

Chapitre 1

Diagnostic des défaillances des machines asynchrones

1. Introduction :

Quant un défaut apparaît dans un processus, il doit être détecté le plutôt possible. Dans ce cas le système de détection du défaut doit indiquer l'existence d'une anomalie dans les équipements de réalisation du processus. Après la détection, le diagnostic du défaut est exécutée, le défaut est éliminé et sa cause est localisée.

Dans ce contexte et, d'après l'étude bibliographique, on constate que les techniques utilisées pour la détection et le diagnostic de défaillances sont divisées en deux catégories [5] :

- pour la première, à partir de modèles physiques ou de comportements validés par les techniques d'identification des paramètres, le diagnostic de défaillance devient possible en suivant en temps réel l'évolution des paramètres physiques ou bien en utilisant l'inversion du modèle de type « boîte noire » ;
- dans la deuxième catégorie, il n'est pas nécessaire de disposer d'un modèle mathématique du processus ; par contre les méthodes retenues reposent sur l'expertise humaine confortée par un solide retour d'expérience ; dans cette catégorie, on retrouve les méthodes basées sur l'intelligence artificielle, parmi lesquelles, nous pouvons citer la reconnaissance des formes, les systèmes experts et les réseaux de neurones artificiels.

Une autre classification consiste à séparer le diagnostic externe du diagnostic interne [5, 6]

Le diagnostic externe (ou boîte noire), repose sur la connaissance des grandeurs d'entrées/sorties du processus, à savoir : analyse de données, analyse statistique, réseaux de neurones, logique floue, etc.

Le diagnostic interne (dit boîte blanche ou transparente), quant à lui, repose sur des analyses topologiques ou fonctionnelles détaillées des matériels. Citons par exemple : l'analyse des systèmes, l'estimation des paramètres, etc.

2. Constitution de la machine asynchrone

La machine asynchrone, souvent appelée moteur à induction comprend un stator et un rotor, constitués de tôles d'acier au silicium et comportant des encoches dans lesquelles on place les enroulements. Le stator est fixe ; on y trouve les enroulements reliés à la source. Le rotor est monté sur un axe de rotation. Selon que les enroulements du rotor sont accessibles de l'extérieur ou sont fermés sur eux mêmes en permanence, on définit deux types de rotor : bobiné ou à cage d'écureuil.

2.1 Le stator :

Le circuit magnétique est un empilement de tôles fines d'acier découpées, faisant apparaître les différentes encoches statoriques. On utilise des tôles minces dont l'épaisseur varie entre 0,35 et 0,50mm pour minimiser les pertes dans le circuit magnétique. De plus, afin de limiter l'effet des courants de Foucault, on isole habituellement les tôles d'une mince couche de vernis ou de silicate de soude. Le bobinage statorique est constitué de deux parties (Fig. 1.1) : les conducteurs d'encoches et les têtes de bobines. Les conducteurs d'encoches permettent de créer dans l'entrefer le champ magnétique à l'origine de la conversion électromagnétique. Les têtes de bobines permettent, quant à elles, la fermeture des courants en organisant leur circulation, l'objectif étant d'obtenir une répartition des forces magnétomotrices et du flux la plus sinusoïdale possible dans l'entrefer, pour limiter les oscillations du couple électromagnétique [1].

