. Interprétations des résultats

### a. Court-circuit entre spires

Un échelon de couple de 3.5 N.m est appliqué à  $t = 1$ s nous observons une petite augmentation de la vitesse. Le régime ainsi établi, à  $t = 2$ s nous avons appliqué un premier défaut de court-circuit entre 25% spires. Dans ce cas, on constate une chute de la vitesse, puis elle se stabilise à la valeur de référence (300rad/s).

Le couple électromagnétique de la machine asynchrone en situation de défauts de court –circuit statoriques a une valeur presque similaire à celle en régime normal.

On constate une augmentation pour le courant  $i_{sa}$  lors de l'application des deux courts-circuits.

### b. Coupure d'une phase

La vitesse atteint sa valeur de référence (300rad/s), lors de l'application d'une charge ( $t=1$ s) ainsi qu'après une chute due à la coupure d'une phase à l'instant  $t=2$ s.

Pour le couple électromagnétique, atteint au démarrage une valeur (20N.m), puis compense le couple de charge (3.5N.m) et augmente à l' instant où on applique une coupure de la première phase.

On remarque aussi une augmentation de l'amplitude des deux courants  $i_{sb}$ ,  $i_{sc}$  lors de la coupure de la première phase.

## II.3. Conclusion

Dans ce chapitre, le modèle triphasé sous sa forme classique de la machine asynchrone a été obtenu. Chose qui permet de représenter le comportement des machines asynchrones que le stator soit équilibré ou pas et de simuler les défauts statoriques tels que la coupure d'une phase et les court circuits entre spires d'une même phase. Par contre pour le modèle biphasé même s'il est plus rapide à cause de la simplicité de ses équations on ne peut pas simuler les défauts qui apparaissent dans le stator. Enfin, afin d'utiliser les signatures obtenues et qui sont représentatifs des défauts pour la détection des défauts de la machine par la technique des Réseaux de neurones, le troisième chapitre sera consacré à l'étude de cette technique.

## 1. INTRODUCTION :

Les techniques de surveillance par réseaux de neurones sont fondées sur l'existence d'une base des données d'apprentissage et non sur l'existence d'un modèle formel ou fonctionnel de l'équipement. Le principe d'une telle application est de trouver une relation entre une (des) variable(s) d'entrée et une (des) variable(s) de sortie. Les variables d'entrée peuvent être quantifiables (sorties capteurs) ou qualifiables (observations faites par l'opérateur). A partir de ces variables d'entrée, le réseau de neurones donne une réponse caractérisée par deux types de variables de sortie. Des variables de sortie réelles qui peuvent représenter une sortie estimée d'un paramètre de surveillance ou des variables de sortie catégorielles qui représentent l'état de fonctionnement de l'équipement. Selon la nature de ces données en sortie, il existe deux types d'applications. Le premier type est une application d'approximation de fonctions, qui consiste à estimer une sortie mesurée de l'équipement.

Dans ce cas, les réseaux de neurones sont utilisés en tant qu'approximateur universel et fournissent un modèle sous la forme d'une boîte noire du système. Ceci n'est autre que de l'identification des processus industriels. Comme pour les méthodes à base de modèle, la comparaison de la sortie du réseau de neurones avec celle du Système réel donne un résidu qui servira à déterminer si le système est dans un état défaillant ou pas. Le deuxième type d'application considère le problème de la surveillance comme un problème de reconnaissance des formes. La forme à reconnaître est caractérisée par l'ensemble des données (quantifiables et –ou – qualifiables) et les classes d'appartenance représentant les différents modes (de fonctionnement ou de dysfonctionnement). Le réseau de neurones doit nous fournir une réponse qui nous renseigne sur l'état de fonctionnement de l'équipement. Il assure la fonction de détection (fonctionnement normal ou pas) et la fonction de diagnostic (reconnaître un mode de défaillance) [08]

- Premièrement une phase de traitement de signal durant laquelle il faut prétraiter le signal reçu, puis en extraire les informations nécessaires afin d'obtenir un signal directement représentatif du comportement du système électromécanique pour tous les cas étudiés (voir dans les chapitre précédents: les caractéristiques obtenues dans les cas des régimes de fonctionnements normaux et anormaux).
- Deuxièmement, une phase de classification des données fournies par la phase précédente en vue d'identifier le type et la cause de la défaillance (détection[24])

A cet effet, ce chapitre est consacré à l'élaboration du système automatique du diagnostic des défaillances de la MAS; en construisant le bloc de RNA qui est la partie principale du sous-système d'interprétation de l'information et par la suite les sorties de ce bloc seront testées par le système d'aide à décision, qui va délivrer un protocole de maintenance sur lequel on trouvera le type et les causes du défaut, le lieu de son apparition (localisation) et les remèdes possibles pour l'éliminer (ou l'isoler).

### IV.1.L'architecture du système automatique de diagnostic des défaillances

L'architecture interne du système automatique de diagnostic des défaillances, se compose de deux sous systèmes :

- Un sous-système d'acquisition, de conversion et de traitement de l'information (**SACI**) ;
- Un sous-système d'interprétation de l'information

#### IV.1.1. Sous-système d'acquisition, de Conversion et de traitement de l'information (SACI) :

Le sous-système SACI comporte une chaîne de mesure des capteurs  $C_1, C_2, C_3, \dots, C_n$  des conditionneurs de signaux  $k_1, k_2, k_3, \dots, k_n$ , un multiplexeur, un filtre anti-repliement (**FAR**), un convertisseur analogique-numérique (**CAN**) et un module de traitement d'information réalisé à base d'un logiciel spectrale.

Le contrôle de l'état technique des machines synchrones est effectué par les capteurs de vibrations et de grandeurs électriques (tension, courant,...). Les signaux  $U_1(t)$ ,  $U_2(t)$ ,...,  $U_n(t)$  des sorties des capteurs à travers les conditionneurs parviennent à l'entrée du filtre anti-repliement à travers le multiplexeur temporel.

Le filtre **FAR** permet de limiter la bande passante des signaux avant l'échantillonnage par le convertisseur Analogique-Numérique (CAN) à 8 bits pour éviter le repliement à partir des signaux digitaux  $U_1(t)$ ,  $U_2(t)$ ,...,  $U_n(t)$ , du CAN.

