

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE
MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR
ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE
UNIVERSITE DE BATNA

MEMOIRE

Présenté à la
FACULTE DE TECHNOLOGIE
DEPARTEMENT DE GENIE INDUSTRIEL
Pour l'obtention du diplôme de

MAGISTERE EN GENIE INDUSTRIEL

Option:
Génie Industriel

Par
BICHARI Meriem

Thème

**SYSTEME DE DIAGNOSTIC DES DEFAILLANCES
DES MACHINES ELECTRIQUES**

Devant le jury constitué de :

Mme. Leila Hayet MOUSS	MC. Université de Batna	Président
Mr. Ahmed LOUCHENE	M.C. Université de Batna	Rapporteur
Mr. Mahmoud TAIBI	M.C. Université de Annaba	Examineur
Mr. Rachid ABDESSEMED	Pr. Université de Batna	Examineur
Mr. Chaabane HAMOUDA	M.C. Université de Batna	Examineur

Année universitaire
2011/2012

REMERCIEMENTS

Je tiens à remercier en tout premier lieu Mr. Ahmed LOUCHENE, pour la qualité du sujet qu'il a su me prodiguer, et d'avoir accepté la lourde tâche d'être rapporteur et je le remercie pour l'analyse qu'il a menée sur ma mémoire pour la lecture attentive qu'il en a fait et qui a contribué à son enrichissement. c'était immense plaisir d'avoir travaillé sur ce sujet, sous la direction de lui. je tiens à lui exprimer ma reconnaissance, mes remerciements les plus profonds, pour les conditions excellentes de travail: suivi, discussions intéressantes, critiques constructives. et particulièrement pour la confiance et encouragements constants, ...

Je remercie vivement Mme. Leila Hayet MOUSS pour m'avoir fait l'honneur d'accepter de présider le jury de ma mémoire.

Mes remerciements vont également aux membres de jury examinateurs qui m'ont fait l'honneur de participer au jury en l'occurrence: Mr.Rachid ABDESSEMED de l'université de Batna, et je le remercie encore pour nous fournir des informations précieuses et nécessaires que nous avons adoptée dans ce travail, Mr. Mahmoud TAIBI de l'université de Annaba et Mr. Chaabane HAMOUDA de l'université de Batna.

Je n'oublierai certainement pas de remercier vivement Mr djamel BELAALA pour son aide et l'encouragement,

Enfin, Mes remerciements s'adressent également à Dr. N MOUSS, ainsi qu'à toute personne, enseignants ou secrétaires des Départements de Génie Industriel ainsi qu'à toute personne de la faculté des sciences.

Sommaire

Introduction générale.....	1
I-Généralités sur les défauts de la machine asynchrone.....	3
I-1-Introduction.....	3
I-2-Défaillance et échec du système de protection	3
I-3-Orientation diagnostic et méthodes.....	5
I-4-Etude statistique des défaillances de la machine asynchrone	6
I-5-Présentation des différentes défaillances	7
I-5-1-Défaillances au rotor	7
I-5-1-1-Ruptures de barres	7
I-5-1-2- Ruptures d'anneaux	8
I-5-1-3- Excentricité statique et dynamique.....	8
I-5-2-Défaillances au stator:	9
I-5-2-1-Défauts d'isolant dans un enroulement	9
I-5-2-2-Court-circuit entre spires	10
I-5-2-3-Court-circuit entre phases.....	10
I-5-2-4-Court-circuit phase/bati	10
I-5-2-5-Défauts de circuit magnétique	11
I-5-3-Défaillances mécaniques	11
I-5-3-1-Défauts roulements.....	11
I-5-3-2-Autres défaillances mécaniques	12
I-5-4-Défaillances d'autres origines	12
I-5-4-1-Défauts de la charge	12
I-6-Les différentes causes de défauts et leurs conséquences	14
I-6-1-Les défauts internes au moteur.....	14
I-6-2- Les défauts externes au moteur	15
I-6-2-1- Surtensions	15
I-6-2-2-Phases déséquilibrées	15
I-6-3-Les défauts externes au moteur : phénomènes liés à l'exploitation du moteur.....	16
I-6-3-1-Démarrage trop long et/ou trop fréquent	16
I-6-3-2-Blocage du rotor	16

I-6-3-3-Surcharge (ralentissement ou survitesse)	17
I-7-Recherche indispensable des symptômes	17
I-8-Support de l'information	18
I-9-Conclusion	19
II-La logique floue dans la classification	20
II-1-Introduction	20
II-2-Diagnostic en utilisant des méthodes de classification.....	20
II-3-Partitions floues	21
II-4-La place des ensembles flous dans les systèmes de reconnaissance	22
II-5-Modèles flous	22
II-6-Classification par la logique floue	23
II-6-1-Limites De L'approche Classique.....	23
II-6-2-La logique floue en classification	23
II-6-3-Classification et identification des événements	24
II-7-Conception du classificateur flou	25
II-7-1-Principe de base	25
II-7-2-Fonctions d'appartenance	25
II-7-3-Base des règles floues	26
II-8-Méthodes de classification.....	26
II-9-Résultats de simulation.....	28
II-9-1-Modélisation à l'aide de Clustering soustractive	28
II-9-2 Regroupement de données par l'utilisation de l'outil GUI clusters	30
II-9-3-Résultats De La Classification	31
II-10-Conclusion	32
III-Système de diagnostic des défaillances de la machine asynchrone.....	33
III-1-Introduction	33
III-2-Mise en œuvre du diagnostic.....	33
III-2-1-Identification du défaut.....	34
III-2-2-Localisation de la source de perturbation	34
III-3-Le recours a la logique floue	35
III-4-Application a la détection.....	35
III-4-1-Fuzzification	36
III-4-2-Inférence	37
III-4-3-Defuzzification	39

III-5-Conclusion.....	41
IV-Simulation et résultats.....	42
IV-1-Présentation du procédé.....	42
IV-2-Schéma de principe	43
IV-3-Modèle analytique	43
IV-4-Simulation	44
IV-4-1- Emulation des données pour la simulation.....	44
IV-4-2- Résultats de la simulation.....	46
IV-5-Commentaire	47
IV-6 Procédure de calcul de l'appartenance à une classe:	49
IV-7-Conclusion	52
Conclusion générale	54
Références bibliographiques	56

INTRODUCTION GENERALE

Les machines à courant alternatif sont largement utilisées dans l'industrie. Plus de 50 millions de nouvelles machines sont installées chaque année. En générale, les machines sont dimensionnées pour des applications à vitesse et à couple constant afin d'assurer les meilleures caractéristiques. Par contre, dans le cas d'un couple de charge réduit où d'une vitesse de fonctionnement en dessous de la valeur nominale, le rendement de la machine ainsi que le facteur de puissance diminuent considérablement.

Les moteurs asynchrones remplacent de plus en plus les moteurs à courant continu (MCC) dans les applications industrielles. Ils présentent l'avantage d'être robustes, de construction simple et peu coûteux. [1]

Le déferlement d'informations a commencé depuis longtemps et il s'est accentué cette décennie à cause des conditions du marché motivé par de nombreux progrès techniques qui ont ouvert un nouvel horizon d'observation devant le théoricien. Le recours au diagnostic pour résoudre le problème d'occurrence de panne est l'idée dominante à l'heure actuelle. Le choix de ce procédé sort de l'ordinaire mais figuratif. Cette technique très appréciée en médecine, a permis aux médecins de confronter les maladies, en cherchant de cause à effet, la cause à travers les symptômes que le système nerveux manifeste.

L'idée d'envisager ce procédé pour résoudre le problème de défaillances industrielles n'est pas nouveau, mais l'empêchement de sa mise en œuvre est dû en fait à l'absence de l'automate pouvant accomplir le rôle du système nerveux, qui consiste à réaliser le traitement en ligne de l'information recueillie et d'aider l'opérateur à prendre la décision la plus favorable pour son équipement. A présent et avec le développement des techniques de l'intelligence artificielle, la réalisation de l'automate est devenue une question de temps. Un temps écoulé à tester le taux d'efficacité de ces techniques et à chercher les niveaux d'interventions permettant d'assiéger toutes les issues probables à l'occurrence de panne [2].

La logique floue est l'une des branches importantes de l'intelligence artificielle. le régulateur par logique floue ne traite pas une relation mathématique bien définie, mais utilise des inférences avec plusieurs règles, se basant sur des variables linguistiques. Ainsi, il est possible de tenir compte des expériences acquises par les opérateurs d'un processus technique [3].

C'est donc dans ce cadre que nous allons développer notre étude à travers les chapitres suivants :

Le premier chapitre est consacré à une généralité sur les défauts de la machine asynchrone et en cherchant de cause à effet, à travers les symptômes que le système manifeste.

Dans le deuxième chapitre nous avons essayé de présenter d'une façon simplifiée la logique floue dans le domaine de la classification. Du fait que le diagnostic correspond à la détermination de la classe à laquelle appartient un défaut en projetant un certain nombre de données dans un espace de dimension réduite, la logique floue constitue un outil très intéressant pour le diagnostic. Dans cet espace, l'opérateur peut apprendre à identifier des zones à risque ou relatives à des dysfonctionnements particuliers, il aura en conséquence des réactions beaucoup plus rapides aux problèmes.

Dans le troisième chapitre, nous avons développé un système de diagnostic des défaillances pour la localisation de l'origine du défaut du moteur asynchrone triphasé, en adoptant la reproduction comportementale en solution, les techniques de la logique floue.

En ce dernier, nous avons considéré en simulation des conditions plus ou moins complexes.

Chapitre 1

GENERALITES SUR LES DEFAUTS DE LA MACHINE ASYNCHRONE

GENERALITES SUR LES DEFAUTS DE LA MACHINE ASYNCHRONE

I-1-INTRODUCTION

Un système industriel est un ensemble d'éléments interagissant entre eux et avec l'extérieur, réunis pour assurer une mission précise. La réalisation de cette mission dépend énormément du mode de fonctionnement sous lequel évolue le système:

- un mode normal : mission accomplie
- un mode anormal : mission non accomplie ou bien accomplie avec des performances moindres.

Bien évidemment ces modes peuvent être dus à un défaut externe au procédé exemple (réseau d'alimentation, transformateur...) comme ils peuvent être provoqués, à long ou à court terme, par la défaillance d'un composant du procédé. [2]

Les entraînements électriques basés essentiellement sur les machines asynchrones sont largement utilisés dans les applications industrielles. Certaines utilisations de ces moteurs ne tolèrent pas les pannes intempestives. Ces pannes peuvent être d'origine mécanique, électrique ou magnétique. Tous ces défauts qui apparaissent dans la machine électrique ont des causes variées. [4]

Pour atténuer l'effet d'un défaut il est nécessaire de localiser son origine, en cherchant de cause à effet, à travers les symptômes que le système manifeste. Le diagnostic en temps réel est une solution qui pourrait cerner rapidement l'anomalie à condition de faire appel à l'analyse de tous les symptômes manifestés par un système de surveillance performant. Le diagnostic est facile lorsqu'il est fait en temps réel et lorsque les symptômes sont clairs.

Ce chapitre présente une liste des différentes défaillances principales. Il indique quelques modes de pannes typiques observées sur le moteur. Pour chaque symptôme, une liste de causes possibles est aussi présentée.

I-2-DEFAILLANCE ET ECHEC DU SYSTEME DE PROTECTION

Il est évident que les systèmes de protection associés aux procédés industriels sont caractérisés par une rapidité d'action et une sensibilité relatives à l'importance de

l'équipement mis sous contrôle et à son domaine d'exploitation. De même qu'ils ont pour but d'assurer le contrôle de la chaîne de production, en signalant la présence du défaut, une fois détecté, et en assurant la commutation vers le système redondant jusqu'à rétablissement de la partie défaillante.

Cependant, à cause du coût d'investissement et des conditions ardues du marché, les procédés actuels, ont exigé une sécurité plus élevée que le système de protection n'a pu remplir pour garantir un service durable en fonction des besoins et des conditions avancées. Ainsi, des fonctionnements interrompus instinctivement sont le résultat effectif de circonstances que ni le système de protection, ni l'opérateur, ne sont arrivés à maîtriser avant qu'elles n'entraînent de pannes (Fig.I.1).

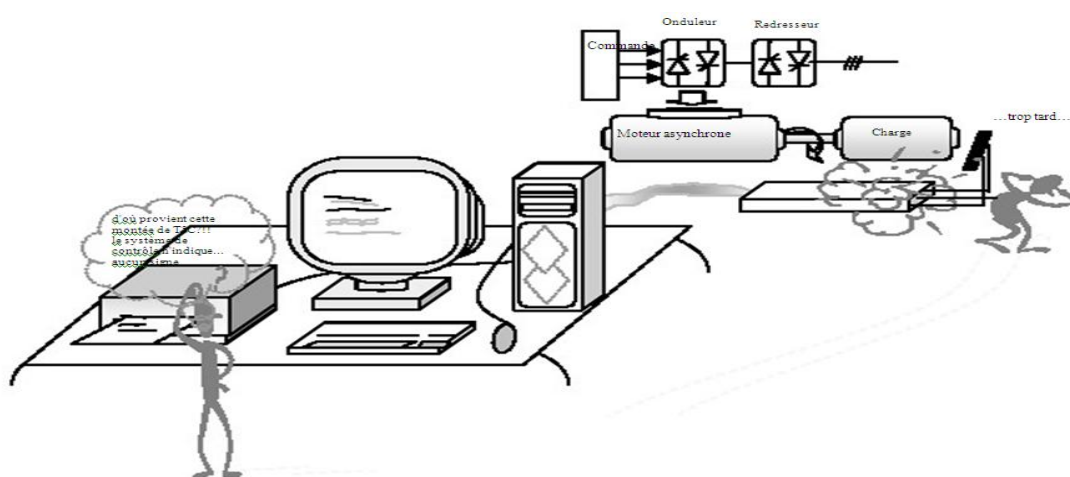


Fig.I.1. Exemple illustrant l'échec du système de protection

Dans ces conditions, caractérisées par l'avènement de panne malgré le contrôle permanent assuré par le système de protection, nous sommes obligés de nous interroger sur l'efficacité proprement dite de la surveillance adoptée. Une question tout à fait recevable de la part de l'industriel qui, ne sachant comment réagir pour assurer la sûreté de son équipement, approuve de l'intérêt pour le diagnostic temps réel. Cette fonction étant un axe en interaction continue avec deux autres, la détection et la localisation, nous conduit à imaginer l'espace d'anomalies à trois dimensions (Fig.I.2). L'intérêt de ce dernier apparaît en faisant le lien avec le diagnostic médical et en interprétant le rôle de chaque axe séparément. En effet, pour atténuer l'effet d'un défaut il est nécessaire de localiser son origine, le repérage de sa source doit faire appelle à ses coordonnées relatives dans ce repère :

- 1 : Détection de défaut en dépassant un seuil toléré bien défini, par l'opérateur expert,

- 2 : diagnostic en recherchant, en temps réel, le syndrome correspondant au trouble détecté,
- 3 : localisation en identifiant ce syndrome à ses sources d'origine dans la base de faits préparée aussi d'avance avec soin

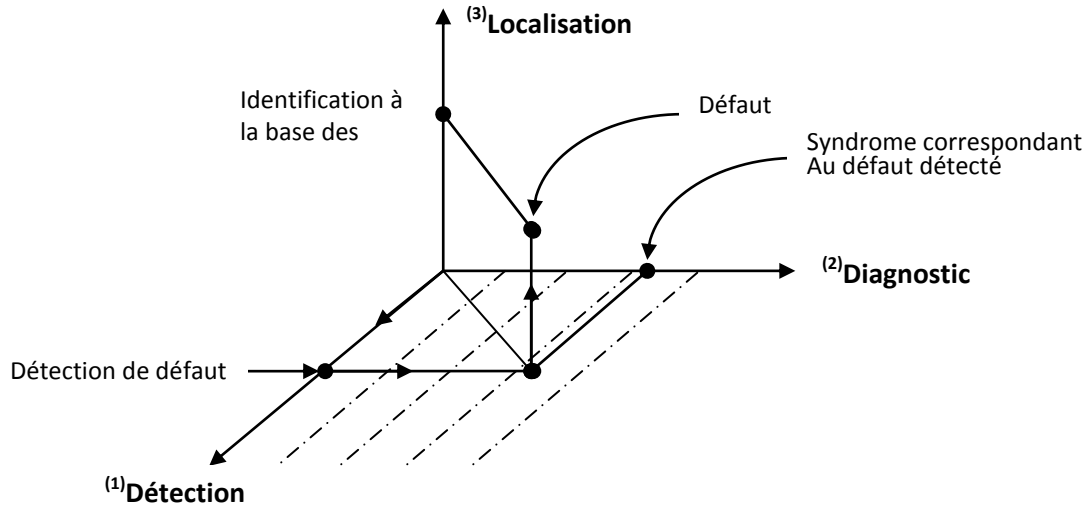


Fig.I.2. Référentiel d'anomalies

I-3-ORIENTATION DIAGNOSTIC ET METHODES

Les défaillances étant par définition subies sans que l'on puisse prévoir leur instant d'apparition, il importe à tout responsable d'une entreprise industrielle de faire face rapidement aux conséquences. Dans de nombreuses situations, sauf en cas de matériels redondants, il revient plus difficile de réparer la défaillance en temps réel ce qui implique l'accroissement du temps d'indisponibilité de l'installation.