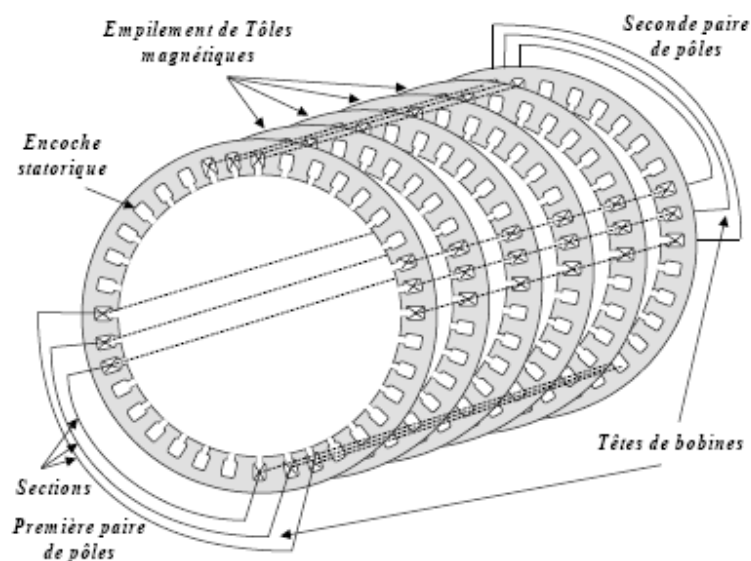


Fig.1.1 Enroulements statoriques d'une phase d'une machine à 4 pôles

Physiquement, on peut effectuer les bobinages statoriques de plusieurs façons, mais on utilise habituellement trois types d'enroulements : l'enroulement imbriqué, l'enroulement concentrique et l'enroulement ondulé. Chaque type présente des avantages dans certaines applications. Pour les petits moteurs, et particulièrement lorsque la réalisation du bobinage est mécanisée, on utilise généralement l'enroulement concentrique [2].

A titre d'exemple, la machine de 1.1 kW du banc d'essai possède 4 encoches par pôles et par phase. Chaque encoche est occupée par 58 conducteurs connectés en série. La machine étant à deux paires de pôles, chaque phase est donc composée de 464 spires. Placé dans les encoches, le bobinage est ensuite englué dans un vernis qui le maintient collé, tout en améliorant l'isolation électrique. L'une des caractéristiques importantes des vernis utilisés pour couvrir les fils ronds réside dans le fait qu'ils doivent rester flexibles après séchage, ceci pour pouvoir absorber les différents mouvements vibratoires lors du fonctionnement.

2.2 Le rotor :

Le rotor est constitué comme le stator de tôles empilées et habituellement du même matériau. Dans les petits moteurs, les tôles sont découpées dans une seule pièce et assemblées sur un arbre. Dans de plus gros moteurs, chaque lamination est constituée de plusieurs sections montées sur un moyeu.

Dans le cas des rotors à cage d'écureuil, les encoches peuvent être semi-ouvertes ou fermées. Les enroulements sont constitués de barres court-circuitées par un anneau terminal placé à chaque extrémité du rotor. Les conducteurs sont généralement réalisés par

Coulage d'un alliage d'aluminium, ou par des barres massives de cuivre ou, à l'occasion, en laiton préformées et frettées dans les tôles du rotor. Il n'y a généralement pas, ou très peu, d'isolation entre les barres rotoriques et les tôles magnétiques. Leur résistance est suffisamment faible pour que les courants ne circulent pas dans les tôles, sauf lorsqu'il y a une rupture de barre [1].

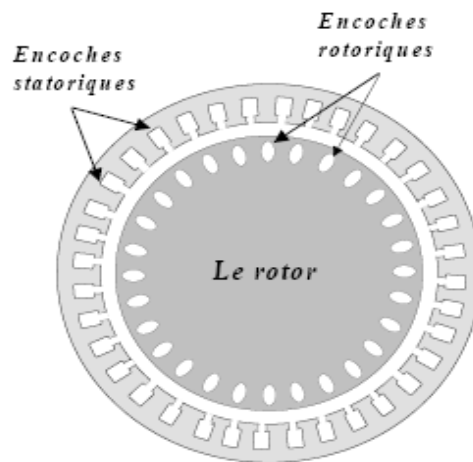


Fig.1.2. Rotor à cage d'écureuil

3. Les différentes défaillances qui peuvent surgir sur les moteurs asynchrones :

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

Les défaillances de la machine électrique, dans leur majorité, peuvent être classifiées comme suit [4] :

- Les défauts du stator résultant de la coupure ou du court-circuit d'une ou de plusieurs phases de l'enroulement statorique ;
- La connexion anormale de l'enroulement statorique ;
- La cassure d'une barre du rotor ou le craquement de l'arbre de la machine ;
- Les irrégularités de l'entrefer ;
- L'inclinaison de l'axe du rotor, pouvant résulter d'un frottement entre le rotor et le stator ;
- Le court-circuit dans l'enroulement rotorique ;
- Les défauts sur les roulements.