L'analyse spectrale du signal est réalisée à l'aide du module de traitement d'information (MTI) pour diminuer l'erreur de troncature causée par la limitation de la bande passante et la non-périodicité des  $U_1(t)$ ,  $U_2(t)$ ,...,  $U_n(t)$

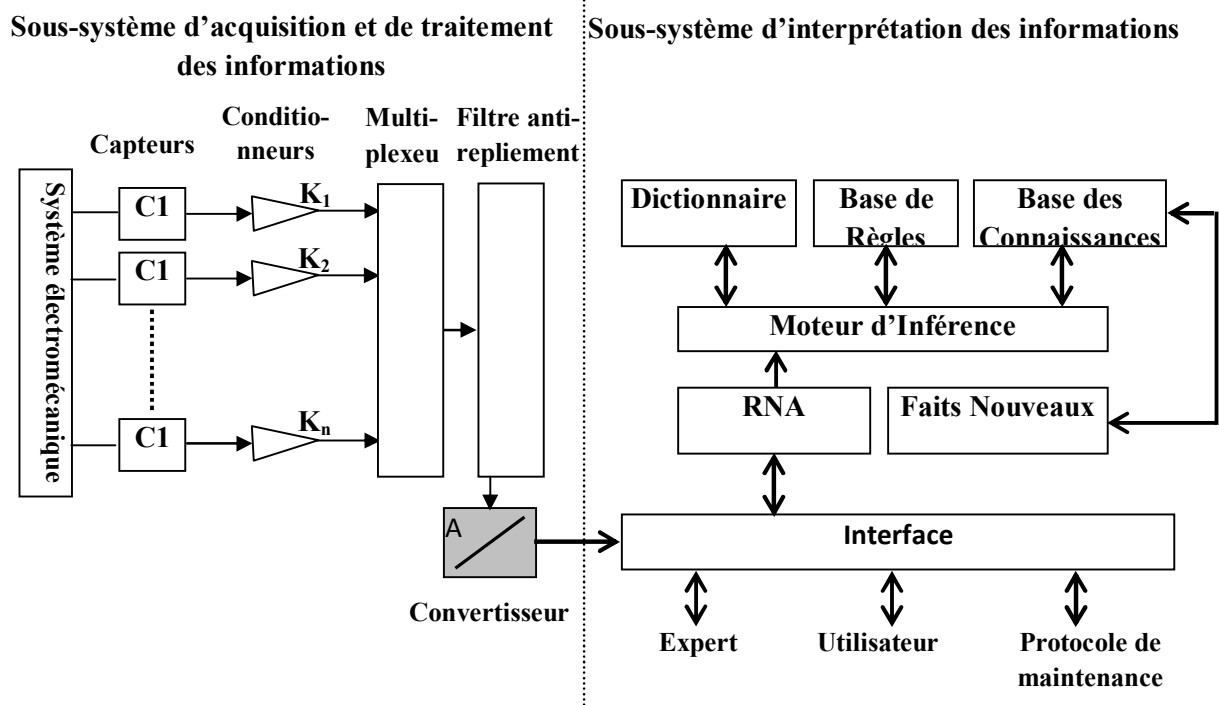


Figure IV. 1 Architecture du système automatique de diagnostic des anomalies[18]

#### IV.1.1.a. Les capteurs :

Le contrôle de l'état technique d'une machine synchrone est effectué par les capteurs et pour cela, on mesure les grandeurs électriques (tension, courant,...) et les grandeurs mécaniques (vitesse, couple,...).

Ces grandeurs sont représentées sous la forme des signaux d'informations.

#### IV.2.1.b. La conversion et le multiplexage :

L'agencement d'un système de mesure autour d'un ordinateur dépend largement des interfaces dont celui-ci est doté au départ.

L'utilisation d'un ordinateur, machine logique par excellence, requiert toujours une conversion préalable de tous les signaux analogiques à traiter en signaux digitaux (Conversion A/N).

Réciproquement, les résultats fournis sont souvent reconvertis en signaux analogiques (Conversion N/A), lorsqu'il s'agit par exemple de contrôler un processus.

D'autre part, l'ordinateur ne traitant en principe qu'un signal à la fois, il est nécessaire de lui accorder successivement, selon une séquence définie et généralement en haut vitesse tous les canaux de mesure. C'est la fonction multiplexeur du (MUX), de même tous les résultats obtenus séquentiellement par l'ordinateur sur le même canal de sortie doivent être dirigés vers les utilisateurs respectifs par un démultiplexeur (DEMUX).

Les performances générales du système de mesure dépend très largement des caractéristiques des convertisseurs A/N et N/A ainsi que des multiplexeurs et démultiplexeurs.

#### **IV.1.1.c. Le filtre anti-repliement :**

Aucun signal physique ne possède un spectre limité en fréquence. On s'en approche autant que possible en limitant l'amplitude des composants indésirables de fréquences supérieures à  $f/2$  en plaçant, en amont du convertisseur analogique-numérique, un filtre passe bas appelé dans ce cas filtre anti-repliement, la fonction de transfert de ce filtre détermine la fréquence d'échantillonnage minimum à utiliser pour une admise donnée .

#### **IV.2.1.d. Le convertisseur Analogique-Numérique :**

Avant d'être traité sur ordinateur, les grandeurs analogiques (en principe des tensions) doivent être transformées en nombres, c'est le rôle principal du convertisseur (A/N).

#### **IV.2.2. Sous-système d'interprétation de l'information :**

Le sous-système d'interprétation de l'information est composé de :

- Un modèle de traitement qui sert à la détection du défaut qui est défini par le système de réseau de neurones.
- Un système d'aide à la décision.

### **IV.3. ELABORATION DU MODULE D'INTERPRETATION DES INFORMATIONS :**

En réalité avant l'implantation du bloc RNA dans le sous-système d'interprétation des informations, on a passé par l'étude de réseaux de neurones avec des entées dont les architectures sont différentes. En effet, plusieurs études paramétriques ont été effectuées. Pour ce réseaux de neurones pour opter de choisir le réseau le plus convenable et le plus performant pour la mise en œuvre du système de diagnostic des défaillances ; il y avait en total quatre études principales :

- Choix des variables d'entrées ;
- Acquisition des données (base d'apprentissage) ;
- Construction du bloc de RNA ;
- Teste des réseaux sélectionnés sur de nouveaux exemples ;

#### **3.1. Choix des variables d'entrées de RNA (les paramètres représentatifs des défauts) :**

Pour le RNA, nous utilisons les valeurs efficaces des variables ( $I_a, I_b, I_c, V_a, V_b, V_c$  et  $w$ ), et après la phase de test.