Le diagnostic en temps réel est une solution qui pourrait cerner rapidement l'anomalie à condition de faire appel à l'analyse de tous les symptômes manifestés par un système de surveillance performant qui ne doit laisser échapper aucun indice quelque soit son étiquette.

Parmi les techniques élaborées pour lancer le diagnostic, celles qui prennent une importance de plus en plus grande, compte tenu de l'impact économique sont les suivantes :

- les techniques basées sur les relations entrée-sortie,
- les méthodes basées sur la redondance analytique,
- le diagnostic par reconnaissance des formes,

- les techniques de l'intelligence artificielle : l'intérêt de celles-ci est grand là où le modèle caractéristique du procédé est difficile à obtenir (cas de défaillances) et le traitement de données concerne beaucoup plus des connaissances contenant des informations de type linguistique.

L'affranchissement de ce dernier domaine n'est qu'un simple retour vers l'origine terminologique du mot " diagnostic" qui n'est autre que : " l'identification d'une maladie par ses symptômes" et ou le terme symptôme indique le " phénomène qui révèle un trouble fonctionnel ".

I-4-ETUDE STATISTIQUE DES DEFAILLANCES DE LA MACHINE ASYNCHRONE:[5]

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

- les générateurs de pannes ou initiateurs de défauts : surchauffe du moteur, défaut électrique (court-circuit), survoltage d'alimentation, problème d'isolation électrique, usure des éléments mécaniques (roulements à billes), rupture de fixations, etc.
- les amplificateurs de défauts : surcharge fréquente, vibrations mécaniques, environnement humide, échauffement permanent, mauvais graissage, vieillissement, etc.
- les vices de fabrication et les erreurs humaines : défauts de fabrication, composants défectueux, protections inadaptées, mauvais dimensionnement de la machine, etc.

Une étude statistique, effectuée en 1988 par une compagnie d'assurance allemande de systèmes industriels sur les pannes des machines asynchrones de moyenne puissance (de 50 kW à 200kW) a donné les résultats suivants :

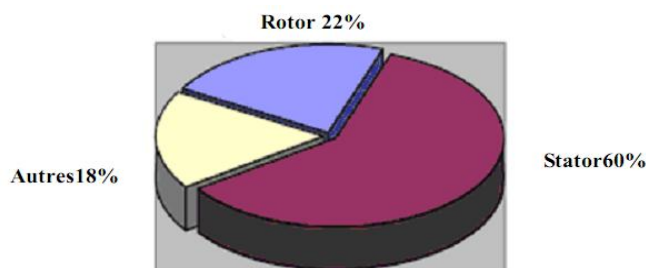


Fig. I-3: Proportion des défauts

La répartition des pannes dans les différentes parties du moteur est présentée sur la figure (I-4). Une autre étude statistique faite sur des machines de grandes puissances (de 100 kW à 1 MW) donne des résultats qui sont présentés sur la figure (I-4).

Les contraintes mécaniques sont plus grandes pour ces types de machines ce qui explique le taux élevé des pannes dues aux roulements. [5]

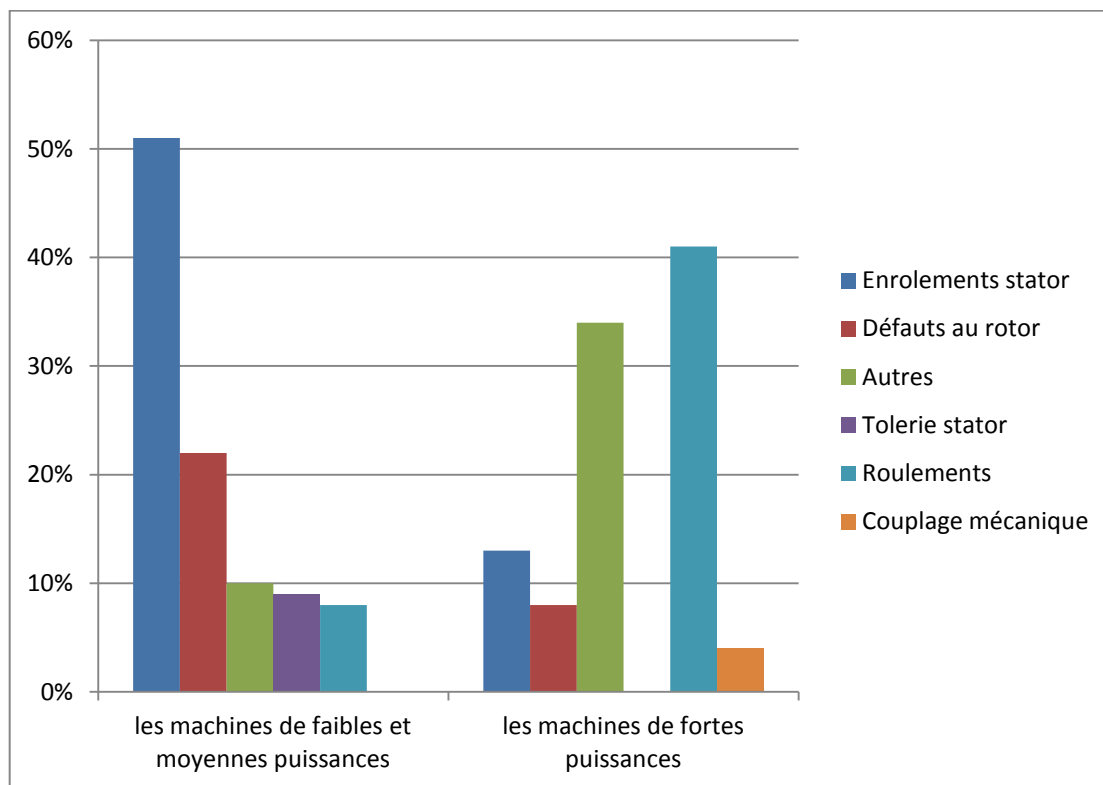


Fig. I-4: Répartition des pannes sur les machines de faibles et moyennes puissances et les machines de fortes puissances

I-5-PRESENTATION DES DIFFERENTES DEFAILLANCES: [4]

I-5-1-DEFAILLANCES AU ROTOR :

Les défauts qui sont les plus récurrents, localisés au niveau du rotor, peuvent être définis comme suit:

- Rupture de barres ;
- Rupture d'une portion d'anneau de court-circuit ;
- Excentricité statique et dynamique ;
- Un défaut de contact balai - bague dans le cas d'un rotor bobiné.

I-5-1-1-RUPTURES DE BARRES:

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

I-5-1-2- RUPTURES D'ANNEAUX:

La rupture de portion d'anneau est un défaut qui apparaît aussi fréquemment que la cassure de barres. Ces ruptures sont dues soit à des bulles de coulées ou aux dilatations différentielles entre les barres et les anneaux. Comme il est difficile de le détecter, ce défaut est généralement groupé, voir confondu, avec la rupture de barres dans les études statistiques. Ces portions d'anneaux de court-circuit véhiculent des courants plus importants que ceux des barres rotoriques. De ce fait, un mauvais dimensionnement des anneaux, une détérioration des conditions de fonctionnement (température, humidité,...) ou une surcharge de couple et donc de courants, peuvent entraîner leur cassure.

I-5-1-3- EXCENTRICITE STATIQUE ET DYNAMIQUE:

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

Trois cas d'excentricité, sont généralement distingués :

- l'excentricité statique, le rotor est déplacé du centre de l'alésage stator mais tourne toujours autour de son axe

- l'excentricité dynamique, le rotor est positionné au centre de l'alésage mais ne tourne plus autour de son axe
- l'excentricité qu'on pourrait qualifier de 'mixte', associant les deux cas précédemment cités

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

I-5-2-DEFAILLANCES AU STATOR:

Les défauts qui sont les plus récurrents, localisés au niveau du stator, peuvent être définis comme suit :

- défaut d'isolant
- court-circuit entre spires
- court-circuit entre phases
- court-circuit phase/bâti
- déséquilibre d'alimentation
- défaut de circuit magnétique

I-5-2-1-DEFAUTS D'ISOLANT DANS UN ENROULEMENT :

La dégradation des isolants dans les enroulements peut provoquer des courts-circuits. En effet, les différentes pertes (Joule, fer, mécanique,...) engendrent des phénomènes thermiques se traduisant par une augmentation de la température des différents constituants du moteur. Or les matériaux d'isolation ont une limite de température, de tension et mécanique. De ce fait, si l'environnement de travail d'un matériau d'isolation dépasse une de ces limites, ce matériau se dégrade de manière prématurée ou accélérée, puis finit par ne plus assurer sa fonction. Dans ce cas, un court-circuit peut apparaître dans l'enroulement concerné. Les différentes causes pour ce type de défaut sont :

- dégradation de l'isolant à la fabrication.

- tension de l'enroulement supérieure à la limite du matériau d'isolation.
- courant élevé dans l'enroulement dû à un court-circuit, un défaut du convertisseur, une surcharge. Ceci entraîne une élévation de la température dégradant prématurément le matériau d'isolation.
- vibrations mécaniques.
- vieillissement naturel des isolants. Tous les matériaux isolants ont une durée de vie limitée. Même dans une utilisation 'normale', l'isolant finit naturellement par se dégrader.
- fonctionnement dans un environnement sévère.

I-5-2-2-COURT-CIRCUIT ENTRE SPIRES:

Un court-circuit entre spires de la même phase est un défaut assez fréquent. Cette défaillance a pour origine un ou plusieurs défauts d'isolant dans l'enroulement concerné. Il entraîne une augmentation des courants statoriques dans la phase affectée, une légère variation de l'amplitude sur les autres phases, modifie le facteur de puissance et amplifie les courants dans le circuit rotorique. Ceci a pour conséquence une augmentation de la température au niveau du bobinage et, de ce fait, une dégradation accélérée des isolants, pouvant provoquer ainsi, un défaut en chaîne (apparition d'un 2ème court-circuit). Par contre, le couple électromagnétique moyen délivré par la machine reste sensiblement identique hormis une augmentation des oscillations proportionnelles au défaut.

I-5-2-3-COURT-CIRCUIT ENTRE PHASES:

Ce type de défaillance peut arriver en tout point du bobinage, cependant les répercussions ne seront pas les mêmes selon la localisation. Cette caractéristique rend difficile une analyse de l'incidence de ce défaut sur le système. L'apparition d'un court-circuit proche de l'alimentation entre phases, induirait des courants très élevés qui conduiraient à la fusion des conducteurs d'alimentation et/ou à la disjonction par les protections. D'autre part, un court-circuit proche du neutre entre deux phases engendre un déséquilibre sans provoquer la fusion des conducteurs. Les courants statoriques sont totalement déséquilibrés et ce déséquilibre est proportionnel au défaut qui apparaît. Les courants dans les barres ainsi que dans les anneaux sont augmentés lors de l'apparition de ce défaut. La détection de ce type de défaut peut reposer sur le déséquilibre des courants de phases.

I-5-2-4-COURT-CIRCUIT PHASE/BATI:

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

Cependant le courant circulant dans cette phase augmente avec la réduction de la résistance et de l'inductance. Cette augmentation du courant se traduit par une augmentation de la température pouvant entraîner des défauts d'isolant dans l'enroulement. De plus, cette défaillance va générer une composante homopolaire entraînant l'apparition d'un couple pulsatoire. Une mesure du courant de fuite pourrait permettre de détecter ce type de défaut.

I-5-2-5-DEFAUTS DE CIRCUIT MAGNETIQUE:

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

I-5-3-DEFAILLANCES MECANIKES :**I-5-3-1-DEFAUTS DES ROULEMENTS:**

Les roulements à billes jouent le rôle d'interface électromécanique entre le stator et le rotor. En outre, ils représentent l'élément de maintien de l'axe de la machine permettant d'assurer une bonne rotation du rotor.

La plupart des défauts survenant dans les roulements des moteurs à induction ainsi que les raisons de leur vieillissement. Comme il a été présenté précédemment, ce type de défaut est le plus fréquent sur les machines de fortes puissances. Il est généralement lié à l'usure du roulement et plus précisément une dégradation des billes, ou de la bande de roulement. Ses causes possibles sont:

- l'usure due au vieillissement
- la température de fonctionnement élevée
- la perte de lubrification

- l'huile contaminée (par des paillettes métalliques issues de la dégradation des billes ou de la bande de roulement)
- le défaut de montage

Les conséquences directes de cette défaillance sur les roulements sont :

- des trous dans les gorges de roulement intérieures et extérieures
- l'ondulation de leur surface de roulement
- l'attaque des billes
- la corrosion due à l'eau
- défaut de graissage, problème dû à la température
- décollement, effritement de surface provoqué par une surcharge.

Sur le système, ce type de défaut se traduit par des oscillations du couple de charge, une apparition de pertes supplémentaires et un jeu entre la bague interne et la bague externe du roulement entraînant des vibrations par les déplacements du rotor autour de l'axe longitudinale de la machine. Dans le cas le plus défavorable, la présence d'un roulement défectueux peut amener au blocage du moteur.

I-5-3-2-AUTRES DEFAILLANCES MECANIQUES:

Au stator, il n'y a pas de pièces mobiles donc a priori pas de défaillances mécaniques. Cependant, il peut apparaître des phénomènes d'oxydation liés à l'environnement de la machine et plus précisément au taux de salinité qui influe sur l'étanchéité et les contacteurs.

I-5-4-DEFAILLANCES D'AUTRES ORIGINES:

I-5-4-1-DEFAUTS DE LA CHARGE:

Les travaux menés dans ce domaine ont surtout concerné l'influence de la dynamique de la charge sur la détection et le diagnostic d'autres défauts tels que la rupture d'une barre ou l'excentricité du rotor. Ces études ont montré que l'introduction de perturbations ou d'oscillations par la charge pouvait masquer l'apparition des défauts du moteur.

Pour maîtriser l'étude des défauts de la charge, une connaissance parfaite de cet élément s'avère nécessaire. Pour ce faire, on peut procéder tout d'abord à une classification des différents types de charge les plus rencontrés:

- charge à couple constant : le couple n'est pas fonction de la vitesse (Ex : traction, convoyeur, tapis roulant,...),

- charge à couple variable : le couple varie en fonction de la vitesse (ex : pompe centrifuge, ventilateur,...),
- charge à puissance constante : tels que les broyeuses, les affûteuses, les bobineurs,....,

La charge peut donc être le siège de mauvaises conditions de fonctionnement qui aboutissent à l'apparition de défauts tels que:

- surcouples accidentels,
- à-coups de couple accidentels,
- perturbations mécaniques dues aux vibrations et phénomènes de résonance mécanique liés à la construction de la machine ou introduites par l'environnement extérieur,
- désalignement des différents arbres en jeu pour assurer l'accouplement et la rotation,
- manque de lubrifiants,
- vitesse critique de rotation,
- rupture de la charge.

Tous ces défauts de la charge vont naturellement avoir une influence dégradante sur les grandeurs mécaniques mises en jeu au niveau de l'entraînement, à savoir le couple électromagnétique et la vitesse de rotation. En outre, et selon la stratégie de commande adoptée pour le pilotage de l'entraînement, les grandeurs électriques vont être aussi plus ou moins affectées. [4]

I-6-LES DIFFERENTES CAUSES DE DEFAUTS ET LEURS CONSEQUENCES [6]

Au niveau d'une installation comportant des moteurs électriques, nous pouvons distinguer deux types de défauts : les défauts d'origine interne au moteur, et les défauts d'origine externe.

Les défauts d'origine interne

- court-circuit phase - terre,
- court-circuit entre phases,
- court-circuit entre spires,
- sur-échauffement des bobinages,
- rupture d'une barre dans les moteurs à cage,

- problèmes liés aux roulements,
- etc.

Les défauts d'origine externe

Leurs sources sont localisées en dehors du moteur électrique, mais leurs conséquences peuvent entraîner des dégradations dans celui-ci.

I-6-1-LES DEFAUTS INTERNES AU MOTEUR

L'enroulement statorique d'un moteur électrique est constitué de conducteurs en cuivre isolés par du vernis. La rupture de cette isolation peut provoquer un court-circuit permanent, entre une phase et la masse, entre deux voire trois phases, ou entre spires d'une même phase (Fig. I-5). Elle peut-être provoquée par des phénomènes électriques (décharges superficielles, surtensions), thermiques (sur-échauffement) ou même mécaniques (vibrations, efforts électrodynamiques sur les conducteurs).