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

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

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

En ce qui concerne la machine asynchrone et pour identifier les défaillances citées ci-dessus, on peut citer les techniques de validation des signaux [49] :

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

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

4. Définitions de quelques termes liés au diagnostic

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

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

Disponibilité : faculté d'un matériel ou d'un système à pouvoir fonctionner chaque fois que cela est nécessaire et chaque fois qu'on le sollicite ; on assure ainsi une fiabilité totale pendant les phases de fonctionnement. La disponibilité nécessite des opérations de maintenance préventive afin de prévoir tout vieillissement ou défaillance.

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

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

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

Sûreté : la sûreté regroupe les notions de disponibilité, fiabilité, maintenabilité et sécurité du système ; elle caractérise la confiance que l'on peut apporter au fonctionnement [9,60].

5. Analyse de la procédure du diagnostic

Lorsqu'un défaut apparaît dans un équipement industriel, le système de diagnostic lié à ce dernier doit d'abord détecter l'anomalie du fonctionnement puis y identifier la (ou les) cause (s) de défaillance à l'aide d'un raisonnement logique pour qu'il puisse être isolé [9,16,45,53,60] .

En effet, l'organisation générale de la procédure de diagnostic s'articule autour des étapes suivantes :

- A partir des moyens de mesure ou d'observation appropriés, nous effectuons l'extraction des informations nécessaires à la mise en forme des caractéristiques associées aux fonctionnements normaux et anormaux ;
- l'élaboration des signatures associées à des symptômes de défaillance en vue de la détection d'un dysfonctionnement ;
- la détection d'un dysfonctionnement par comparaison avec des signatures associées à des états de fonctionnements normaux ;
- la mise en œuvre d'une méthode de diagnostic de défaillance à partir de l'utilisation des connaissances sur les relations de causalité (catalogue cause-effets) ;
- une phase d'interprétation des données de diagnostic (identification du type et de la nature du défaut);
- la prise de décision en fonction des conséquences et de l'importance des défauts.

6. Position du problème

Pour éviter de résoudre un problème inverse de diagnostic mal posé, il est indispensable de s'appuyer sur des relations de cause à effets.

En général, le problème du diagnostic revient essentiellement à un problème de connaissance sur le modèle déterministe entre la cause et l'effet. Pour cela, il existe plusieurs méthodes de diagnostic et leurs applications dépendent essentiellement de la nature du problème à résoudre.

Le problème à résoudre en terme de diagnostic est le choix des méthodes de diagnostic et leurs implémentations dans le système de diagnostic.

7. Méthodes de diagnostic

7.1. Introduction

Le diagnostic industriel est basé principalement sur les analyses des signatures (symptômes) exploités par des experts ; afin de détecter le comportement défaillant, d'en déduire la fonction ou l'élément en dysfonctionnement (localisation), puis d'en déterminer la cause et enfin, si possible d'y remédier.

Dans la majorité des cas les experts ne disposent pas de modèles liant les causes et leurs effets ; ces raisons expliquent la grande diversité des méthodes de diagnostic industriel qui sont basées soit sur la modélisation complète des défaillances ou au contraire sur les connaissances des experts sans modélisation des défaillances [5].

D'un autre côté, la grande diversité des technologies des systèmes industriels (mécanique, thermique, électrique, etc.) ne permet pas d'utiliser une méthode universelle qui posséderait tous les avantages et aucun inconvénient.

Une méthode universelle de diagnostic industriel n'existe pas ; c'est pour cette raison que les méthodes existantes sont partagées en deux grandes familles : les méthodes internes et les méthodes externes [5, 6].