#### **3.2. Acquisition des données (base d'apprentissage):**

Avant la construction du système du bloc RNA pour la détection des défaillances des systèmes électromécaniques (identification des signaux acquis à partir du (SACI). On doit tout d'abord accéder à la phase d'acquisition des données (base d'apprentissage) à partir de laquelle le RNA pourra apprendre. Celle-ci peut toujours se mettre sous forme de fichier ou de tableau (matrice). Ce dernier est constitué de classes de signatures (vecteurs), ou chacune des

classes représente un type de fonctionnement, et chaque signature (vecteur) est représentée par des valeurs efficaces.

Pour construire un modèle non paramétrique (RNA) décrivant le comportement du système électromécanique (fonctionnements normaux et anormaux) on doit construire une base de données très riches, qui possèdent beaucoup d'informations sur les défauts régimes de fonctionnement et en différentes formes (l'information sur un défaut doit être extrais d'une façon redondante). Pour réaliser cette dernière on à procéder comme suit :

- chacun des défauts a été simulé en régime normal (à vide).
- En régime en charge pour les deux défauts coupure et déséquilibre de tension d'alimentation.
- Dans la deuxième base des données nous prenant les valeurs efficaces à l'instant (2s) (en cas de défaut

### 3.3. Construction de la base d'apprentissage du RNA (Valeurs efficace):

La base d'apprentissage du RNA est se mis sous forme de fichier ou de tableau (matrice).

Ce dernier est représenté par des classes de vecteurs, ou chacune des classes représente un type de fonctionnement, et chaque vecteur est représenté par les valeurs efficaces. Dans notre cas il y a 48 vecteurs qui représentent 4 paramètres ; Ces derniers représentent la couche d'entrée du RNA

En fait, pour passer à l'étape de classification nous disposons pour chacun des paramètres, 7 types de fonctionnement y compris le fonctionnement normal (voir le tableau IV.1).

**Tableau V.1. Classification des types de défauts**

Catégorie	Type de défaut	Symbole	Code
01	Etat sain	ET	0 0 0 0
02	Coupure monophasée	CM	1 0 0 0
03	Coupure biphasée	CB	0 1 0 0
04	Coupure triphasée	CT	1 1 0 0
05	Déséquilibre monophasé	DM	0 0 1 0
06	Déséquilibre biphasée	DB	1 0 1 0
07	Déséquilibre triphasée	DT	0 1 1 0

### IV.4. Construction du bloc de RNA

Les réseaux de neurones que nous avons simulés sont tous des réseaux multicouches qui utilisent l'algorithme de rétro propagation pour leurs apprentissages.

Les étapes de construction et de validation des réseaux de neurones sont réparties en trois phases :

#### VI.4.1. Choix des entrées des réseaux:

Pour les cinq réseaux sélectionnés leurs entrées sont les valeurs efficaces ( $I_a, I_b, I_c, V_a, V_b, V_c, w_r$ ), ce qui signifie que le nombre d'entrées de ce réseau est égal à 7 (voir la figure IV.2)

### Résultats d'essais des réseaux sélectionnés

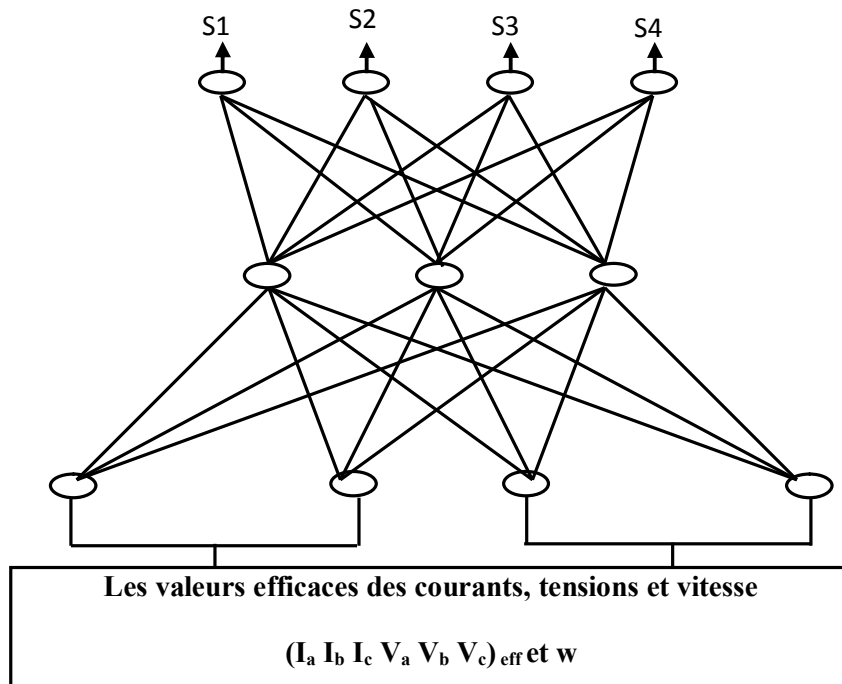


Figure IV. 2. Structure du RNA.

#### IV.4.2. Choix des sorties des réseaux :

Nous avons décidé d'associer une classe à chaque neurone, c'est-à-dire chaque neurone de sortie doit représenter un défaut ; qui est représenté sous différentes formes (vecteurs) ; d'une façon plus claire nous avons associé à chaque classe un code.

Lors de la détection d'un défaut, le réseau doit indiquer un nombre binaire quelconque (par exemple 0011) à sa sortie qui correspond à ce défaut (défaut de manque biphasé de la tension). C'est à dire chaque sortie de réseau doit avoir un seul chiffre soit 0 ou 1.

Les défauts sont représentés et affichés sur le tableau (IV.1) ; avec leurs symboles et leurs codes associés

On peut décrire la présente étape pour le réseau de la manière suivante ; on a effectué un apprentissage automatique à l'aide de logiciel MTLAB jusqu'à où on obtient une erreur quadratique plus petite. On a obtenu la plus petite erreur après 40 itérations.