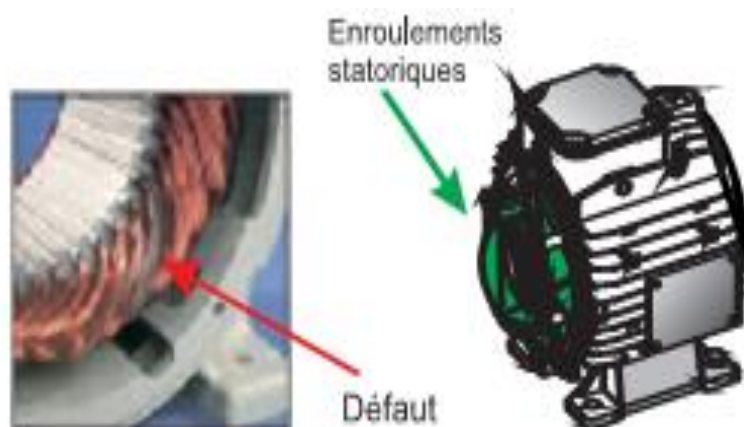


Fig. I-5: Les enroulements sont, pour les moteurs, les parties les plus vulnérables aux défauts électriques et aux incidents d'exploitation

La cause la plus fréquente d'avarie au niveau des enroulements d'un moteur est une élévation trop importante de leur température. Cette élévation est souvent provoquée par une surcharge impliquant une augmentation du courant circulant dans ces enroulements.

I-6-2- LES DEFAUTS EXTERNES AU MOTEUR

I-6-2-1- SURTENSIONS

Toute tension appliquée à un équipement dont la valeur crête sort des limites d'un gabarit défini par une norme ou une spécification est une surtension.

Les surtensions (Fig. I-6) temporaires ou permanentes peuvent avoir différentes origines :

- atmosphérique (coup de foudre),
- décharge électrostatique,
- manœuvre d'appareils connectés au même réseau,

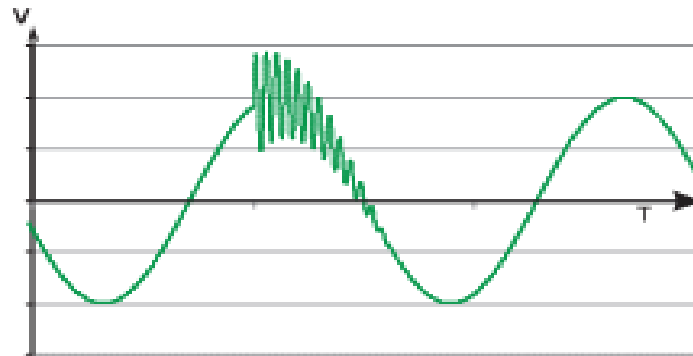


Fig. I-6: Exemple de surtension

Dans la majeure partie des cas, les surtensions se traduisent par un claquage diélectrique au niveau des enroulements du moteur, entraînant sa destruction.

I-6-2-2-PHASES DESEQUILIBREES

Un système triphasé est déséquilibré lorsque les trois tensions ne sont pas égales en amplitude et/ou ne sont pas déphasées de 120° les unes par rapport aux autres.

Le déséquilibre peut-être provoqué par l'ouverture d'une phase, par la présence de charges monophasées dans l'environnement proche du moteur, ou par la source elle-même.

Le calcul du déséquilibre peut-être approché par l'équation suivante :

$$\text{Déséquilibré}(\%) = 100 \times \text{MAX}\left(\frac{V_{\text{max}} - V_{\text{min}}}{V_{\text{moy}}}, \frac{V_{\text{max}} - V_{\text{min}}}{V_{\text{moy}}}\right)$$

Avec :

- V_{max} tension la plus élevée,
- V_{min} tension la plus faible,
- $V_{\text{moy}} = \frac{(V_1 + V_2 + V_3)}{3}$

Où : V_1, V_2 et V_3 les tensions des phases.

Les conséquences d'un déséquilibre des tensions appliquées à un moteur sont la diminution du couple utile et l'augmentation des pertes ;

I-6-3-LES DEFAUTS EXTERNES AU MOTEUR : PHENOMENES LIES A L'EXPLOITATION DU MOTEUR

I-6-3-1-DEMARRAGE TROP LONG ET/OU TROP FREQUENT

La phase de démarrage d'un moteur correspond à la durée qui lui est nécessaire pour atteindre sa vitesse de rotation nominale.

Compte tenu de ses caractéristiques intrinsèques, chaque moteur ne peut supporter qu'un nombre limité de démarrages, généralement précisé par son fabricant (nombre de démarrages par heure).

De même, chaque moteur a un temps de démarrage fonction de son courant de démarrage (Fig. I-7).

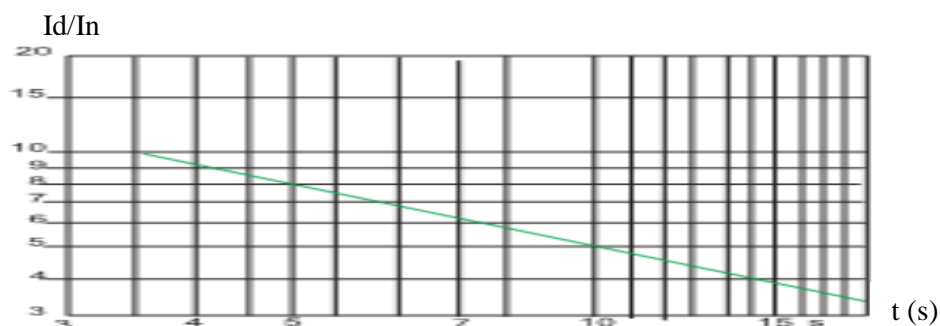


Fig. I-7: Temps de démarrage admissible des moteurs en fonction du rapport courant de démarrage sur courant nominal

I-6-3-2-BLOCAGE DU ROTOR

Le blocage d'un moteur, pour une cause mécanique, provoque une surintensité sensiblement égale au courant de démarrage. Mais l'échauffement qui en résulte est beaucoup plus important car les pertes dans le rotor sont maintenues à leur valeur maximale durant tout le blocage et la ventilation est supprimée si celle-ci est liée à la rotation du rotor. Les températures rotoriques peuvent devenir très importantes (350°C).

I-6-3-3-SURCHARGE (RALENTISSEMENT OU SURVITESSE)

La surcharge d'un moteur est provoquée par une augmentation du couple résistant ou par une baisse de la tension réseau (> 10 % de U_n).

L'augmentation du courant consommé par le moteur engendre un échauffement qui réduit sa durée de vie et peut lui être fatal à long terme. [6]

I-7-RECHERCHE INDISPENSABLE DES SYMPTOMES : [2]

Lorsque plusieurs défauts présentent les mêmes symptômes, il devient indispensable, pour l'opérateur, de rechercher systématiquement l'existence des symptômes en plus. Il faut insister d'emblée sur le fait que certains de ces symptômes ne sont pas spécifiques à un défaut en particulier et c'est l'analyse minutieuse qui doit faire montrer cela.

Le médecin, pour faire un diagnostic réussi, fait plusieurs tests à la recherche de nouveaux symptômes car ceux signalés par le système nerveux central le guident vers plusieurs causes, particulièrement si la maladie s'est aggravé avec le temps, dans ces cas, c'est l'analyse différentielle associée aux résultats des tests qui permettra de rattacher ces symptômes à l'un ou à l'autre des causes probables, à partir de là, on conclut que :

Le diagnostic est facile lorsqu'il est fait en temps réel et lorsque les symptômes sont clairs.

Le tableau (Tab.I.1) indique quelques modes de pannes typiques observées sur le moteur, ces informations sont données suite à des entretiens que nous avons eues avec des professeurs de spécialités machines.

Symptômes	Causes probables
- Intensité réduite, Vitesse élevée et Température réduite.	- Diminution de la charge.
- Température exagérée.	- Ventilation incorrecte.
- Intensité élevée, Vitesse réduite et Température élevée.	- Surcharge.
- Intensité exagérée, Vitesse très réduite et Température exagérée.	- Blocage de rotor ; - Mauvais branchement ; - Moteur chauffé.
- Vitesse réduite.	- Moteur faible.
- Intensité de l'une des phase est exagérée et Température exagérée ; ou - Intensité de deux phases est exagérée et Température exagérée ;ou - Intensité de l'une des phases est exagérée, Température exagérée et Vitesse réduite ; ou - Intensités de deux phases sont exagérées, Température exagérée et Vitesse réduite.	- Court circuit entre spires.
- Intensité d'une phase est nulle.	- Rupture d'une phase du stator ; - Phase non alimentée.
- Intensités de deux phases sont nulles.	- les deux phases non alimentées.

Tab.I.1 pannes types observées sur un moteur

I-8-SUPPORT DE L'INFORMATION

L'objectif du diagnostic étant de signaler à l'opérateur l'anomalie qui s'est produite dans le système surveillé subordonnée aux informations essentielles (symptômes) d'aide à la décision, ces dernières doivent être précises et de caractère à accès rapide.

D'habitude, pour arriver à caractériser les anomalies d'un système, il est nécessaire d'avoir l'avis d'un expert en plus des informations recueillies sur le comportement du procédé durant ses modes de fonctionnement variés. Ces dernières sont fournies soit par un modèle, à l'aide d'un simulateur ou en observant le comportement réel du système en fonctionnement, c.-à-d., à partir de mesures effectuées par les capteurs ou par constatation de symptômes, l'ensemble de ces informations est regroupé dans deux répertoires :

1. Base de connaissance : sur ce support, les connaissances acquises sur le système sont décrites sous forme de règles : "Si c1 ET Si c2 Alors conclusion". Ces règles établies par un expert peuvent être empreintes d'imprécisions et d'incertitudes. Avant l'avènement des techniques de l'intelligence artificielle, l'imprécis posait des problèmes, mais à l'heure actuelle, il est facilité par l'approche heuristique qui permet de traduire une règle en une donnée numérique.
2. Base de faits : contient l'information de base, nécessaire, au système de contrôle - commande pour l'établissement d'un diagnostic. Les faits peuvent être de deux types:
 - faits initiaux entrés par l'utilisateur et faits déduits par le système lui-même, on dit, alors, qu'il apprend ou essaye d'imiter le cerveau.
 - Séparés ou enchaînés, ces deux répertoires doivent regrouper l'essentiel sur les caractéristiques du procédé. [2]

I-9-CONCLUSION

La protection des moteurs est une fonction essentielle pour la continuité du fonctionnement des machines. Le choix du dispositif de protection doit être fait avec rigueur. La recherche d'anomalies et la rapidité de remise en route seront ainsi nettement améliorées. [4]

Dans ce chapitre nous avons essayé de regrouper le maximum d'information sur les symptômes qu'une machine asynchrone peut manifester. Pour chaque symptôme, une liste de causes possibles est nécessaire pour la détermination des possibles origines pour chaque type de défaut.

Chapitre 2

**LA LOGIQUE FLOUE
DANS LA CLASSIFICATION**

LA LOGIQUE FLOUE DANS LA CLASSIFICATION

II-1-INTRODUCTION

La classification est un domaine de recherche qui a été développé aux années soixante. Elle constitue le principe de base de plusieurs systèmes d'aide au diagnostic. Il s'agit d'affecter un ensemble d'objets (tissus, enregistrements, etc.) à un ensemble de classes selon la description de celles-ci. Cette description est effectuée grâce à des propriétés ou des conditions typiques propres aux classes. Les objets sont alors classifiés suivant qu'ils vérifient ou non ces conditions ou propriétés. [7]

Le terme de classification peut désigner deux approches distinctes : la classification supervisée et la classification non-supervisée (classification et clustering en anglais). Les méthodes non supervisées ont pour but de constituer des groupes d'exemples (ou des groupes d'attributs) en fonction des données observées, sans connaissance a priori. En revanche les méthodes supervisées utilisent la connaissance a priori sur l'appartenance d'un exemple à une classe pour construire un système de reconnaissance de ces classes. L'objectif de la classification supervisée est d'apprendre à l'aide d'un ensemble d'entraînement une procédure de classification qui permet de prédire l'appartenance d'un nouvel exemple à une classe.

L'objectif de la classification est d'identifier les classes auxquelles appartiennent des objets à partir de leurs caractéristiques ou attributs descriptifs. [8]

II-2-DIAGNOSTIC EN UTILISANT DES METHODES DE CLASSIFICATION

Les méthodes de classification sont une partie importante des méthodes basées sur la fouille des données.

Le principe de la surveillance d'un procédé dynamique à partir d'une méthode de classification, consiste à déterminer à chaque instant, la classe actuelle qui a préalablement été associée avec un état fonctionnel du système.

Une vision synthétique du procédé ne peut pas être apportée par la visualisation des valeurs précises de centaines de variables sur un synoptique. La classification, qui permet de projeter ces nombreuses valeurs dans un espace de dimension réduite, est un outil très intéressant pour le diagnostic. Dans cette espace, l'opérateur peut apprendre à identifier des zones à risque ou relatives à des dysfonctionnements

particuliers, il aura en conséquence des réactions beaucoup plus rapides aux problèmes.

Les méthodes de classification, spécialement les méthodes de type statistique, permettent d'établir un modèle des états du système (modèle comportemental), en incluant les états de défaillance. On peut recouvrir la connaissance de différents attributs relatifs à un comportement particulier, sans que ce comportement soit représenté par un ensemble de relations analytiques (modèle au sens classique de l'automatique). Ainsi, des caractéristiques statistiques d'un signal peuvent être considérées comme un « modèle » représentatif d'un comportement (normal ou non). Les modifications de ces caractéristiques permettent de détecter un fonctionnement anormal, que l'on pourra relier à certains défauts (variables en défaut) si l'on a une connaissance précise de leur influence.

L'utilisation de techniques de la Logique Floue pour le diagnostic de systèmes permet d'obtenir des résultats interprétables et offre une information utile pour la décision d'actions à effectuer en cas de défaillance. [9]

II-3-PARTITIONS FLOUES

Il y a naturellement une infinité de sous-ensembles flous associés à un ensemble net X . Une c -partition floue, au sens de Ruspini, peut être obtenue en définissant c sous-ensembles flous de X , A_1, A_2, \dots, A_c , dont la somme des différentes fonctions d'appartenance n'est autre que la fonction constante qui vaut 1 sur tout X :

$$\forall x \in X, \sum_{i=1}^c \mu_{A_i}(x) = 1$$

C'est cette conception de partition floue qui a été le plus souvent utilisée dans le domaine du regroupement. D'autres approches, n'obéissant pas à cette contrainte d'inspiration probabiliste, sont, cependant, aujourd'hui, utilisées dans certaines applications de reconnaissance des formes faisant appel aux sous-ensembles flous. [10]

Dans le cadre des ensembles flous, la classification peut être considérée comme une association floue. [11]

II-4-LA PLACE DES ENSEMBLES FLOUS DANS LES SYSTEMES DE RECONNAISSANCE

D'un point de vue global, l'utilisation d'ensembles flous peut se faire essentiellement à deux niveaux :

1. la représentation des attributs : il peut arriver que des données soient incomplètement spécifiées ou fortement bruitées, peu fiables, ou encore que certains attributs soient difficilement mesurables avec précision ou difficilement quantifiables numériquement. A ce moment-là, il est naturel de recourir à des ensembles flous pour décrire la valeur de ces paramètres. Les attributs sont alors des variables linguistiques, dont les valeurs sont construites avec des adjectifs et des adverbes du langage courant : grand, petit, très, un peu, etc ...
2. la représentation des classes : les classes ne forment plus une partition nette de l'espace, mais une partition floue où le recouvrement est autorisé. De cette façon, un même individu peut appartenir à plusieurs classes. [12]

II-5-MODELES FLOUS

Un modèle flou d'un système est une représentation de son comportement par les concepts de la théorie des sous-ensembles flous. Cette représentation caractérise la relation entre les variables d'entrées et de sorties du système.

Les modèles de Mamdani permettent une description linguistique du système par une base des règles floues de la forme:

Si x_1 est A_1 et x_2 est A_2 et ... et x_n est A_n Alors y_1 est B_1 et y_2 est B_2 et ... et y_m est B_m

Où

x_i et y_j sont respectivement les variables d'entrées et de sorties linguistiques

et

A_i et B_j sont des ensembles linguistiques flous.

Ces modèles nécessitent un grand nombre de règles pour approcher le comportement global d'un système : ils possèdent une capacité de représentation limitée. [13]

II-6-CLASSIFICATION PAR LA LOGIQUE FLOUE

II-6-1-Limites de l'approche classique

L'approche classique se heurte à deux problèmes majeurs : le premier est la qualité des enregistrements électro-cardiographiques recueillis, en fonction de la complexité du comportement physiologique du patient et du matériel utilisé pour acquérir ces données. Le deuxième problème est l'incertitude des interprétations des électrocardiogrammes par les spécialistes car deux anomalies peuvent être difficilement indiscernables.

Si la première question sur la qualité des données recueillies peut être résolue ou au moins allégée, par des techniques de débruitage des signaux, la deuxième, portant sur le chevauchement des classes, oblige les chercheurs à se tourner vers d'autres solutions plus proches du raisonnement humain. La classification conventionnelle identifie les individus comme membre d'une et seulement une classe. Cela revient à dire que les techniques « traditionnelles » visent à constituer des groupes mutuellement exclusifs.

Ces dernières décennies ont vu le développement des méthodes de classification à chevauchement pour répondre à cette limite. Cependant, ces méthodes ont été peu fréquemment utilisées, puisqu'elles ont plusieurs inconvénients pratiques : [7] l'appartenance d'un individu ne peut prendre que la valeur 1 ou 0 [14], elles produisent généralement trop de chevauchements entre les classes de sorte qu'il est difficile d'obtenir une solution spatiale (par l'intermédiaire de techniques de visualisation graphique). Par conséquent, ces techniques de classification à recouvrement ne disposent pas suffisamment d'informations sur les tendances d'appartenance. Autrement dit, les individus se trouvant dans la zone d'intersection appartiennent à poids égal à plusieurs segments à la fois.