Sur le graphe (fig.I.1) sont présentées les différentes méthodes de diagnostic :

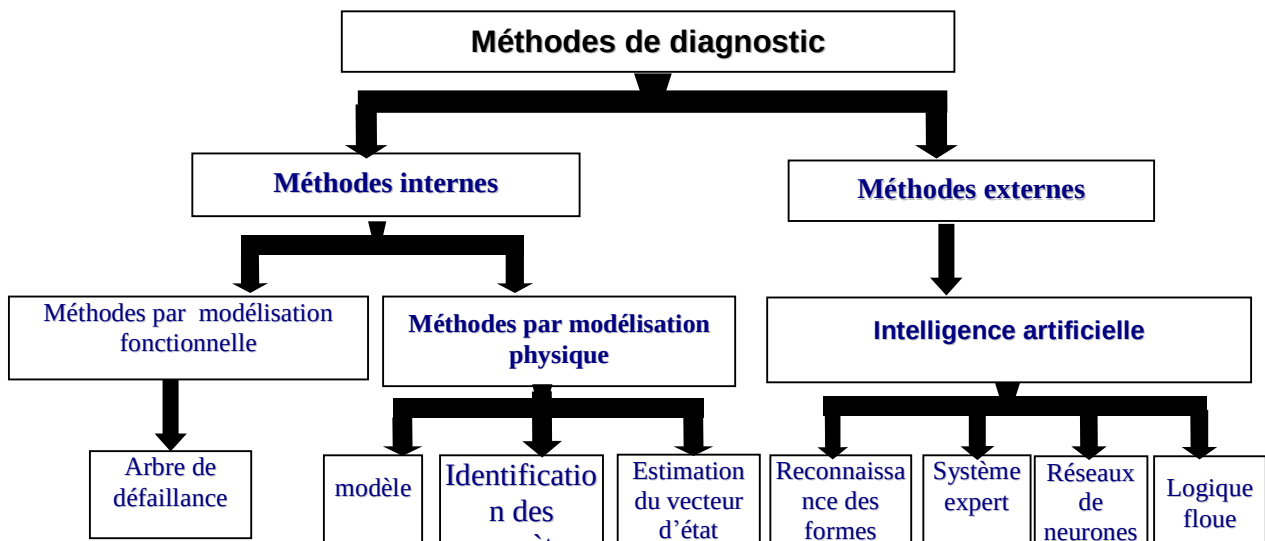


Fig.1.3 Schéma synoptique de classement des méthodes de diagnostic

7.2. Méthodes internes de diagnostic

Ces types de méthodes sont basés sur les techniques de modélisation [5, 6] ; à savoir :

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

7.2.1 Les méthodes de diagnostic de défaillances par modélisation fonctionnelle et matérielle

Un système est un ensemble déterminé d'éléments interconnectés ; ces éléments sont regroupés fonctionnellement en vue de remplir une ou plusieurs fonctions. Une défaillance fonctionnelle est caractérisée par la perte d'une des fonctions d'un élément donné. Le principe des méthodes de modélisation des défaillances fonctionnelles est d'établir a priori les liens entre les causes initiales des défaillances et de leurs effets mesurables par les systèmes de traitement de l'information.

7.2.2. Méthodes de diagnostic par modélisation physique

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

- les méthodes du modèle ;
- les méthodes d'identification des paramètres ;
- les méthodes d'estimation du vecteur d'état.

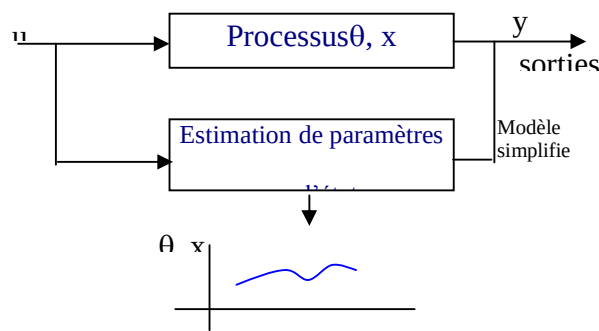


Fig 1-4. Principe du diagnostic par modélisation

Le principe de ces méthodes, illustré sur la figure I.2 repose sur la prise en compte des observations 'u' pour remonter aux paramètres θ ou à son vecteur d'état interne x . les éléments θ et x ayant par définition un sens physique, la cause exacte de la défaillance devenant facile à identifier et à localiser.