$e = 1.31210063 \cdot 10^{-14}$  erreur quadratique

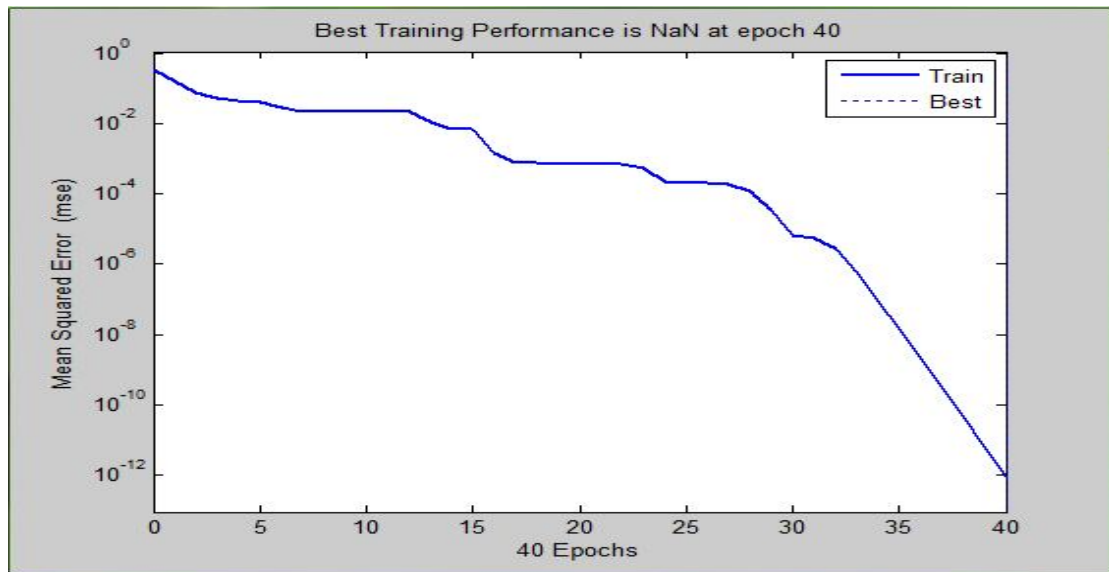


Figure IV. 3. Evolution de l'erreur quadratique moyenne du RNA

#### IV.5. présentation des résultats du RNA en différents états de fonctionnement

A cette fois nous avons appliqué des défauts sur RNA

A  $t = 1s$  couple résistent

A  $t = 2s$  coupure monophasée.

A  $t = 2s$  coupure biphasé.

A  $t = 2s$  coupure triphasé.

### IV.5.1. résultats de simulation

- Coupure monophasée

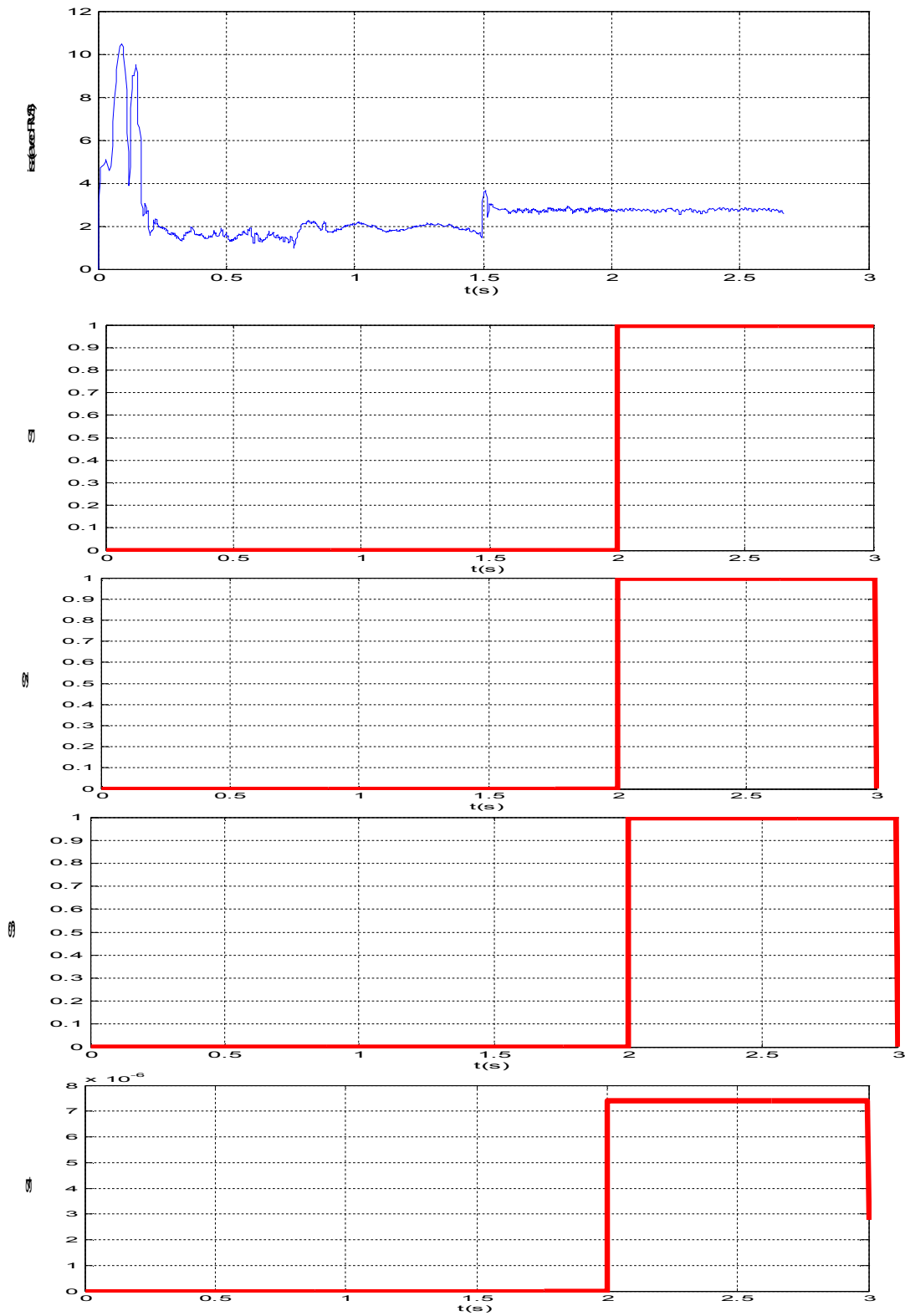


Figure IV.3. Test des sorties du RNA en présence de défaut (monophasé).