II-6-2-La logique floue en classification

L'approche par la logique floue permet l'introduction du concept de degré d'appartenance, qui détermine les « forces » avec lesquelles un individu appartient aux différentes classes. Cela repose sur le fait que le concept flou ne cherche pas un point de rupture qui décide de l'appartenance d'un individu à une classe, mais qu'elle raisonne plutôt sur la base d'un intervalle de valeurs.

L'idée qui soutient l'approche est la possibilité d'appartenance à la fois à plusieurs classes. Partant dans ce sens, ce sont exclus toutes les méthodes de

classification « dure » contraignant les individus à être membre d'une, et une seule, classe. Quoique la probabilité d'appartenance des objets aux classes ne soit pas évidemment une exclusivité des techniques de classification floue, il nous semble que les résultats obtenus des approches floues sont plus pertinents en ce sens qu'ils donnent une matrice des degrés d'appartenance de chaque individu à chaque classe, ce qui n'est pas tout à fait le cas dans les autres analyses « classiques » de classification. [7]

II-6-3-Classification et identification des événements

La classification intervient quand une décision doit être prise parmi un nombre fini d'hypothèses concernant la nature et la forme du signal observé. La détection consiste à décider entre deux hypothèses : présence de défauts ou non présence de défauts (problème binaire à deux classes). La classification est un problème de détection avec un nombre de classes (hypothèses) supérieur à deux. L'objectif de la théorie de classification est de concevoir des classifieurs qui minimisent le nombre d'erreurs de décision. La structure suivante schématise d'une façon simplifiée les étapes introduites dans le principe d'une classification :

Espace des hypothèses → Espace des observations → Espaces des décisions

La classification permet d'affecter la signature détectée à une classe parmi K classes prédéfinies de signaux C_i ; $i = 1, \dots, K$ tel qu'il est montré sur la figure II-1. Le module de classification apparaît comme une généralisation d'un module de détection, cette fois-ci non binaire, mais multi-classes.



Fig II-1. Représentation schématique d'un classifieur

Il existe deux catégories de méthodes de classification : les méthodes supervisées et les méthodes non supervisées. Si, pour concevoir le classifieur, on dispose de données (observations) labellisées (dont la classe d'appartenance est connue), on parlera de classification supervisée, sinon on parlera de classification non supervisée. [15]

II-7-CONCEPTION DU CLASSIFICATEUR FLOU

II-7-1-Principe de base

Le cadre de la modélisation de l'imprécision (incertitude) est différent que ce soit pour construire l'espace de représentation ou pour prendre la décision. Une fonction d'appartenance quantifie le degré d'appartenance $\mu_{\omega}(x) \in [0,1]$ de chaque vecteur x à la classe ω . Une classe floue $(x, \mu_{\omega}(x))$ est un sous ensemble flou de l'espace Ω . Les différentes classes floues sont construites par apprentissage. M fonctions d'appartenances aux M classes sont associées à chaque forme x . Ces fonctions d'appartenances caractérisent la similitude entre x et le prototype de chaque classe floue. L'espace de classification est donc défini d'une façon graduelle qui est très intéressante pour le diagnostic en ligne.[17]

$$\sum_{i=1}^M \mu_{\omega}(x)$$

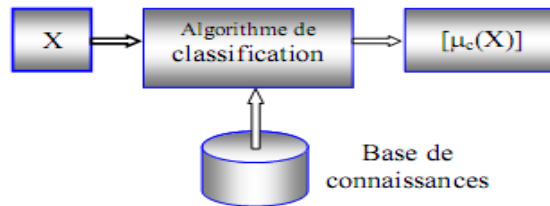


Fig. II-2 : Schéma synoptique d'un classificateur flou

La figure II-2 montre comment à partir d'une base de connaissances une entrée x est classée suivant un degré d'appartenance. D'après les références [7], [18] et [19] la mise en œuvre d'une méthode de classification floue implique deux étapes: la construction des fonctions d'appartenance et la définition des règles de décision.

II-7-2-Fonctions d'appartenance :

Dans le cas de notre travail, la détection est essentiellement conditionnée par cinq paramètres : la vitesse, la température et l'intensité des phases 1,2 et 3.

Chaque paramètre d'entrée est représenté par des valeurs linguistiques. Plus de détails seront donnés dans le chapitre suivant.

	NP	NG	ZE	PP	PG
$\Delta I_{1, 2, 3}/\Delta V/\Delta T$	[-20% -10%]	[-30% -20%]	[-10% 10%]	[10% 20%]	[20% 30%]

II-7-3-Base des règles floues

La base des règles floues définie comporte 29 règles

Règle	ΔV	ΔT	ΔI_1	ΔI_2	ΔI_3	Diagnostic
r ₁	ZE	ZE	NG	NG	ZE	phases 1 et 2 non alimentées
r ₂	ZE	ZE	NG	ZE	NG	phases 1 et 3 non alimentées
r ₃	ZE	ZE	ZE	NG	NG	phases 2 et 3 non alimentées
r ₄	ZE	ZE	NG	ZE	ZE	rupture d'une phase du stator
r ₅	ZE	ZE	NG	ZE	ZE	phase 1 non alimentée
r ₆	ZE	ZE	ZE	NG	ZE	rupture d'une phase du stator
r ₇	ZE	ZE	ZE	NG	ZE	phase 2 non alimentée
r ₈	ZE	ZE	ZE	ZE	NG	rupture d'une phase du stator
r ₉	ZE	ZE	ZE	ZE	NG	Phase 3 non alimentée
r ₁₀	PP	NP	NP	NP	NP	diminution de la charge
r ₁₁	NP	ZE	ZE	ZE	ZE	Moteur faible
r ₁₂	ZE	ZE	ZE	ZE	ZE	Fonctionnement normale
r ₁₃	ZE	PG	ZE	ZE	ZE	ventilation incorrecte
r ₁₄	NP	PP	PP	PP	PP	Surcharge
r ₁₅	ZE	PG	PG	ZE	ZE	court circuit entre spires
r ₁₆	ZE	PG	ZE	PG	ZE	court circuit entre spires
r ₁₇	ZE	PG	ZE	ZE	PG	court circuit entre spires
r ₁₈	ZE	PG	PG	PG	ZE	court circuit entre spires
r ₁₉	ZE	PG	PG	ZE	PG	court circuit entre spires
r ₂₀	ZE	PG	ZE	PG	PG	court circuit entre spires
r ₂₁	NP	PG	PG	ZE	ZE	court circuit entre spire
r ₂₂	NP	PG	ZE	PG	ZE	court circuit entre spires
r ₂₃	NP	PG	ZE	ZE	PG	court circuit entre spires
r ₂₄	NP	PG	PG	PG	ZE	court circuit entre spires
r ₂₅	NP	PG	PG	ZE	PG	court circuit entre spires
r ₂₇	NP	PG	ZE	PG	PG	court circuit entre spires
r ₂₇	NG	PG	PG	PG	PG	blocage de rotor
r ₂₈	NG	PG	PG	PG	PG	Mauvais branchement
r ₂₉	NG	PG	PG	PG	PG	Moteur chauffé

II-8-METHODES DE CLASSIFICATION

La problématique du tri consiste à affecter les objets d'un ensemble A à des catégories ou classes prédéfinies. Ce type de question fait partie des problèmes de classification. [20]

En général, les méthodes de classification sont basées sur l'optimisation d'une fonction objective, laquelle dépend du type de similitude défini dans l'ensemble des données (ou éléments) à classer. De ce fait, il existe des techniques qui minimisent les

distances entre objets du même groupe et d'autres qui maximisent l'appartenance des objets à une classe. [21] Il existe plusieurs méthodes de classification tels que :

- Méthodes de Groupement (“Clustering”);
- Méthodes Statistiques ;
- Arbres de Décisions et Inductions ;
- Réseaux de Neurones (RN). [21]

Nous utilisons dans cette application la méthode de groupement où les techniques de groupement essaient de trouver une partition de l'espace en regroupant les éléments, de nature quantitative $x \in \mathcal{R}^D$, d'un ensemble :

$X = \{x_1, \dots, x_N\}$ en un nombre K de groupes (ou classes), selon leurs ressemblances ou bien leur proximité.

Typiquement, le concept de similitude est défini à partir de la distance entre un vecteur de données et le prototype (centre) du groupe (classe). Ces groupes doivent satisfaire deux critères :

- Chaque groupe ou classe est homogène: les objets appartenant au même groupe ou classe doivent être similaires entre eux (le plus proche possible),
- Chaque groupe ou classe doit être distinct des autres: les objets qui appartiennent au même groupe doivent être différents des objets appartenant à d'autres groupes (le plus éloigné possible des autres groupes).

Les caractéristiques des prototypes, qui ne sont pas habituellement connues à l'avance, doivent être choisies aléatoirement et sont mises à jour en même temps qu'est faite la partition de l'espace.

Les méthodes de regroupement sont basées sur l'optimisation itérative d'une fonction objectif (par exemple: la variabilité dans les classes), permettant d'obtenir des classes homogènes et les plus distinctes possibles.

K-Moyennes: L'algorithme populaire et le plus connu des méthodes de regroupement est celui des K -moyennes (K -means). Cet algorithme réalise une partition stricte (“dure”), c'est à dire que chaque objet n'est assigné qu'à une seule classe. Il s'agit d'une procédure simple et itérative dont l'idée générale est de classer un ensemble $X = \{x_1, \dots, x_N\}$ d'éléments dans un nombre K de groupes (“clusters”) fixés à l'avance. Chaque élément est un vecteur $x \in \mathcal{R}^D$. La partition est faite de telle façon que les éléments à l'intérieur d'un groupe sont les plus semblables

possible, et les plus distincts des éléments appartenant à d'autres groupes. Le regroupement est réalisé en deux étapes: d'abord, il faut définir les K centres ou prototypes de chaque groupe, ensuite, chaque élément est associé au groupe dont il est le plus proche du centre. Ainsi, chaque groupe est caractérisé par son centre V_k et par les éléments qui lui ont été associés. Le centre du groupe est le point dans l'espace qui minimise la somme de la distance de tous les éléments qui font partie du groupe.

C-Moyennes Floues: Une extension directe de l'algorithme K -moyennes est l'algorithme des C-Moyennes Floues, où la notion d'ensemble flou est introduite dans la définition des classes. Chaque objet a un degré d'appartenance (ou de validité) associé à chaque classe. [21]

II-9-RESULTATS DE SIMULATION

II-9-1-Modélisation à l'aide de Clustering soustractive

Clustering peut être une technique très efficace pour identifier les regroupements naturels dans les données d'un grand ensemble de données, permettant ainsi une représentation concise des relations intégrées dans les données. Dans cet exemple, cinq entrées (la vitesse, la température et l'intensité des phases 1,2 et 3) et cinq sorties (Fonctionnement normale, Surcharge, blocage de rotor, Mauvais branchement et Moteur chauffé).

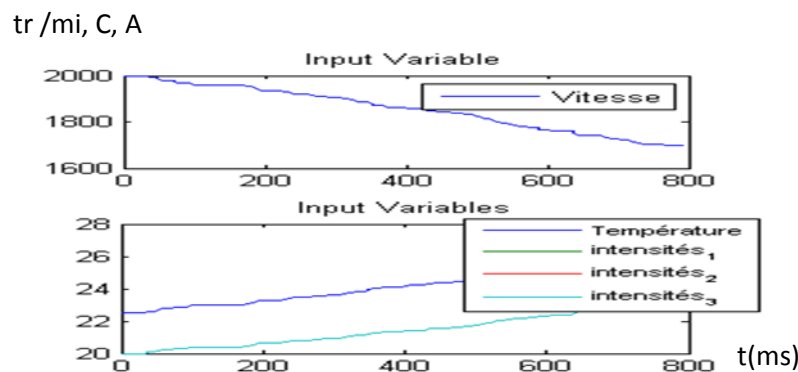


Fig. II-3 : la variation des entrées

Nous allons modéliser la relation entre les variables d'entrée et la variable de sortie en regroupant d'abord les données. Le centre de cluster va alors être utilisé comme une base pour définir un système d'inférence floue (SIF), qui peut ensuite être utilisé pour explorer et comprendre le modèle.

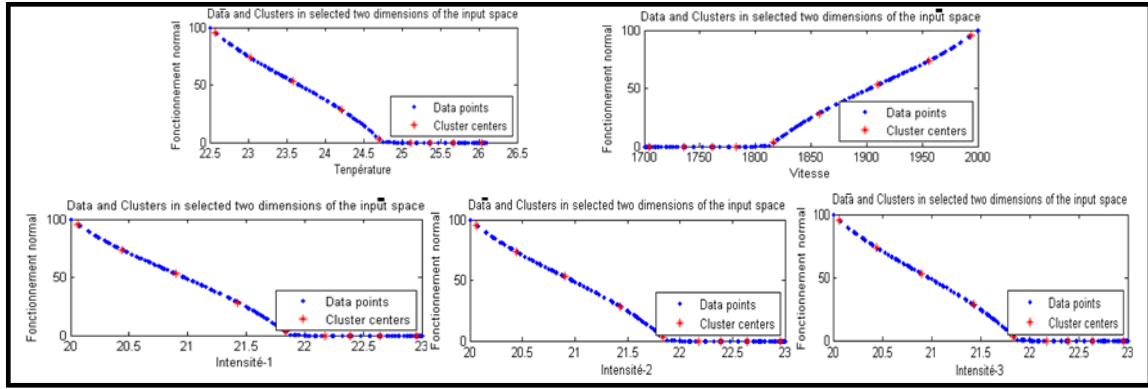


Fig. II-4 : La relation entre le fonctionnement normal du moteur et la variation de symptômes

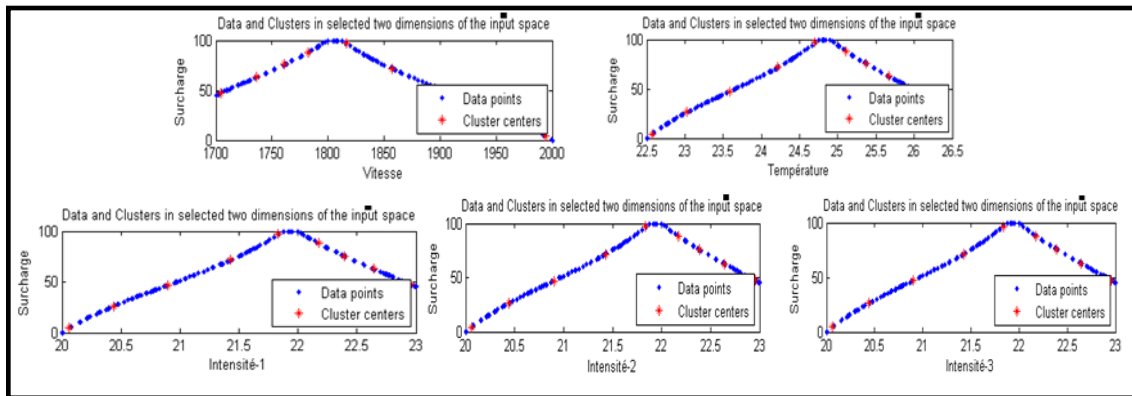


Fig. II-5 : La relation entre la surcharge du moteur et la variation de symptômes

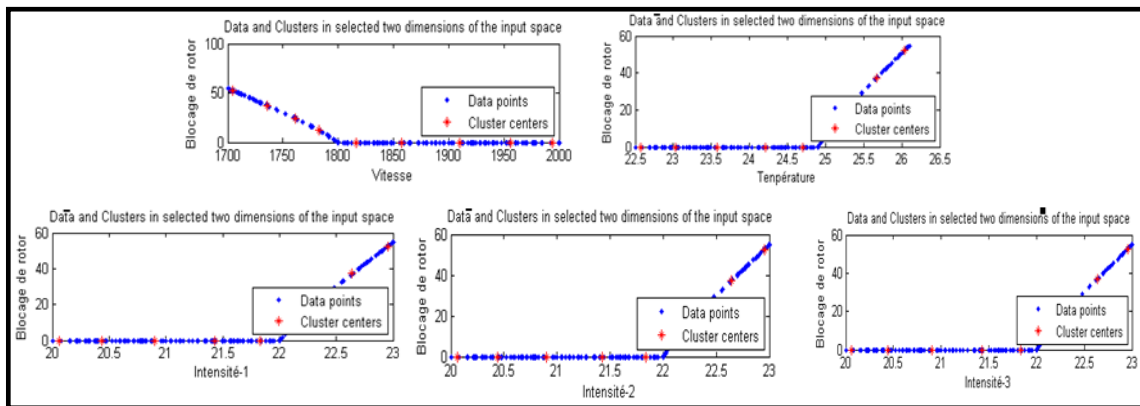


Fig. II-6 : La relation entre le blocage de rotor du moteur et la variation de symptômes