Toutes ces méthodes seront détaillées antérieurement.

7.3. Méthodes externes de diagnostic

Ces méthodes ne nécessitent pas un modèle mathématique pour décrire les relations de cause à effet, la seule connaissance repose sur l'expertise humaine confrontée à un solide retour d'expérience [5].

le principe de fonctionnement de ces méthodes est divisé en trois phases [5] :

- les mesures ;

- l'extraction du caractère ;
- la classification.

Au début, les données appropriées sont mesurées, puis un vecteur de caractère est calculé. Ensuite, ce dernier est réparti en une ou plusieurs classes. Quand la détection et le diagnostic sont combinés, les classes seront les suivantes : le fonctionnement normal, le défaut n°1, le défaut n°2, etc.

Donc, dans cette catégorie, on retrouve toutes les méthodes basées sur l'intelligence artificielle qui inclut la reconnaissance des formes, les réseaux de neurones, la logique floue et le système expert.

7.4. Description des méthodes internes de diagnostic

7.4.1 La méthode du modèle

La méthode du diagnostic basée sur le modèle [5] consiste à comparer les grandeurs déduites d'un modèle représentatif du fonctionnement des différentes entités du processus avec les mesures directement observées sur le processus industriel. La figure 1.3 représente le fonctionnement d'un système de détection de défaillances utilisant l'approche basée sur le modèle.

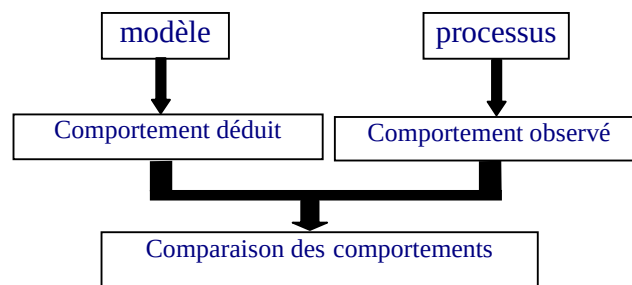


Figure 1-5 : Principe de fonctionnement de la méthode du modèle

En général, pour des processus continus dotés de systèmes de régulation, il est judicieux d'utiliser un modèle prenant séparément en compte les chaînes de régulation, les actionneurs et les sous ensembles du processus industriel. Comme il a été utilisé en [6] pour un système

d'entraînements électriques, le modèle possède une structure identique à celle du processus. La comparaison des comportements sert à la détection des écarts entre les signaux d'état normaux et anormaux.

7.4.2 La méthode de diagnostic par identification des paramètres

La méthode de diagnostic par identification des paramètres [5] s'applique au cas très particulier où l'on souhaite suivre l'évolution de certains paramètres physiques critiques pour le fonctionnement d'un processus et qui ne sont pas mesurables directement. Par exemple l'encrassement des tubes dans un échangeur de chaleur modifie directement le coefficient d'échange thermique. Dans ce cas, il est possible à partir des mesures de températures, des débits et des pressions (des fluides entrant et sortant) d'évaluer de façon indirecte le coefficient d'échange thermique. Le principe général des méthodes d'identification est d'estimer les paramètres internes physiques représentés par un vecteur paramètre θ du modèle à partir de la connaissance des signaux d'entrées 'u' et de sortie 'y' mesurées sur le processus industriel par des méthodes appropriées [5].

Dans cette approche, il peut arriver quelquefois que les paramètres du processus aient des relations compliquées avec les coefficients physiques du processus ; souvent le mauvais fonctionnement affecte ces derniers. Alors les relations entre les paramètres et les coefficients doivent être uniques et de préférence connues avec précision. Néanmoins ce dernier cas est rare [6].

7.4.3 Diagnostic par traitement du signal

Le diagnostic est réalisé par la détection d'un écart obtenu à partir de la signature observée avec une signature de référence, ce principe de comparaison est appelé principe de corrélation et il utilise les caractéristiques des signaux dans les domaines temporel ou fréquentiel ou les deux conjointement [19].