• Coupure biphasée

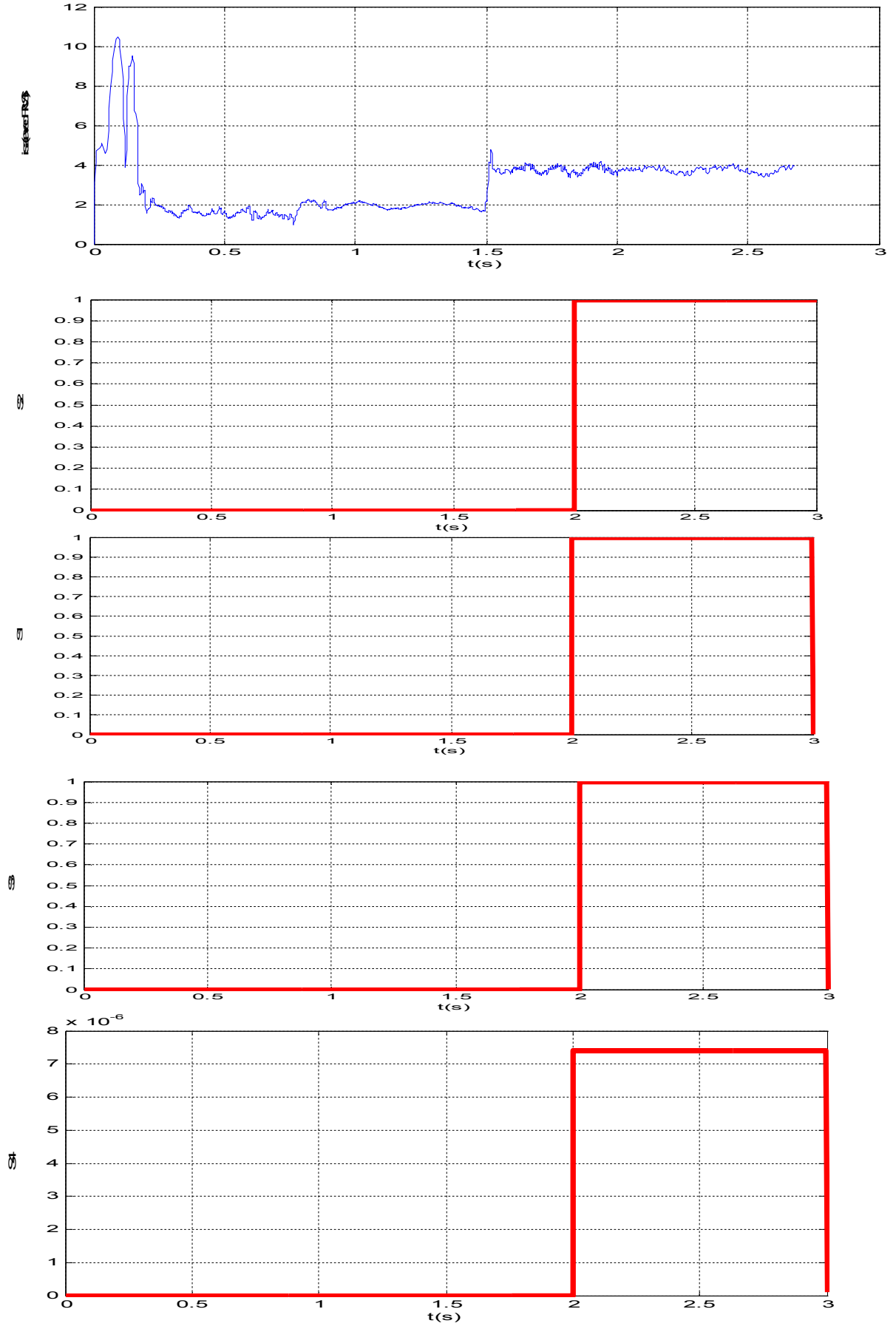


Figure IV.4. Test des sorties du RNA en présence de défaut (biphasé).

#### IV.5.2. Interprétation des résultats :

A partir de la présentation en ligne des sorties de RNA, on peut interpréter que les graphes changent leurs caractéristiques à l'instant de l'application du défaut. Dans notre cas le défaut est créé à l'instant  $t=2s$ .

Dans cet instant les sorties : S 1 , S 2 , S 3 , S 4 , indiquent respectivement les valeurs :

1, 1, 1, 0, donc le défaut équivalent est : coupure monophasé.

Les autres défauts appliqués, ont donnés les mêmes valeurs que les valeurs désirées. (Codes des défauts coupure biphasé de la tension et coupure triphasée).