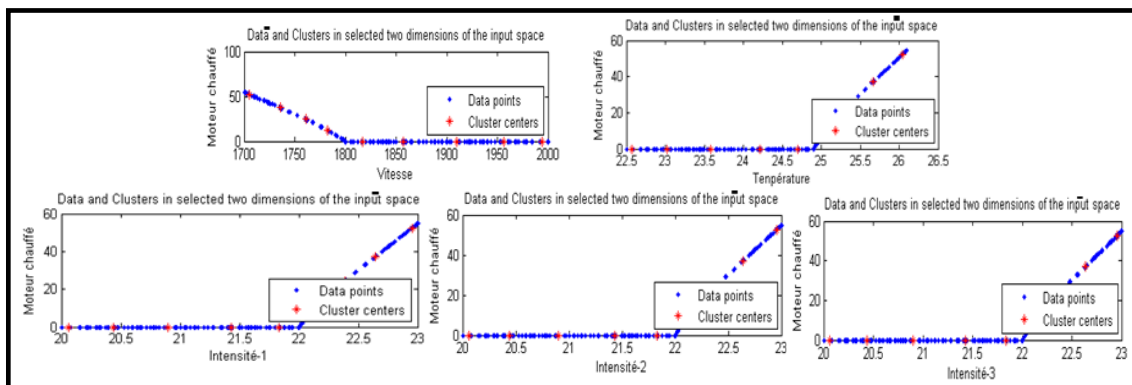


Fig. II-7 : La relation entre le moteur chauffé et la variation de symptômes

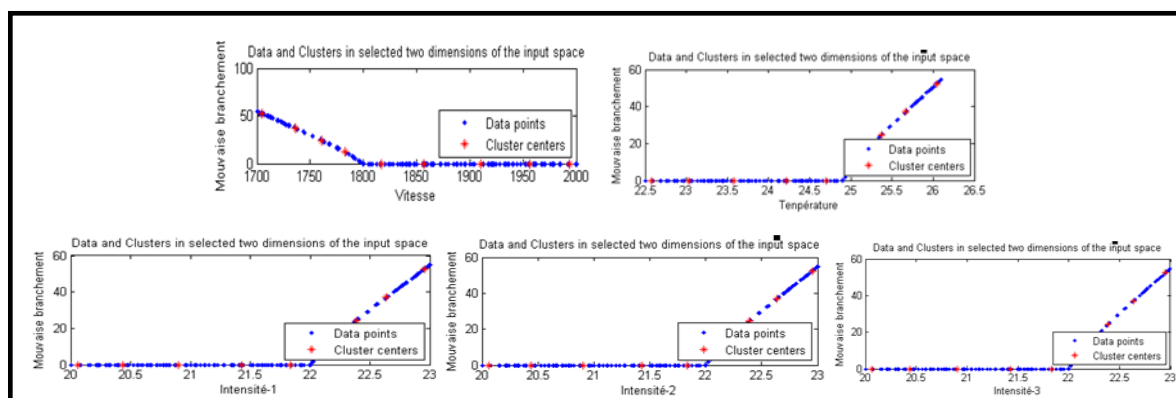


Fig. II-8 : La relation entre le mauvais branchement du moteur et la variation des symptômes

Grâce à ces résultats, nous pouvons confirmer que les entrées ont la même relation avec les trois dernières sorties (blocage de rotor, Mauvais branchement et Moteur chauffé), et il ya une relation différente pour la première et la deuxième sorties (Fonctionnement normale et Surcharge).

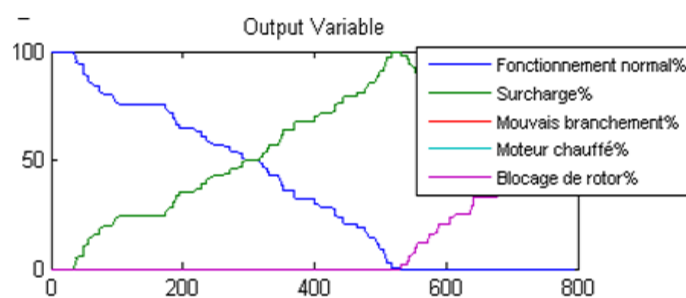


Fig. II-9 : la simulation pour le diagnostic des défaillances

II-9-2 Regroupement de données par l'utilisation de l'outil GUI clusters

L'outil de clustering GUI implémente les fonctions de cluster de données floues FCM et vous permet d'effectuer le regroupement des données.

Dans cet exemple, nous obtenons le résultat suivant :

Classes	Diagnostic
Classe 1	-Fonctionnement normale
Classe 2	-Surcharge
Classe 3	-blocage de rotor, -Mouvais branchement et -Moteur chauffé

II-9-3-Résultats De La Classification

L'application de cette méthode aux 29 règles qui seront utilisées dans le diagnostic, nous avons obtenu les résultats suivants :

Règle	Classes
Règle r ₁	Classe 1
Règle r ₂	
Règle r ₃	
Règle r ₄	Classe 2
Règle r ₅	
Règle r ₆	
Règle r ₇	
Règle r ₈	
Règle r ₉	
Règle r ₁₀	Classe 3
Règle r ₁₁	Classe 4
Règle r ₁₂	Classe 5
Règle r ₁₃	Classe 6
Règle r ₁₄	Classe 7
Règle r ₁₅	Classe 8
Règle r ₁₆	Classe 9
Règle r ₁₇	
Règle r ₁₈	
Règle r ₁₉	
Règle r ₂₀	
Règle r ₂₁	
Règle r ₂₂	
Règle r ₂₃	
Règle r ₂₄	
Règle r ₂₅	
Règle r ₂₇	
Règle r ₂₇	Classe 9
Règle r ₂₈	
Règle r ₂₉	

II-10-CONCLUSION

La logique floue est un paradigme efficace pour gérer l'imprécision. Elle peut être utilisée pour faire des observations floues ou imprécises pour les entrées et pourtant arriver à des valeurs claires et précises pour les sorties. En outre, le système d'inférence floue (SIF) est un moyen simple et de bon sens pour construire des systèmes complexes sans utiliser les équations analytiques.

Clustering et la logique floue ainsi fournissent un moyen simple mais puissant pour modéliser la relation que nous voulons étudier.

La littérature contient des algorithmes capables d'estimer le nombre de classes automatiquement. Nous souhaitons donc améliorer la robustesse de notre méthode en faisant appel à ces approches. [16]

Chapitre 3

SYSTEME DE DIAGNOSTIC DES DEFAILLANCES DE LA MACHINE ASYNCHRONE

SYSTEME DE DIAGNOSTIC DES DEFAILLANCES DE LA MACHINE ASYNCHRONE

III-1-INTRODUCTION

Dans le fonctionnement de l'esprit humain, les incertitudes sont particulièrement remarquables, par exemple dans les fonctions de reconnaissance et de raisonnement.

Le souci d'automatiser ou d'assister de façon automatique les actions humaines, naturellement empiriques et empreintes d'imprécisions, comme dans le cadre d'une aide à la décision ou du diagnostic, renforce l'intérêt des scientifiques pour l'approche floue et justifie son intense développement au cours de ces dernières années.

C'est pour les possibilités qu'elle offre de gérer l'incertitude et l'imprécision, que nous nous sommes intéressés à la logique floue. [22]

Les systèmes flous appartiennent à la classe des 'systèmes à base de connaissance'. Leur but principal consiste à implémenter un savoir faire humain, ou des règles heuristiques, sous la forme d'un programme informatique. La logique floue fournit un formalisme mathématique pour réaliser ce but. Les régulateurs flous modélisent l'expérience humaine sous la forme de règles linguistiques 'Si...Alors'. Un moteur d'inférences calcule les actions de commande pour chacune des situations données. Les algorithmes basés sur la logique floue sont considérés comme une solution très intéressante pour le réglage de systèmes non linéaires ou les systèmes pour les quels n'existe pas de modèle mathématique. [23]

Pour cette raison nous avons décidé d'utiliser la logique floue pour résoudre le problème de diagnostic des défaillances des moteurs asynchrones triphasés.

III-2-MISE EN ŒUVRE DU DIAGNOSTIC

La mise en œuvre du diagnostic est difficile et cette difficulté devient plus grande avec la complexité du système étudié. Pour la réaliser nous devons :

- avoir une connaissance approfondie de la machine en fonctionnement et de ses différents paramètres ;
- faire le maximum de mesure ;
- connaître les phénomènes en interaction ;
- enfin simuler les pannes avec le modèle représentatif.

Ce dernier point est bien souvent une aide précieuse dans le cas où l'on ne dispose pas de données expérimentales et devant une dégradation énergétique inexplicée. Evidemment plus le modèle représentatif reproduit fidèlement le

fonctionnement de la machine et plus le diagnostic est facilité (les symptômes seront retenus avec plus de précision).

III-2-1-IDENTIFICATION DU DEFAUT

Cette opération permet de connaître les caractéristiques du défaut (le syndrome). Les symptômes sont le moyen unique d'identification. Il se peut qu'un ensemble de défauts présente les mêmes symptômes globaux et pour faire la distinction entre tel ou tel défaut, il faut revenir vers le diagnostic différentiel et effectuer des tests de précision sur l'identification de nouveaux symptômes. La découverte de nouvelles caractéristiques confirme le défaut détecté. [2]

Notre étude est appliquée sur les moteurs asynchrones triphasés, pour connaître les caractéristiques du défaut (le syndrome), nous avons choisi les paramètres suivants :

- **Intensité I:** (I_1, I_2, I_3).

$$\Delta I = I_{\text{mesurée}} - I_{\text{nominal}}$$

	NG	NP	ZE	PP	PG
$\Delta I_{1,2,3}$	[-30% -20%]	[-20% -10%]	[-10% 10%]	[10% 20%]	[20% 30%]

- **Température T :**

$$\Delta T = T_{\text{mesurée}} - T_{\text{nominal}}$$

	NG	NP	ZE	PP	PG
ΔT	[-30% -20%]	[-20% -10%]	[-10% 10%]	[10% 20%]	[20% 30%]

- **Vitesse V :**

$$\Delta V = V_{\text{mesurée}} - V_{\text{nominal}}$$

	NG	NP	ZE	PP	PG
ΔV	[-30% -20%]	[-20% -10%]	[-10% 10%]	[10% 20%]	[20% 30%]

III-2-2-LOCALISATION DE LA SOURCE DE PERTURBATION

Là aussi, la localisation fait appel au contenu de la base des faits, qui permet le retour vers les causes probables pour localiser la source réelle de l'incident. [2]

Pour chaque symptôme est associée une liste de causes possibles. Dans notre étude, nous avons recueilli les causes qui ont les mêmes symptômes dans des classes :

Classe 1	Deux phases non alimentées.
Classe 2	Rupture d'une phase du stator, Ou elle n'est pas alimentée.
Classe 3	Diminution de la charge.
Classe 4	Moteur faible.
Classe 5	Fonctionnement normal.
Classe 6	Ventilation incorrecte.
Classe 7	Surcharge.
Classe 8	Court circuit entre spires.
Classe 9	Blocage de rotor Ou Mauvais branchement Ou Moteur chauffé.

III-3-LE RECOURS A LA LOGIQUE FLOUE

L'intérêt de recourir à la logique floue pour résoudre le problème de diagnostic des défaillances est dû principalement aux avantages suivants :

- La non disponibilité de modèle explicite pour le cas de défaillances est un problème que seul les TIA (Technique de l'Intelligence Artificielle) peuvent résoudre car basées sur la non nécessité de modélisation.
- L'insertion de connaissances d'experts, données sous forme linguistique soit pour la détection, le diagnostic ou la localisation de défauts ce qui permet de rendre le système de contrôle commande apte à effectuer l'insertion automatique des symptômes et la mémorisation de chaque nouvel acte (possibilité de son auto - instruction).
- La simplicité dans la mise en œuvre, une fois préparées les règles d'expert.
- La robustesse face aux perturbations.

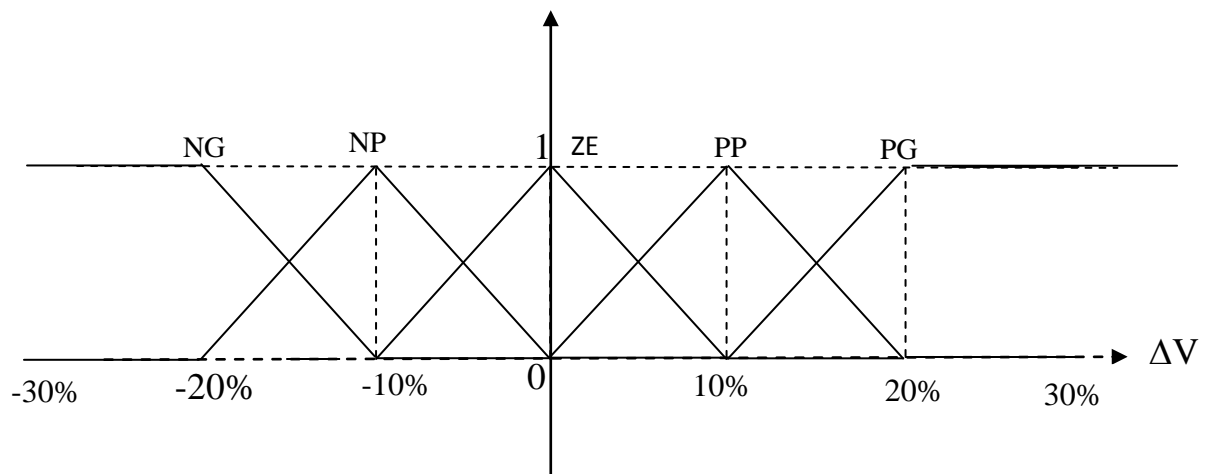
III-4-APPLICATION A LA DETECTION

La reproduction comportementale du procédé dépend énormément des mesures fournies par le type de capteurs utilisés. Pour notre cas, nous avons considéré cinq capteurs, pour la mesure de courant, de vitesse et de température.

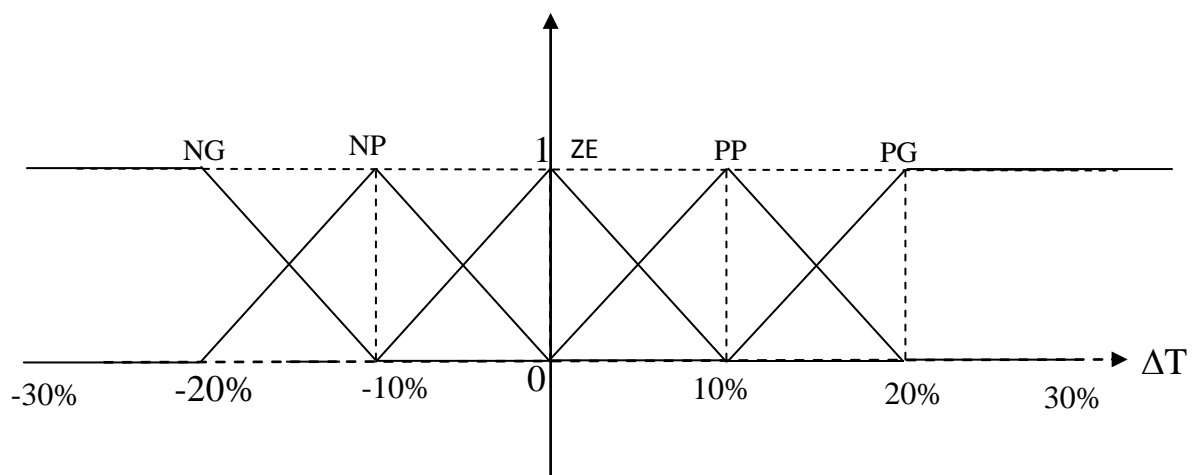
III-4-1-FUZZIFICATION

La fuzzification est l'opération qui à une valeur donnée d'une variable (vitesse, couple, ...), associe un sous-ensemble flou particulier. On utilise pour cela des variables linguistiques représentées mathématiquement par des fonctions d'appartenance qui quantifient l'incertitude relative à l'appartenance de la variable à cet ensemble. Ces variables linguistiques sont choisies de façon à modéliser les observations d'un être humain qui qualifiera un phénomène de positif, négatif, nul, petit, grand ou moyen ; l'ensemble constitue un univers de discours. [24]

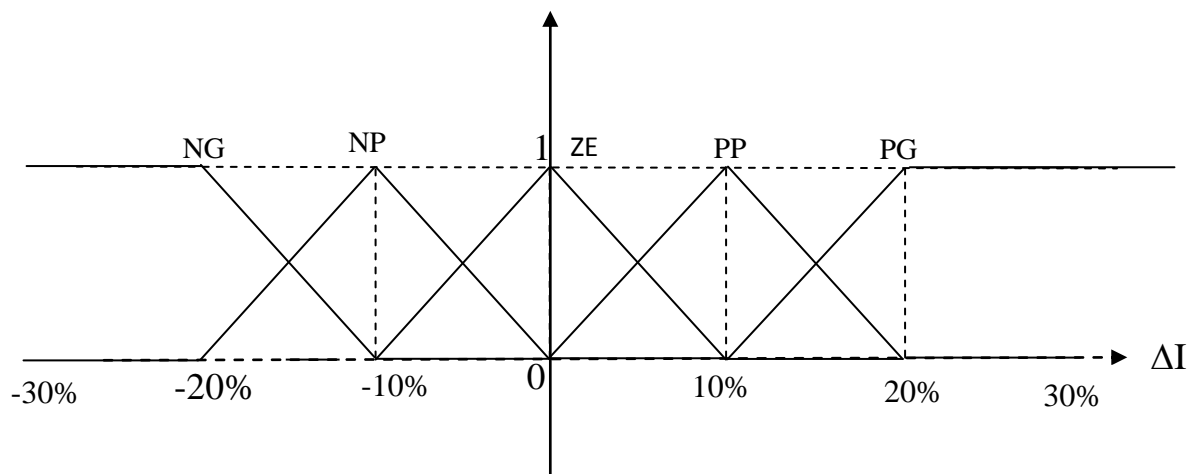
Fonctions d'appartenance avec cinq sous ensembles flous pour la variable linguistique vitesse (entrée):



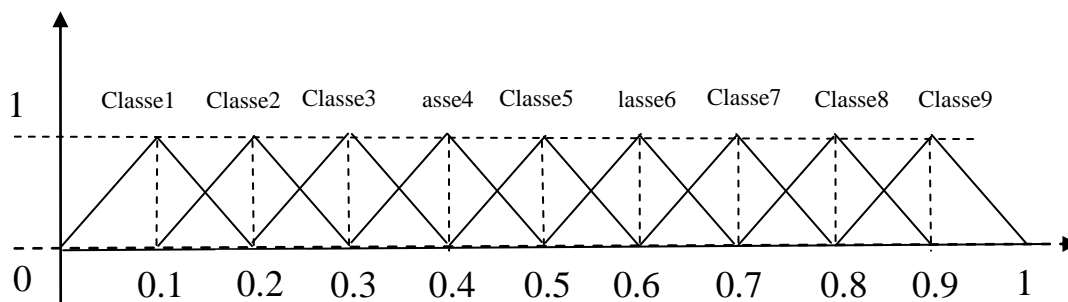
Fonctions d'appartenance avec cinq sous ensembles flous pour la variable linguistique température (entrée):



Fonctions d'appartenance avec cinq sous ensembles flous pour la variable linguistique courant de phase:



Fonctions d'appartenance avec neuf sous ensembles flous pour la variable linguistique Classes de défaillances (sortie) :



III-4-2-INFERENCE :

Pour décider du degré d'appartenance de la sortie aux sous-ensembles de sorties, il est nécessaire de déterminer des règles floues ou règles d'interférence. Une règle floue est une proposition floue exprimée sous la forme suivante:

Si x_1 est ...et si x_2 est... Alors y est....