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

7.4.4. Méthode de l'arbre de défaillance

C'est une méthode inductive [5], avec laquelle on introduit toutes les combinaisons d'événements possibles qui entraînent la réalisation d'un événement unique indésirable. Les conditions et les événements sont organisés sous la forme d'un arbre utilisant des symboles logiques « et » et « ou ». Les défaillances identifiées dans l'arbre sont relatives aux défaillances des matériels, à des erreurs humaines ou à tout autre élément significatif.

L'arbre de défaillances est constitué de niveaux successifs d'événements tel que chaque événement à un niveau donné est généré à partir de combinaisons logiques d'événements de niveau inférieur [5]. Cette procédure est répétée jusqu'à atteindre les événements appelés événements de base.

7.5. Description des méthodes externes de diagnostic

7.5.1 Méthode de reconnaissance des formes

Parmi toutes les approches du diagnostic, la reconnaissance des formes est une technique de définition d'algorithmes permettant de classer des objets dont l'aspect a varié par rapport à un objet type. Il s'agit de définir à quelle forme-type une forme observée ressemble le plus [5].

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

Dans un problème de reconnaissance des formes on suppose généralement que les formes x à classer appartiennent à M catégories bien déterminées appelées classes et notées $w_1, w_2, \dots, w_m$.

Compte tenu du bruit de mesure les vecteurs appartenant à une classe donnée w_i forment une zone particulière dans l'espace de dimension d .

Le problème de la reconnaissance des formes consiste à déterminer les formes séparant les M classes dans le but de pouvoir ultérieurement classer une nouvelle forme x lors de l'opération de classification ou de discrimination.

La procédure de diagnostic basée sur les techniques de reconnaissance des formes met en œuvre quatre étapes principales qui sont résumées sur la figure (I.5).

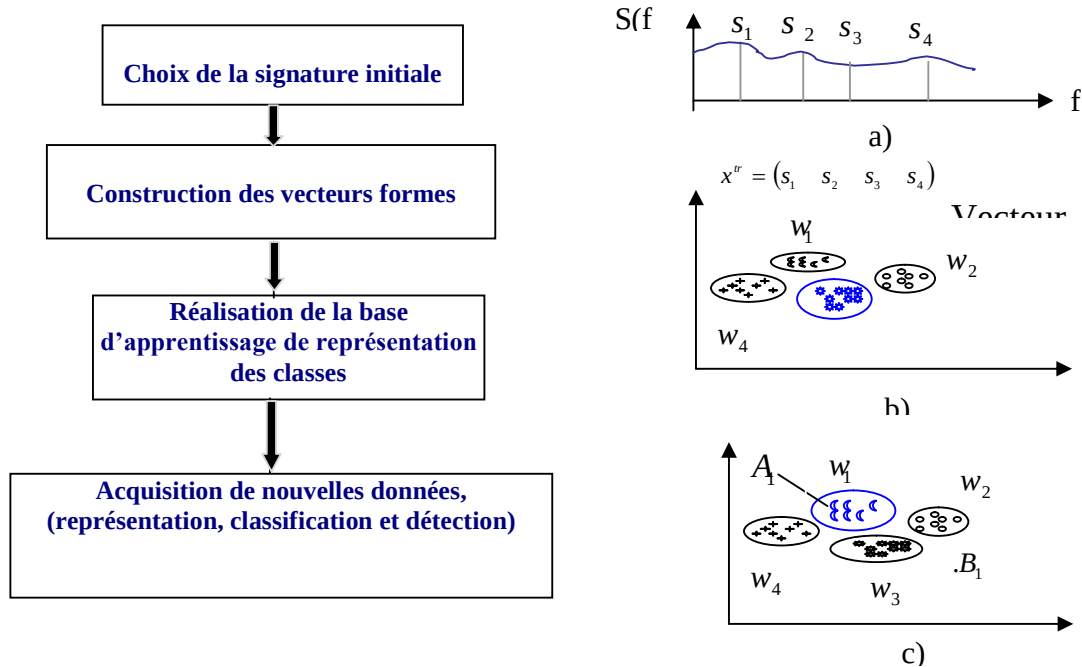


Fig.1.6 Procédure de diagnostic basée sur la technique de la reconnaissance des formes

Dans ce cas, la dernière phase correspond évidemment à l'exploitation du système de diagnostic.