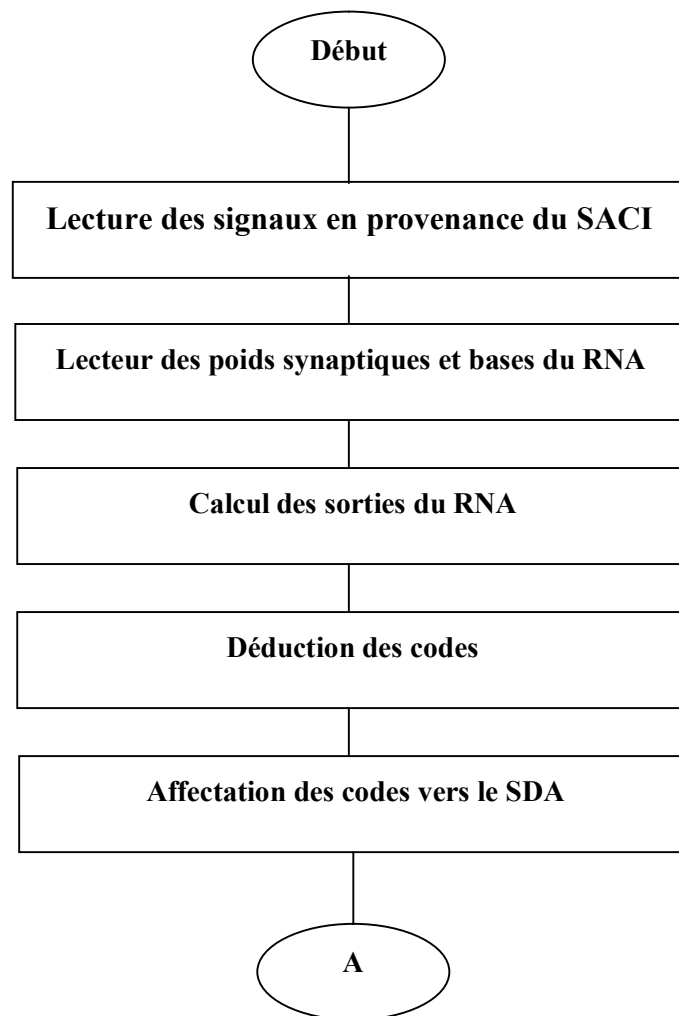
#### IV.7. Localisation des défaillances :

Lorsque le système de détection (RNA) détecte un défaut, vient l'étape de la localisation de ce défaut, en donnant son type, sa cause, son endroit d'apparition et si possible les remèdes pour l'éliminer. Toutes ces étapes sont effectuées par le système d'aide à la décision qui interprète les codes donnés par la sortie du réseau de neurones.

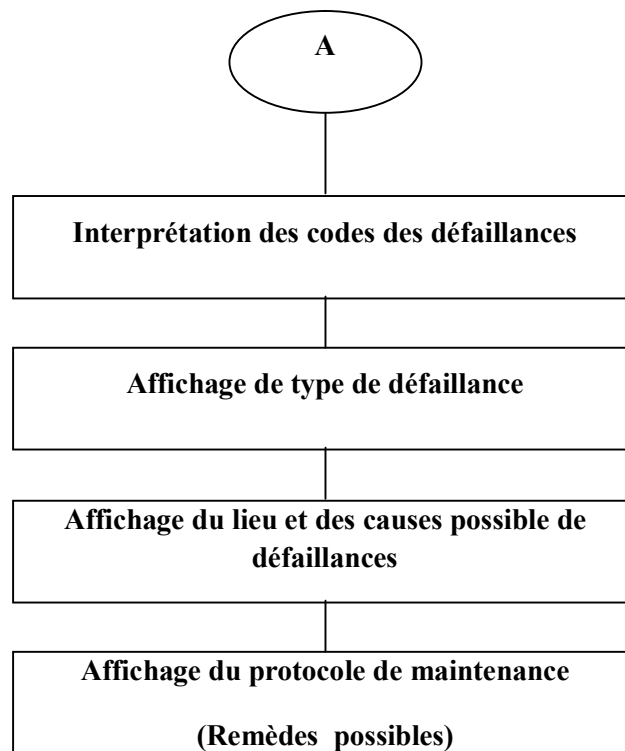
Avant que ces codes soient interprétés, on doit tout d'abord arrondir les sorties du RNA aux valeurs zéro et un pour faciliter la tâche d'interprétation au système d'aide à la décision. Par conséquent, la méthodologie retenue dans cette phase est la suivante :

Lorsque le système de diagnostic reçoit à son entrée un exemple (valeurs échantillonnées des deux variables), le réseau de neurones classifie cette exemple, en donnant sa sortie correspondante, puis cette dernière est interprétée comme une donnée représentant un fonctionnement normale, si toutes les sorties du réseau sont plus petites que 0.5 (c'est-à-dire plus proche de zéro) ; et un défaut est apporté à 1 si l'une des sortie est plus grande que 0.5. Cette phase est appelée déduction des codes [05] Les étapes de déduction et de localisation sont illustrées par les organigrammes suivantes :

**IV.7.1. Détection de défaillance et détermination de son code :**



#### IV.7.2. Localisation de défaillance par le système d'aide à la décision :



Après que le système d'aide à la décision interprète le code délivré par le bloc RNA, le type de défaut, son endroit d'apparition, ses cause possible, et les remèdes correspondant, doivent être représentés (affichés sur un écran) pour que l'opérateur puisse intervenir le plutôt possible, pour éliminer ce défaut, en utilisant les remèdes proposés par ce système.

### Conclusion

Dans ce chapitre nous avons présenté une solution d'exploitation du RNA pour des applications de surveillance de la MAS. L'idée de base est de mettre au point un programme de diagnostic, c'est-à-dire d'exploiter une solution de surveillance par la technique de l'intelligence artificielle (Réseau de Neurone). Le principe de cette solution est donc d'avoir un programme neuronal pour traiter les données qui provienne des capteurs. La deuxième partie de cette solution, qui est tout aussi importante que la partie traitement, concerne la phase d'apprentissage.

Les entrées du RN sont des entrées simples, telles que la valeur efficace des trois courants statoriques et celles de la tension d'alimentation et ainsi que la valeur instantanée de la vitesse.

Par ailleurs, pour la mise en oeuvre du réseau de neurone on à tous d'abord passé par plusieurs étude paramétrique (choix du type de réseau, choix des entrées, choix des sorties,.....). Ces études ont été précédées par l'opération d'acquisition des données, qui a pour but d'établir la base d'apprentissage du réseau afin de définir pendant la phase d'apprentissage le nombre de couche d'entrée et le nombre de neurones par couche (dimensionnement de l'architecture finale du réseau).

## Conclusion générale

Le travail de ce mémoire porté sur l'étude des réseaux de neurones artificiels pour la surveillance de machine asynchrone à cage d'écuréuil, cela a été réalisé grâce à une implémentation logicielle utilisant MATLAB comme logiciel de simulation, et la règle de rétro propagation comme règle d'apprentissage des RNA.