L'espace des entrées d'un contrôleur flou constitue la prémisse de la règle et l'espace des sorties constitue la conclusion ou la conséquence de la règle. [2]

Selon les informations du (tab.I1), nous avons les règles suivantes :

Règle 1-SI les intensités des phases 1 et 2 sont nulles **Alors** phases 1 et 2 non alimentées.

Règle 2-SI les intensités des phases 1 et 3 sont nulles **Alors** phases 1 et 3 non alimentées.

- Règle 3-SI** les intensités des phases 2 et 3 sont nulles **Alors** phases 2 et 3 non alimentées.
- Règle 4-SI** l'intensité de phase 1 est nulle **Alors** rupture d'une phase du stator **ou** phase 1 non alimentée.
- Règle 5-SI** l'intensité de phase 2 est nulle **Alors** rupture d'une phase du stator **ou** phase 2 non alimentée.
- Règle 6-SI** l'intensité de phase 3 est nulle **Alors** rupture d'une phase du stator **ou** Phase 3 non alimentée.
- Règle 7-SI** l'intensité **et** la température est réduite **et** la vitesse est élevée **Alors** diminution de la charge.
- Règle 8-SI** la vitesse est réduite **Alors** Moteur faible.
- Règle 9-SI** l'intensité, la température **et** la vitesse sont nominales **Alors** Fonctionnement normal.
- Règle 10-SI** la température est exagérée **Alors** ventilation incorrecte.
- Règle 11-SI** l'intensité **et** la température sont élevées **et** la vitesse est réduite **Alors** surcharge.
- Règle 12-SI** l'intensité de phase 1 **et** la température sont exagérées **ou** l'intensité de phase 2 **et** la température sont exagérées **ou** l'intensité de phase 3 **et** la température sont exagérées **ou** l'intensité des phases 1 et 2 **et** la température sont exagérées **ou** L'intensité des phases 1 et 3 **et** la température sont exagérées **ou** l'intensité des phases 2 et 3 **et** la température sont exagérées **ou** l'intensité de phase 1 et la température sont exagérées **et** la vitesse est réduite **ou** l'intensité de phase 2 **et** la température sont exagérées et la vitesse est réduite **ou** l'intensité de phase 3 **et** la température exagérée **et** la vitesse est réduite **ou** l'intensité des phases 2 et 3 **et** la température sont exagérées **et** la vitesse est réduite **ou** l'intensité des phases 1 et 3 **et** la température sont exagérées **et** la vitesse est réduite **ou** l'intensité des phases 1 et 2 **et** la température sont exagérées **et** la vitesse est réduite **Alors** court circuit entre spires.
- Règle 13-SI** l'intensité **et** la température sont exagérées **et** la vitesse est très réduite **Alors** blocage de rotor **ou** Mauvais branchement **ou** Moteur chauffé.

La détection du moindre incident en reproduction comportementale sera prise en considération à travers la détection de(s) symptôme(s) perçu avec celui-ci (c.-à-d. à

travers l'ensemble flou représentatif de la variable de sortie choisie). C'est le résultat trouvé ou « symptôme détecté », par renvoi à la base de connaissance. [2]

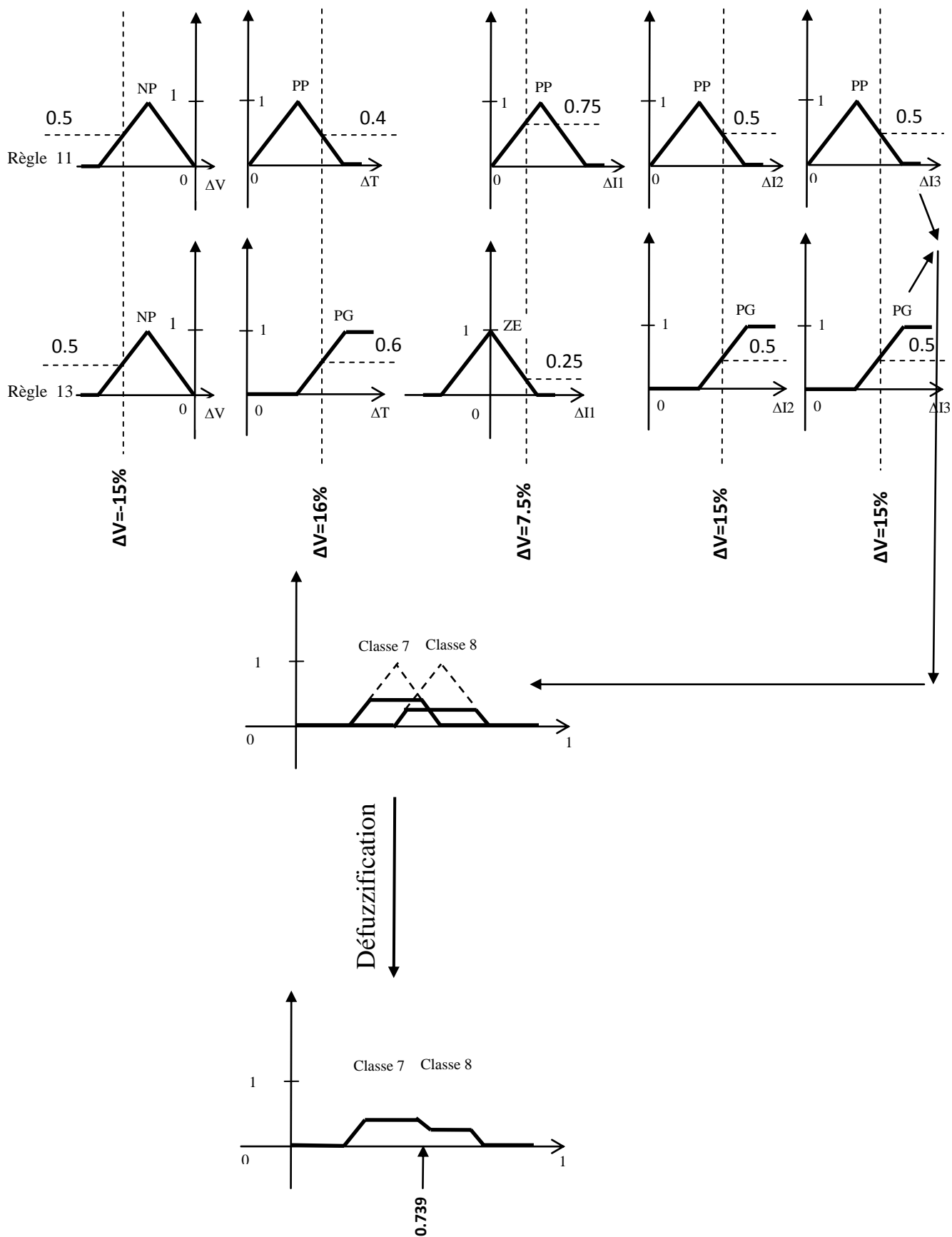
III-4-3-DEFUZZIFICATION :

La défuzzification consiste en une transformation de l'information floue issue de l'inférence en une information déterministe directement applicable au processus.

On calcule le résultat par la méthode de centre de gravité, ces méthodes calculent le centre de gravité de la surface obtenue après l'étape d'inférence et le projette sur l'axe horizontal, on réalise ainsi la moyenne de toutes les valeurs de la variable de sortie, chacune pondérée par son degré d'appartenance. [25]

Dans cet exemple nous supposons que :

- la vitesse = 1224 tr/min,
- la température = 26.1 C° ,
- l'intensité₁ =9.245A et l'intensité_{2,3} =9.89A.



III-5-CONCLUSION

L'élaboration d'une solution permettant le retour au régime normal doit être précédé par la détection et le diagnostic des symptômes associés, pour en trouver la cause et assurer la protection de l'équipement. Sachant que le diagnostic d'un procédé pour la localisation de l'origine exacte du défaut, doit faire l'objet d'une minutieuse vérification. Celle-ci nécessite un taux d'information énorme pour pouvoir séparer chaque défaut à part.

Dans ce chapitre, nous avons développé un système de diagnostic des défaillances pour la localisation de l'origine du défaut des moteurs asynchrones triphasés, en adoptant la reproduction comportementale en solution, les techniques de la logique floue s'apprêteront bien pour jouer le rôle de détecteur de défaut une fois reliées aux capteurs dont la vocation est de suivre chaque pas dans l'évolution d'état réel du procédé.

Chapitre 4

SIMULATION ET RESULTATS

SIMULATION ET RESULTATS

IV-1-PRESENTATION DU PROCEDE

Caractéristiques principales de la machine asynchrone

- Puissance nominale : 4 kW,
- Couple de charge nominale : 25 Nm;
- Courant nominal : 15/8.6 A;
- Tension nominale : 220/380, V
- Fréquence statorique nominale : 50Hz ;
- Vitesse nominale de rotation du rotor : 1440 tr/nm
- Facteur de puissance nominal : 0.437
- Nombre de paires de pôles : p=2.

Paramètres électriques :

- Résistance d'une phase du stator : $R_s = 1.2 \Omega$
- Résistance d'une phase du rotor : $R_r = 1.8 \Omega$
- Inductance propre d'une phase statorique : $L_s = 0.1554 \text{ H}$
- Inductance propre d'une phase rotorique : $L_r = 0.1568 \text{ H}$
- Inductance mutuelle : $m = 0.1500 \text{ H}$

Paramètres mécaniques :

- Moment d'inertie des masses tournantes : $J = 0.02 \text{ H kg.m}^2$
- Coefficient de frottement : $f = 0.0035$

IV-2-SCHEMA DE PRINCIPE

Le procédé d'étude est un moteur asynchrone triphasé avec comme caractéristiques :

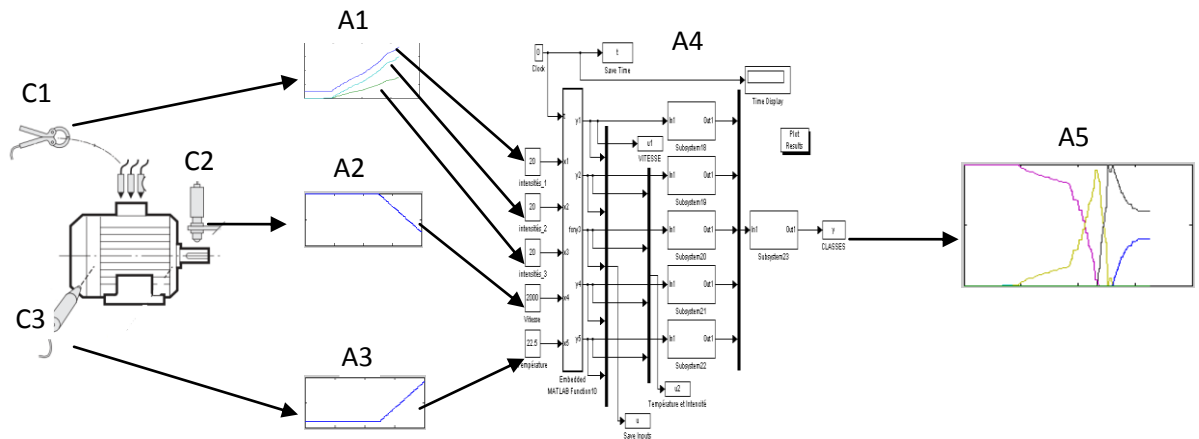


Fig. IV-1 schéma de principe du procédé sous traitement

L'objectif de cette application est de surveiller les changements dans la vitesse (A2), la température (A3) et l'intensité (A1) Selon les capteurs (C1, C2, C3) qui sont installés sur le moteur et que de fournir à ces changements en permanence, et quand de problème, le système (A4) est analysée ces données et diagnostiquée les causes du déséquilibre et ensuite affiché sur l'écran (A5) pour aider à prendre les actions nécessaires.

IV-3-MODELE ANALYTIQUE

Nous supposons que le comportement du procédé est décrit par le modèle linéaire suivant :

Etant donné l'intervalle de temps $t=[0 \dots 8]$ secondes

1- Pour $t \in [0 \dots 5]$:

$$V_M = V_N; \quad T_M = T_N; \quad I_{1M} = I_{1N};$$

$$I_{2M} = I_{2N}; \quad I_{3M} = I_{3N}.$$

2- Pour $t \in]5 \dots 8]$:

$$V_M = -72t + 1800, \quad T_M = 1.2t + 16.5, \quad I_{1M} = 0.215t + 7.525,$$

$$I_{2M} = 0.43t + 6.45, \quad I_{3M} = 0.43t + 6.45.$$

Avec:

$$V_N = 1440 \text{ tr/min}; \quad T_N = 22.5 \text{ } ^\circ\text{C}; \quad I_{1N} = 8.6 \text{ A};$$

$$I_{2N} = 8.6 \text{ A}; \quad I_{3N} = 8.6 \text{ A}.$$

Où

- t : le temps du test en seconde ;
- V_M : la vitesse mesurée (A2) ; V_N : la vitesse nominale ;
- T_M : la température mesurée (A3) ; T_N : température nominale ;
- I_{1M} : l'intensité mesurée de la phase 1 (A1) ;
- I_{1N} : l'intensité nominale de la phase 1;
- I_{2M} : l'intensité mesurée de la phase 2 (A1) ;
- I_{2N} : l'intensité nominale de la phase 2;
- I_{3M} : l'intensité mesurée de la phase 3 (A1) ;
- I_{3N} : l'intensité nominale de la phase 3.

IV-4-SIMULATION

IV-4-1- Emulation des données pour la simulation:

Nous faisons l'application dans l'intervalle du temps 8 secondes ; Pour connaître le comportement du système, on provoque des déséquilibres après la cinquième seconde au niveau de la vitesse, la température et l'intensité du courant.

Variation de la vitesse

La figure IV-2 suivant montre la courbe de la variation de la vitesse où l'on note une diminution de la vitesse après la cinquième seconde.

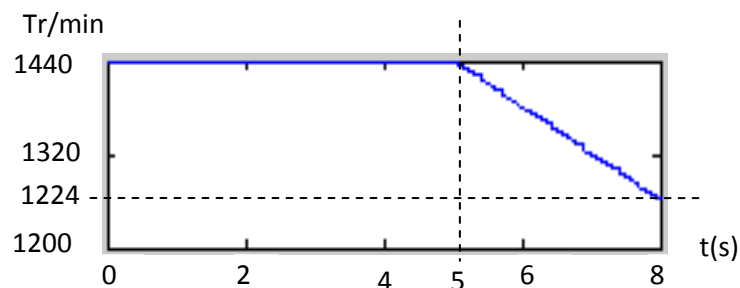


Fig IV-2: la variation de la vitesse

Pour $t \in [0-- 5]$ on a $V_M = 1440$ tr/min

Pour $t \in]5-- 8]$ on a $V_M = -72t + 1800$

Variation de la température

La figure IV-3 montre la courbe de la variation de la température où l'on note une augmentation de la température après la cinquième seconde.