D'autre part, après l'acquisition d'une nouvelle signature, on calcule la forme associée dans l'espace de présentation et on procède à sa classification, chose qui se réalise sans difficulté (par exemple, il faudra prendre la décision de rejeter le point B ou de le caser dans une nouvelle classe).

7.5.2. Diagnostic par systèmes experts

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

A partir de l'ensemble de symptômes dont il dispose, il peut déduire toutes les conclusions possibles, élaborer de nouvelles hypothèses et approfondir son diagnostic en exploitant des informations supplémentaires collectées sur le système à diagnostiquer [6].

Un système expert est constitué de plusieurs éléments principaux [6] (voir la fig.1.6) dont on peut citer :

a- la base de connaissances

La base de connaissances est souvent la partie stable du système, elle est immédiatement exécutée dès l'appel du système et c'est elle qui rassemble les connaissances nécessaires à la résolution des problèmes du domaine.

b- la base de faits

Les faits sont les objets élémentaires de l'application ; la base de faits qui au départ contient les informations initiales relatives au domaine s'enrichit progressivement de conclusions ou de nouveaux faits déduits par le moteur d'inférence.

c- le moteur d'inférence

Le moteur d'inférence exploite de façon indépendante les informations contenues dans la base de faits et la base de connaissances pour fournir une solution au problème donné. Par ailleurs, le moteur d'inférence produit dans son mécanisme de raisonnement de nouveaux faits qui sont mémorisés dans la base de faits.

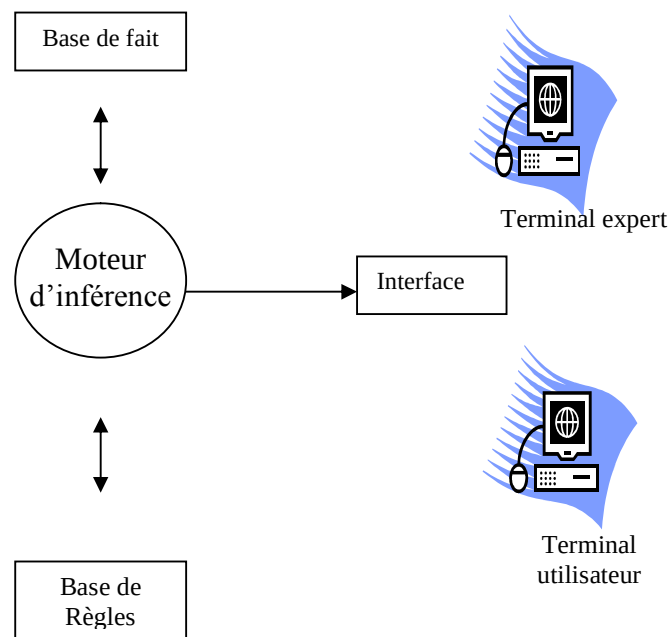


Fig.1.4. Architecture générale d'un système expert de diagnostic

7.5.3. Diagnostic par logique floue

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

Le concept de sous-ensemble flou a été introduit pour prendre en compte l'imprécision. La fonction d'appartenance à un ensemble flou prend des valeurs sur l'intervalle $[0,1]$. Celles-ci expriment le degré d'appartenance d'un élément à cet ensemble : 0 pour la non appartenance stricte et 1 pour l'appartenance stricte [4, 6].

Le principe de fonctionnement du diagnostic basé sur la logique floue consiste à extraire et à calculer les signaux d'entrée, en utilisant les règles linguistiques représentées sous forme de fonctions d'appartenances, ces règles peuvent contenir tous les modèles possibles qui correspondent au mode de défaut considéré [4].

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

- La fuzzification ;
- L'inférence ;

➤ La défuzzification.