A partir de l'étude entassée, et des documents obtenus, nous pouvons résumer les conclusions suivantes :

D'après l'étude effectuée, nous avons établi que l'augmentation de degré de confiance pour la prise de décision, est dépendante de l'utilisation des valeurs efficaces, ceci est confirmé par les issues obtenus dans la phase de test du réseaux étudiés, en effet le réseau de neurone utilisé, à comme accès des valeurs efficaces des grandeurs (courant, tension, et vitesse), offre une aptitude de généralisation plus élevée de la détection des défauts au niveau de l'alimentation du stator(coupure et déséquilibre des tensions)

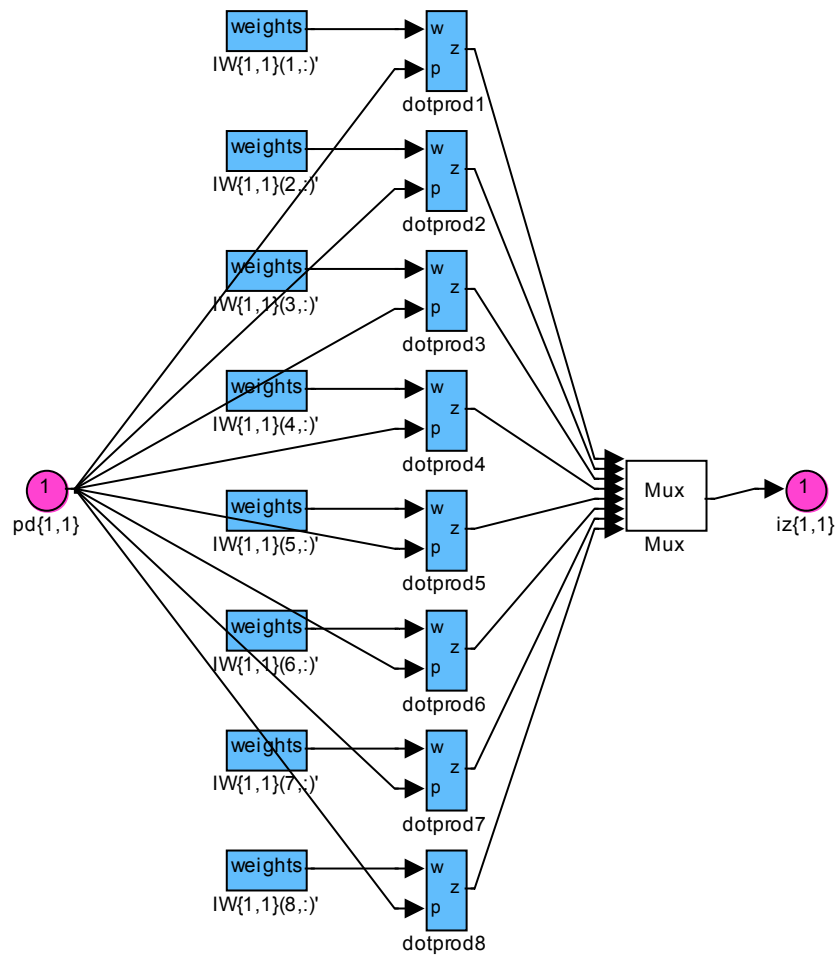
Il est prouvé comme remèdes, que l'identification des types de défauts les plus représentatifs est dépendante à l'application de l'automatisation du système de diagnostic.

A cet effet, les résultats acquiers présentes par le système de diagnostic automatique effectué, qui permet d'une part, de définir pour chaque défaut des caractéristiques par la technique de diagnostic, d'autre part, de procéder à la comparaison instantanée des données de référence "données, défauts " pour identifier le type, la nature de défaut et éventuellement sa localisation.

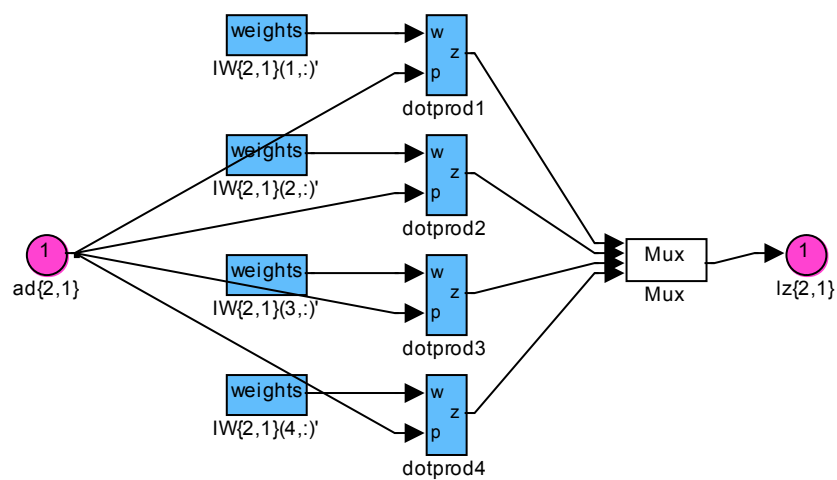
L'intérêt de ce travail, réside également dans le fait qu'il constitue une étape vers une application des réseaux de neurones pour la commande de la machine asynchrone, une telle application permettra de tirer pleinement des avantages qu'offrent les réseaux de neurones enter mes de vitesse, simplicité de calcul et de robustesse au perturbations.

## presentation de l'architecteur interne du RNA

### 1. couche d'entrée



### 1. architecteur de la couche de sortie



## **Paramètres et caractéristiques de la MAS utilisée en simulation**

$R_s=7.57\Omega$

$R_r =6.3 \Omega$

$L_s=0.5976H$

$L_r=0.1612H$

$M=0.0265H$

$j=0.0054 \text{ Kg.m}^2$

$f=0$

$p=1$

## **Bibliographique**

[01]Ali IBRAHIM «Contribution au diagnostic de machines électromécaniques: Exploitation des signaux électriques et de la vitesse instantanée» thèse de doctorat, école doctorale sciences, ingénierie, santé Diplôme délivré par l'Université Jean Monnet 10 Mars 2009.

[02]LARABI Mohand Saïd, ROUIDI Bachir «Diagnostic neuro flou machines asynchrones » Mémoire d'ingénieur, U- SKIKDA Juin 2005

[03] Rafik MERAD «outils de diagnostic appliques a la machine asynchrone triphasée a cage d'ecureuil » Mémoire de magister Université de Constantine .2006

[04] Noureddine BESSOUS «Contribution Au Diagnostic Des Machines

Asynchrones »Mémoire de magister Université MENTOURI de CONSTANTINE

[05] BELKHIRI A, TOUNSI B , DAHMANI A. «detection des défauts par les réseaux de neurones artificiels de la machine asynchrone contrôlée parla technique du flux oriente» UNIVERSITE MOHAMED BOUDIAF DE M'SILA .2007.