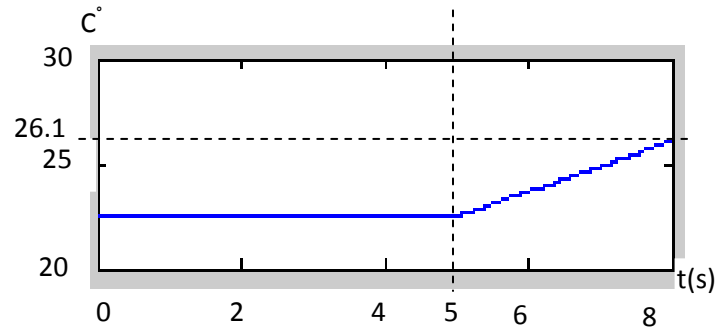


Fig IV-3 : La variation de la température

Pour $t \in [0-- 5]$ on a $T_M = 22.5 \text{ C}^\circ$

Pour $t \in]5-- 8]$ on a $T_M = 1.2t + 16.5$

Variation du courant de la phase 1

La figure IV-4 montre la courbe de la variation de l'intensité I_1 où l'on note une augmentation de l'intensité après la cinquième seconde.

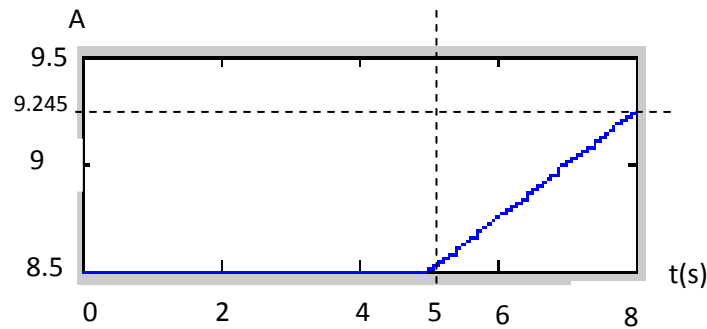


Fig IV-4 : la variation de l'intensité 1

Pour $t \in [0-- 5]$ on a $I_{1M} = 8.6 \text{ A}$

Pour $t \in]5-- 8]$ on a $I_{1M} = 0.215t + 7.525$

Variation des courants des phases 2 et 3

La figure IV-5 montre la courbe de la variation des intensités I_2 et I_3 où l'on note une augmentation des courants des deux phases après la cinquième seconde. Après la cinquième seconde l'intensité 2 et 3 est soumise à l'équation suivante :

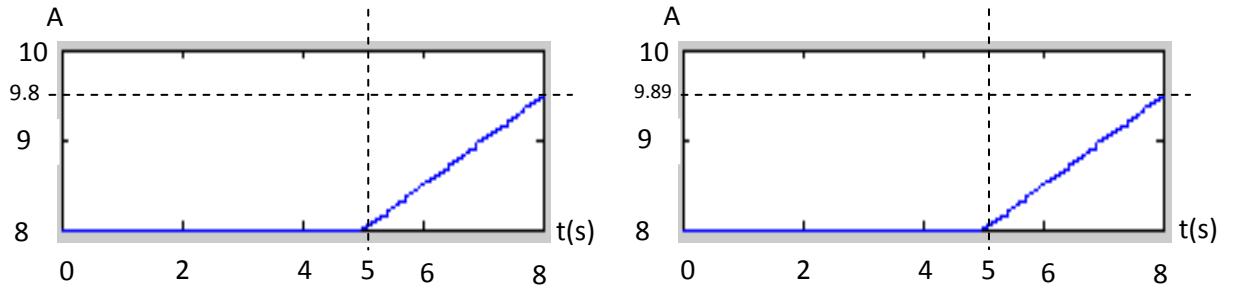


Fig IV-5 : la variation de l'intensité 2et 3

Pour $t \in [0-- 5]$ on a $I_{2,3M} = 8.6 A$

Pour $t \in]5-- 8]$ on a $I_{2,3M} = 0.43t + 6.45$

IV-4-2- Résultats de la simulation:

On appliquant les données émulées ci-dessus , correspondant au grandeurs supposées mesurées respectivement vitesse – température et courant des trois phases, au système proposé nous avons obtenu les résultats suivants

Pour classe1 :

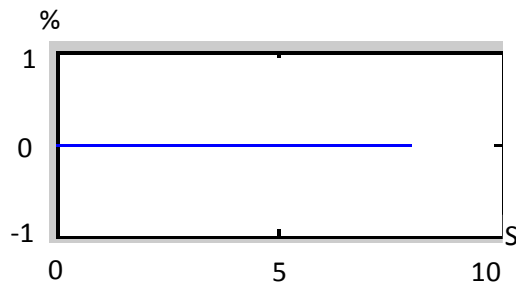


Fig IV-6 : la probabilité que la défaillance est de classe1

Pour classe2 :

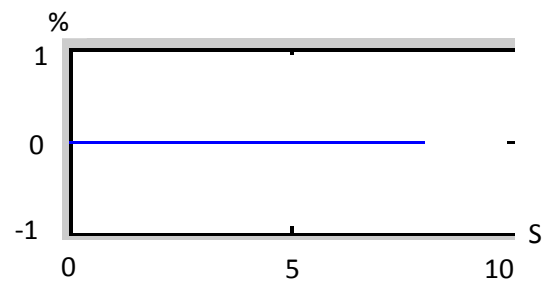


Fig IV-7 : la probabilité que la défaillance est de classe2

Pour classe3 :

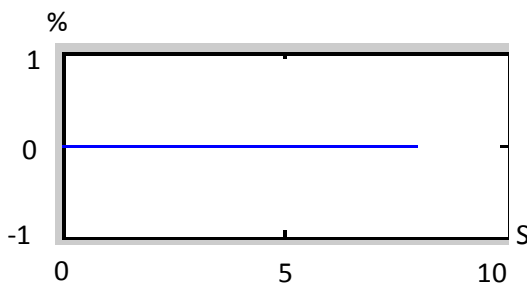


Fig IV-8 : la probabilité que la défaillance est de classe3

Pour classe4 :

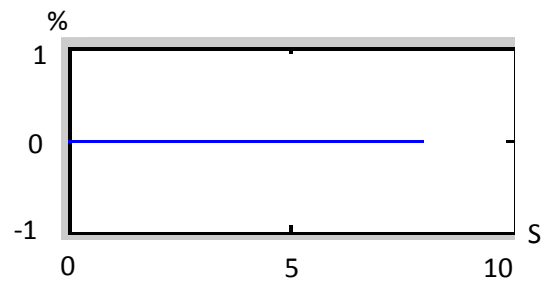


Fig IV-9 : la probabilité que la défaillance est de classe4

Pour classe5 :

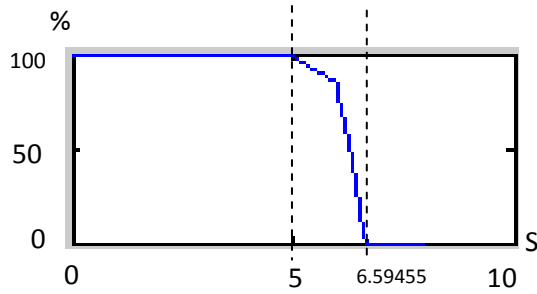


Fig IV-10 : la probabilité que le fonctionnement du moteur est normal

Pour classe6 :

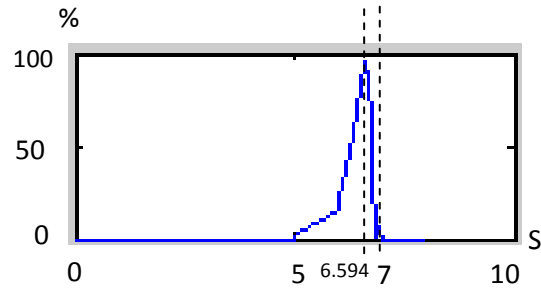


Fig IV-11 : la probabilité que la défaillance est de classe6

Pour classe7 :

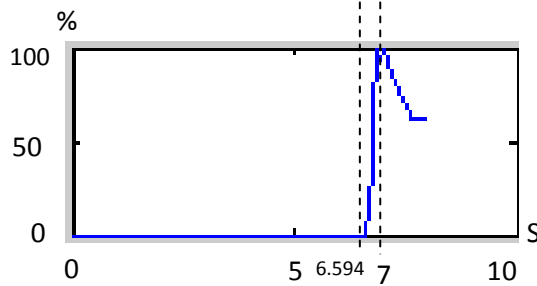


Fig12 : la probabilité que la défaillance est de classe7

Pour classe8 :

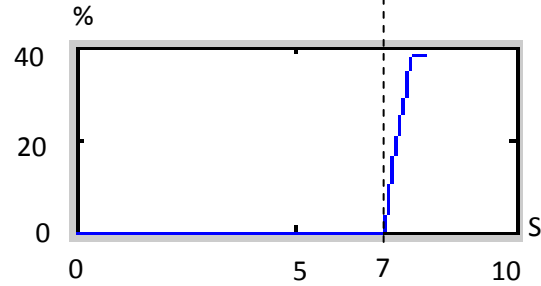


Fig13 : la probabilité que la défaillance est de classe8

Pour classe9 :

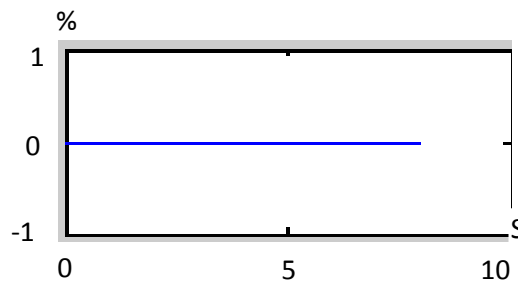


Fig14 : la probabilité que la défaillance est de classe5

IV-5-Commentaire

1-Pour $t \in [0-- 5]$:

Dans cette période La vitesse, la température et les courants I_1 , I_2 et I_3 sont nominaux. La simulation par le système proposé affiche le résultat de la figure IV-15.

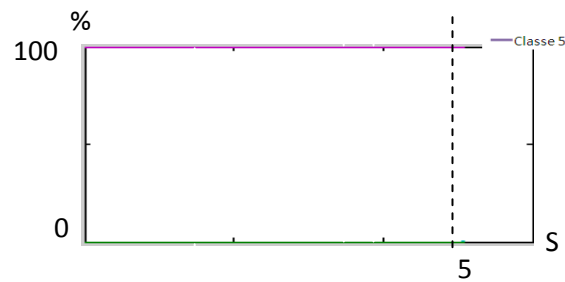


Fig IV-15 : le résultat de la simulation pour $t = [0--5]$

Ce qui montre que le moteur fonctionne dans des conditions de la classe 5 (le fonctionnement du moteur est normal) par une probabilité de 100%.

2-Pour $t \in [5--6.6]$:

Dans cette période la vitesse diminue, la température augmente alors que les courants I_1 , I_2 et I_3 gardent leur valeur nominale. La simulation par le système proposé affiche le résultat de la figure IV-16.

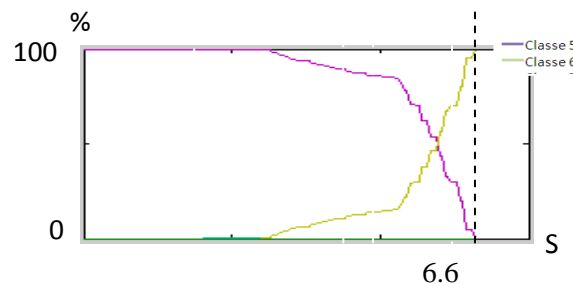


Fig IV-16 : Résultat de la simulation pour l'intervalle $t = [0--6.6]$

De la figure IV-16 on constate que deux classes sont concernées la classe 5 et la classe 6. En allant de $t=0s$ à $t=6,6s$, on remarque que l'appartenance à la classe 5 ; qui était 100%, diminue pendant celle de la classe 6, qui était 0%, croît pour atteindre 100%.

3-Pour $t \in [6.6--7]$:

Dans cette intervalle de temps, la vitesse continue à diminuer, la température ne cesse pas de croître pendant que les courants de phases montrent une variation positive. Le résultat de la simulation correspondant à cette situation est affiché sur la figure IV-17.

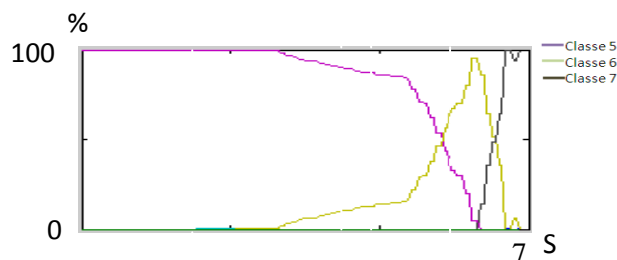


Fig IV-17 la simulation pour l'intervalle de temps [0--7] S

Ce qu'on peut déduire de cette figure est qu'on sort de la situation d'appartenance à la classe 6 vers l'appartenance à la classe 7 c'est-à-dire de mauvaise ventilation à une surcharge de la machine.

4-Pour $t \in [7--8]$:

Concernant ce dernier intervalle, on note une continuité de diminution de la vitesse alors que la température et les courants des trois phases maintiennent leurs variations croissantes. La figure IV-18 montre d'une façon très claire les courbes d'appartenance aux quatre classes respectivement 5, 6, 7 et 8.

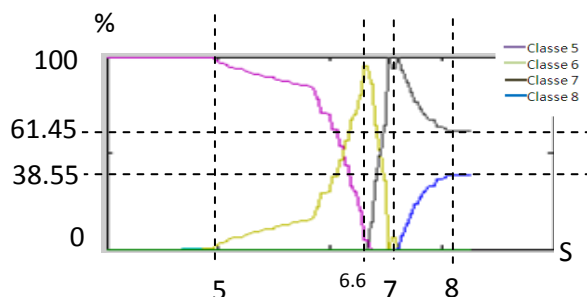


Fig IV-18 : la simulation pour l'intervalle de temps [0--8]

Ce qui montre que le moteur fonctionne dans des conditions chevauchant entre les classes 7 et 8 avec une fonction d'appartenance à la classe « Surcharge du moteur » est de 61,45% et la fonction d'appartenance à la classe « Court circuit entre spires» est arrivée à 38.55%.

IV-6 Procédure de calcul de l'appartenance à une classe:

On veut tester l'efficacité de la prise de décision en cas d'évolution vers un mode de défaillance. Comme exemple nous choisissons deux moments dans le temps à effectuer ce test ; le premier test sera à $t=7$ s et le deuxième est quand $t=8$ s.

1-Pour t=7s :

Dans ce cas, nous avons la vitesse $V_M = 1296$ tr/min, la température $T_M = 24.9^\circ\text{C}$, l'intensité $I_1 = 9.03\text{A}$ et les intensités $I_{2,3} = 9.46\text{A}$.

Donc nous pouvons constater que la vitesse a subi une diminution pendant que la température et les courants subissent une augmentation. Par conséquent, c'est la règle 11 qui est activée.

Règle 11-Si les intensités **ET** la température sont élevées **ET** la vitesse est réduite **ALORS** surcharge du moteur.

D'autre part, nous avons :

La vitesse = 1296 tr/min alors $\Delta V = -10\%$,

La température = 24.9°C alors $\Delta T = 10\%$,

L'intensité 1 = 9.03A alors $\Delta I_1 = 5\%$,

L'intensité 2,3 = 9.46A alors $\Delta I_{2,3} = 10\%$.

Avec les classes réservées à la classification sont réparties sur leur univers de discours comme montré sur la figure IV-19.

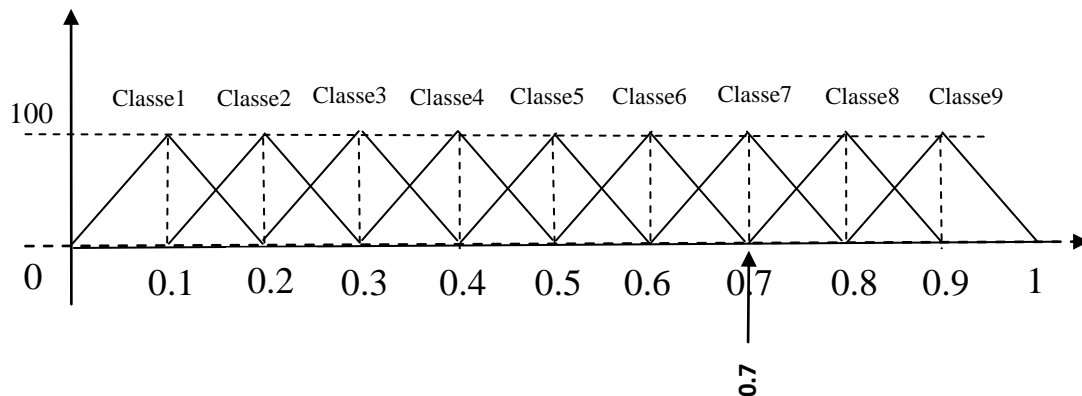


Fig. IV-19 répartition des classes sur l'univers de discours réduit

L'appartenance à une seule classe correspond à son centre. Dans le cas de cet exemple, seule la classe 7 est active donc après defuzzification on trouve exactement son centre qui correspond à 0,7 sur l'échelle réduite. La defuzzification est montrée sur la figure IV-20.