[06] Olivier ONDEL «diagnostic par reconnaissance des formes : application a un ensemble convertisseur – machine asynchrone» doctorat Université de LYON 17/10/2006.

[07] Hubert RAZIK. green-uhp « le contenu spectral du courant absorbe par la machine asynchrone en cas de défaillance un état de l'art» Faculté des Sciences, BP 23954 506 Vandoeuvre-Lès-Nancy, CEDEX

[08 ] MAGHRAOUI Abdelwahab. DEBOUCHA Abdelhakim « Diagnostic des défauts dans les moteurs asynchronies triphasés à cage » UNIVERSITE MOHAMED BOUDIAF DE M'SILA .2006

[07] ZEBIRI FOUAD .MEHAMELLE HOUCIN « detection et localisation des défauts de la machine asynchrone a double stator application de la technique l'intelligence artificielle» UNIVERSITE MOHAMED BOUDIAF DE M'SILA .

[08] Mahdaoui R. Mouss H. , Chouhal O. , Haboussi A. « reconnaissance de forms par les systèmes neuro-flous elman : application au pronostic des systèmes de production» International Conference On Industrial Engineering and Manufacturing ICIEM'10, May, 9-10, 2010, Batna, Algeria

[10]Mohamed Bouamar, Mohamed Ladjal «Système multicateur utilisant les réseaux de neurones artificiels pour la surveillance des eaux potables» the International Conférence: Sciences of Electronic, Technologies of Information and Télécommunications March 25-29, 2007 – TUNISIA.

[11] T.Boumegoura, «Recherche de signature électromagnétique des défauts dans une machine asynchrone, et synthèse d'observateurs en vue du diagnostic», thèse de doctorat, l'école doctorale électronique,

Electrotechnique , automatique de Lyon, Mars 2001.

[12] Abdesselam LEBAROUD « Modélisation et techniques orientées vers le diagnostic de la machine asynchrone associée à des sources variables» thèse de doctorat Université de Constantine 23/09/2006

[13]Djalal Eddine Khodja and Aissa Kheldoun «Three-phases Model of the Induction Machine Taking Account the Stator Faults» World Academy of Science, Engineering and Technology 52 2009

[14] Djalal Eddine Khodja “Elaboration d'un système intelligent de surveillance et de diagnostic automatique en temps réel des défaillances des moteurs à induction” , thèse de Doctorat, Boumerdes, 2007.

[15]Anne-Sophie BELLANGER-DUJARDIN «contribution a l'étude de structures neuronales pour la classification de signatures : application au diagnostic de pannes des systèmes industriels et a l'aide au diagnostic médical» thèse de doctorat Année 2003.

[16] BOULFANI Yasmine, DOUMANDJI Samah «Implémentation sur DSP TMS320C5000 de filtres optimaux appliqués aux images et introduction de réseaux neuronaux» PFE Ecole Nationale Polytechnique Département d'Electronique(Algérie) 2004.

[17] BENCHAABANE Achour « commandes hybrides neuro - glissantes et neuro floues - glissantes appliquées au simulateur d'hélicoptère tems » Mémoire de Magister école nationale polytechnique Laboratoire de Commande des Processus 24 / 01 / 2011.

[18]BOUZIDI ZOUHIR, HALILOU AZOUZ «diagnostic des défaillances technique de réseau de neurone artificiel appliqué sur la machine synchrone a aimants permanents» PFEuniversitéMohamed BOUDIAF de M'sila , 2005.

[19]MIHOUBI Abdelhafid«Classification Lithologique des Attributs Sismiques par les Réseaux de Neurones Artificiels Comparaison entre les Cartres Auto-organisatrices de Kohonen et le Perceptron Multicouches» Mémoire de Magister Université M'hamed BOUGARA Boumerdes,2008.

[20]J. Rynkiewicz, M. Cottrell, M. Mangeas, J.F. Yao« Modèles de réseaux de neurones pour l'analyse des séries temporelles ou la régression : Estimation, Identification, Méthode d'élagage SSM »SAMOS, Université de Paris 190, rue de Tolbiac75013 Paris2001,

[21]IMARAZENE Khoukha «Application des Réseaux de Neurones à la Commande par

Elimination d'Harmoniques des Onduleurs Multiniveaux» Mémoire de Magister Ecole Nationale Polytechnique (Algérie) 29/06/2005.

[22]Malika NEZAR «d diagnostic des associations c convertisseurs statiques - machines asynchrones en utilisant les techniques de l'intelligence artificielle» thèse de doctorat Université Batna.24/06/2006.

[23] Ouahib GUENOUNOU « Méthodologie de conception de contrôleurs intelligents par l'approche génétique- application à un bioprocédé » Thèse de doctorat Université Toulouse 22 avril 2009.

**MEMOIRE DE FIN D'ETUDES EN VUE DE L'OBTENTION DE DIPLOME  
DE MASTER EN GENIE ELECTRIQUE**

**SPECIALITE :**

**INGENIERIE DES SYSTEMES ELECTROMECHANIQUES**

**Proposé et dirigé par : -Dr. KHODJA Djalal Eddine**

**Présenté par : - MADANI Nadir**

**Thème :**

Diagnostic de défaillances de l'ensemble convertisseur-moteur et  
commande par les techniques de l'intelligence artificiel

**Résumé**

Dans ce travail, l'utilisation des réseaux neurones artificielle pour le diagnostic des défaillances de l'association moteur - convertisseur et leur commande a été proposée. Dans la première partie, une étude détaillée sera entamée sur certains défauts de l'ensemble moteur- convertisseur. Ensuite, une implémentation des réseaux de neurones artificiels (RNA) sera effectuée pour la détection et le diagnostic des défauts considérés dans cette étude. L'algorithme d'implémentation proposé sera basé sur la structure simple des réseaux de neurones artificiels.

**Mots clés :**

RNA : réseaux de neurones artificiels, les défauts moteurs, Diagnostic, MAS.

**N° d'ordre : 039**