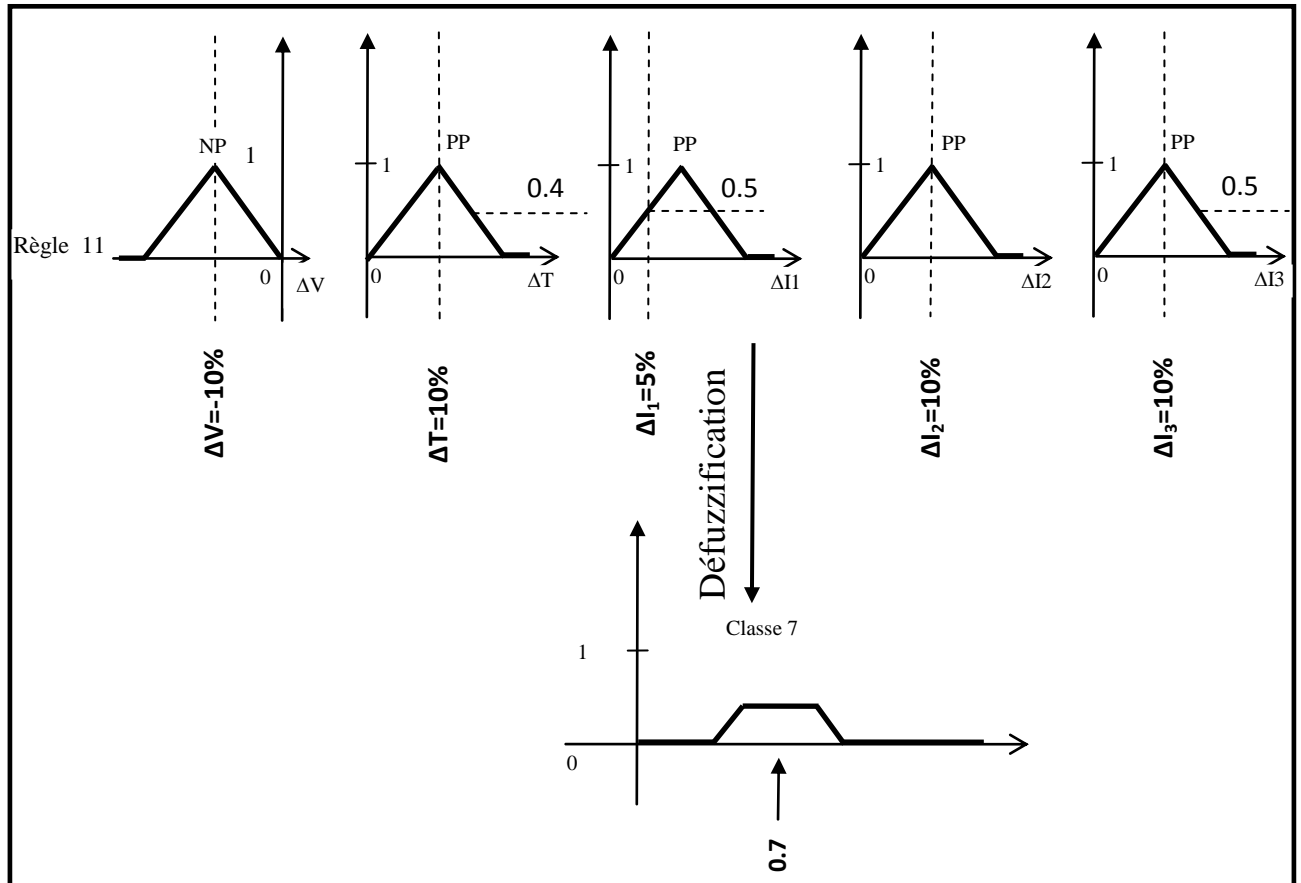


Fig. IV-20 exemple de détermination de la classe d'appartenance.

2-Pour t=8 s :

Pour ce deuxième cas, nous avons la vitesse $V_M = 1224$ tr/min, la température $T_M = 26.1^\circ\text{C}$, l'intensité $I_1 = 9,245\text{A}$ et les intensités $I_{2,3} = 9.89\text{A}$.

Donc nous pouvons constater que la vitesse a subi une diminution pendant que la température et les courant subissent une augmentation. Par conséquent, c'est la règle 11 qui est activée.

Dans ce cas, nous avons la vitesse = 1224 tr/min, la température = 26.1 C°, l'intensité1 =9.245A et l'intensité 2,3 =9.89A.

On constate que dans ce cas précis, les deux règles 11 et 12 sont activées.

D'autre part, nous avons :

La vitesse = 1224 tr/min alors $\Delta V = -15\%$,

La température = 26.1 C° alors $\Delta T = 16\%$,

L'intensité1 =9.245A alors $\Delta I_1 = 7.5\%$,

L'intensité $I_{2,3} = 9.89A$ alors $\Delta I_{2,3} = 15\%$.

L'application des techniques de la logique floue nous donne le résultat suivant.

- Par les résultats que nous avons trouvés dans le deuxième chapitre, nous avons :

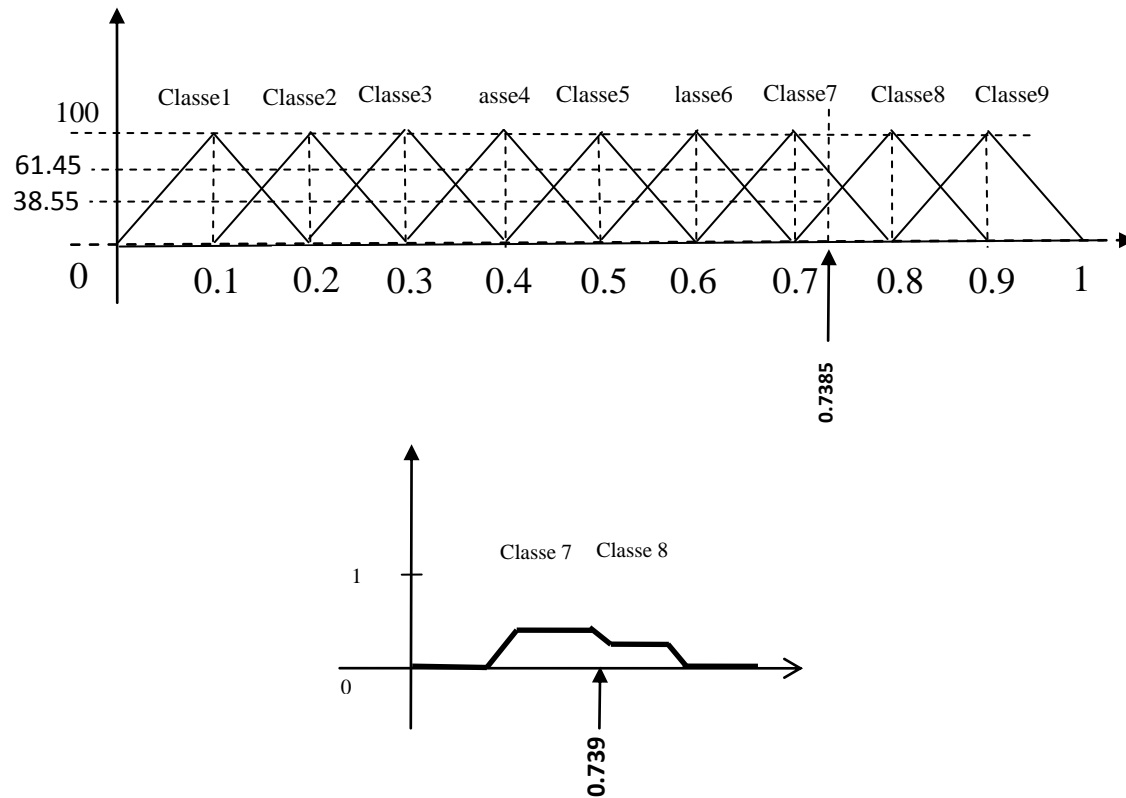


Fig. IV-21 défuzzification dans le cas t=8s

$$P(C7) = (-10 \cdot 0.7385 + 8) \cdot 100 = 61.45\%$$

$$P(C8) = (10 \cdot 0.7 - 7) \cdot 100 = 38.55\%$$

Donc :

La probabilité qu'il y a une Surcharge sur le moteur est = 61.45%

La probabilité qu'il y a un Court circuit entre spire sur le moteur est = 38.55%.

IV-7-CONCLUSION

Nous avons considéré en simulation des conditions plus ou moins complexes. Les résultats de tests sont à ce niveau satisfaisants, l'état du système est identifié, et les actions préventives correctement prises. Il sera plus intéressant de tester l'aspect prédictif sur un système industriel réel, ceci nous conduit à souligner l'importance

d'une coopération sérieuse avec le secteur industriel afin de mener ce travail à la phase pratique, objectif de recherche dans ce domaine et raison pour laquelle la partie matérielle conçue n'était pas présentée.

CONCLUSION GENERALE

Les conditions de succès techniques et économiques de l'industrie sont aujourd'hui très liées à la qualité et à la sûreté de fonctionnement des procédés industriels, car il n'y a pas de plus défavorable qu'un défaut qui apparaît en cours de fonctionnement des machines, et auquel le système de protection ne réagit pas. Pour résoudre ce problème, ceci a nécessité le développement d'une étude de sûreté de fonctionnement des systèmes industriels complexes, et des méthodes ont rendu obligatoire une approche transverse qui fédère toutes les compétences de l'entreprise. Le diagnostic est devenu ainsi et au cours de ces dernières années, l'un des éléments essentiels des outils de production, léger à traiter.

Le diagnostic en temps réel est une solution qui pourrait cerner rapidement l'anomalie à condition de faire appel à l'analyse de tous les symptômes manifestés par un système de surveillance performant.

Initialement nous avons essayé de regrouper le maximum d'information sur les symptômes que le système manifeste. Pour chaque symptôme, une liste de causes possibles, qui est nécessaire d'indiquer pour chaque type de défaut ses origines probables.

Nous n'avons pas voulu essayer de toucher au problème de ruptures de barres et portions d'anneaux qui est un travail de thèse de doctorat et dont l'étude nécessite des méthodes basées sur l'analyse spectrale qui est utilisée pour détecter des défaillances dans les machines électriques, essentiellement les ruptures de barres et/ou de portions d'anneaux au rotor des machines asynchrones, la dégradation des roulements, les excentricités et les courts-circuits dans les bobinages.

Cependant, au niveau de ce travail réalisé, nous avons utilisé dans cette application la classification floue où les techniques de groupement ("clustering"). Dans cette technique nous avons essayé de trouver une partition de l'espace en regroupant les défaillances des machines asynchrones dans des groupes définissant des classes suivant l'analyse de certains symptômes. Il y aura en conséquence des réactions beaucoup plus rapides aux problèmes.

Nous avons considéré en simulation des conditions plus ou moins complexes. Les résultats de tests ont confirmé que le système fonctionne correctement suivant le but que nous nous sommes fixés au début. Avec le développement rapide de la

microélectronique, des contrôleurs flous seraient facilement réalisables avec des ports de communication sur des cartes embarquées sur le moteur. Suivant les symptômes et le diagnostic fait une information est directement transférée à l'ordinateur centrale pour une prise de décision.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- [1]- BENNOUI Hassina, "apport de la logique floue et des réseaux de neurones pour la commande avec minimisation des pertes de la machine asynchrone", Thèse Magister de l'Université de Batna Faculté des Sciences de l'Ingénieur Département d'Electrotechnique, 2009.
- [2]- NEZAR Malika, " diagnostic des associations convertisseurs statiques - machines a synchrones en utilisant les techniques de l'intelligence artificielle", Thèse Doctorat de l'Université de Batna Faculté des Sciences de l'Ingénieur, Département d'Electrotechnique, Spécialité: Electrotechnique, Automatique 2006.
- [3]- ELBIA Youcef, "commande floue optimisee d'une machine asynchrone à double alimentation et a flux oriente", Magister de l'Université de Batna Faculté des Sciences de l'Ingénieur Département d'Electrotechnique, 2009.
- [4]- MEZROUA Mohammed Ali, "Présentation Des Différentes Défaillances Du Moteur Asynchrone a Cage", Publié le 26/08/2009 à 00:07 par mezrouamed ali .
- [5]- BOUGUERNE Abla, "diagnostic automatique des defauts des moteurs asynchrones", Magister de l'Université de Constantine Faculté des Sciences de L'Ingénieur Département d'Electrotechnique, 2009.
- [6]- Guide des solutions d'automatisme: schémathèque By Schneider Electric, 2007.
- [7] - MESSAOUD Ali, BEN MESSAOUD Mohamed, KACHOURI Abdennaceur et SELLAMI Faïçal; " Classification des arythmies cardiaques par logique floue à partir de signaux ECG " ; LETI, Laboratoire d'Electronique et de Technologies de l'Information, Ecole Nationale d'Ingénieurs de Sfax, 3038 Sfax, Tunisie 2005.
- [8] - BONILLA HUERTA Edmundo ; " Logique Floue et Algorithmes Génétiques Pour Le Pré-Traitement de Données de Biopuces et La Sélection de Gènes " ; Thèse Doctorat de L' Ecole Doctorale STIM, Spécialité: Informatique Le 13 novembre 2008.
- [9] - ISAZA NARVAEZ Claudia Victoria; " Diagnostic Par Techniques D'apprentissage Floues : Conception D'une Méthode De Validation Et D'optimisation Des Partitions" ; Thèse Doctorat de l'Université de Toulouse l'Institut National des Sciences Appliquées de Toulouse, Spécialité: Systèmes Automatiques 2007.

- [10] - KHODJA Lotfi; " Contribution à la Classification Floue non Supervisée" ;
Thèse Doctorat de l'Université de Savoie, Spécialité: Electronique -
Electrotechnique – Automatique.
- [11] - LOISEAU Yannick; " Recherche flexible d'information par filtrage flou
qualitatif " Thèse Doctorat de l'Université Paul Sabatier de Toulouse,
Spécialité: Informatique 2004.
- [12] - GRABISCH Michel; " Classification" ; December 14, 2000.
- [13] - ZRIBI BOUJELBENE. S, BEN AYED MEZGHANI. D et ELLOUZE. N; "
Systèmes à Inférences Floues pour la Classification Phonémique" ; 4th
International Conference: Sciences of Electronic, Technologies of Information
and Telecommunications March 25-29, 2007 – TUNISIA.
- [14] - PHU Cung Hong ; " Classification Floue, Appliquée Aux Operateurs
Téléphoniques" ; Information Systems Research Group ; Département
d'Informatique ; Université de Fribourg, Suisse 2008.
- [15] - HOBLOS Ghaleb; " Diagnostic et Surveillance des Systèmes Complexes" ;
Thèse Doctorat de l'Université des Sciences et Technologies de Lille
Habilitation à Diriger des Recherches, Spécialité: Electrotechnique,
Automatique 2008.
- [16] – Derivaux. S, Lefèvre. S, Wemmert. C and Korczak. J ; " Apport d'une
classification non supervisée floue à la segmentation par ligne de partage des
eaux" ; LSIIT - CNRS - Université Louis Pasteur - UMR 7005 ; 2006.
- [17] - TALEB Samir; " Génération de Symptômes Flous Par FFT Et SWT
Applications a la Détection de Vibrations"
- [18] – NEDELJKOVIC. I; " Image Classification Based On Fuzzy Logic" ; The
International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial
Information Sciences, Vol. 34, Part XXX.
- [19] – HELLMANN. M; " Fuzzy Logic Introduction"; Laboratoire Antennes Radar
Telecom, F.R.E CNRS 2272, Equipe Radar Polarimetrie, Universit´e de Rennes
1, UFR S.P.M, Campus de Beaulieu - Bat. 22, 263 Avenue General Leclerc, CS
74205, 35042 Rennes Cedex, France
- [20] - BELACEL Nabil ; " Méthodes de Classification Multicritère, Méthodologie et
Applications à l'Aide au Diagnostic Médical " ; Thèse Doctorat de l'Université
libre de Bruxelles Institut de Statistique et De Recherche Opérationnelle 2000.

- [21] - KANAOUI Nadia; " Contribution A L'étude Et A La Mise En Œuvre D'approches Hybrides D'aide Au Diagnostic: Application Aux Domaines Biomédical Et Industriel " ; Thèse Doctorat de l'Université PARIS XII – Val de
- [22] - El-Shayeb Yasser, "Apport de la logique floue à l'évaluation de l'aléa « Mouvement de Terrain des sites géotechniques » : propositions pour une méthodologie générale", Institut National Polytechnique de Lorraine Ecole des Mines de Nancy Laboratoire Environnement Géomécanique Et Ouvrages Ecole Doctorale Promen.
- [23] - GODJEVAC Jelena, "idées nettes sur la logique floue"
- [24] - ROYNS Benoit, FRANÇOIS Bruno, DEGOBERT Philippe et HAUTIER Jean-Paul, "Commande vectorielle de la machine asynchrone : désensibilisation et optimisation".
- [25] - MOKHTARI. M, MARIE. M, "Applications de MATLAB 5 et SIMULINK 2 : contrôle de procédés, Logique floue, Réseaux de neurones, Traitement du signal".