Le bloc fuzzification contient en général un traitement de données préliminaires ; ces données sont alors traitées par des règles linguistiques, ce qui nécessite leur définition par des fonctions d'appartenance. La fuzzification fournit une série de variables floues, réunies par un vecteur, qui va être introduit au bloc d'inférence.

Dans le bloc inférence, les valeurs des variables linguistiques sont liées par plusieurs règles qui doivent tenir compte du comportement statique et dynamique du système (des effets du système à diagnostiquer).

Dans la dernière étape, il faut transformer la valeur floue (linguistique) en une valeur déterminée pour déduire l'état du système, ceci se faisant dans le bloc défuzzification ; en [21][54] on rencontre les applications de cette méthode pour le diagnostic des machines asynchrones.

7.5.4. Diagnostic par réseaux de neurones

Cette méthode fait partie des méthodes de diagnostic externes, elle utilise la classification automatique des signaux et des formes [5, 9].

Le principe de fonctionnement des réseaux de neurones est inspiré des mécanismes de fonctionnement du cerveau humain. De l'extérieur, le réseau de neurones se présente comme une 'boîte noire' qui reçoit des signaux d'entrée et qui fournit les réponses appropriées.

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

Par ailleurs, un réseau de neurones est défini par [6, 9] :

- la nature des cellules élémentaires qui le constituent (binaires ou continues) ;
- l'architecture et le nombre des couches du réseau ;
- la nature des connexions ;

- les méthodes d'apprentissage ;
- les performances de classification ;
- les mécanismes de mémorisation.

8. Analyse critique des méthodes de diagnostic existantes

Les performances des méthodes de diagnostic basées sur la modélisation dépendent très fortement de l'utilisation du modèle, dont l'obtention exige un grand effort. En plus, le changement d'une équation conduit en général au changement d'autres équations ou d'autres paramètres. De ce fait, le modèle obtenu ne peut pas être considéré comme étant exact ou performant et par conséquent le système de diagnostic ne sera pas fiable.

Les méthodes basées sur l'estimation d'état ou l'estimation des paramètres ont des relations compliquées entre les coefficients physiques et les paramètres. Ces relations, doivent être uniques et de préférence connues exactement alors que ce dernier cas est rarement réalisable. Pour l'estimation du modèle dynamique d'un processus, il doit être linéarisé autour d'un point de fonctionnement, donc les résidus, c'est à dire les différences entre les variables mesurées et les variables estimées sont généralisées et la détection du défaut est exécutée en utilisant les méthodes de test [6]. Cette approche exige relativement une connaissance exacte des paramètres d'un modèle linéarisé. C'est à dire le processus doit fonctionner aux alentours du point où la linéarisation a été effectuée, parce que le modèle est valide seulement au voisinage de ce point de fonctionnement.

Quant aux méthodes externes de diagnostic, elles ne nécessitent pas la connaissance du modèle mathématique du processus pour la détection d'une défaillance, mais elles nécessitent les données représentatives pour les apprendre; ces données sont obtenues à partir de l'expertise humaine basée sur le retour d'expérience (sur le système); ces méthodes sont simples à appliquer ou à réaliser mais la tâche de calcul dépend beaucoup des données du problème à étudier. D'un autre côté, ces méthodes sont plus flexibles dans le cas de changement de paramètres, car dans la phase de construction du système de détection, on peut prévoir les défauts en tenant compte du changement des paramètres ; en outre, on peut considérer cette opération dans la phase d'apprentissage dans le cas d'application des réseaux de neurones et la phase de fuzzification dans le cas d'application de la technique de la logique floue.

Par ailleurs, il est à remarquer que le développement d'un système de diagnostic basé sur la technique des systèmes experts, nécessite un grand effort (pour sa conception et sa réalisation). En outre, son installation coûte très cher [5]. D'un autre côté, la logique floue peut être appliquée pour remplacer les systèmes experts par des règles linguistiques, quand le problème à résoudre est trop complexe (difficile à analyser). Ces règles sont plus souhaitables pour décrire la nature exacte des machines réelles mais les formes et le nombre des fonctions d'appartenance doivent être initialement choisies en utilisant une large base de données.

Partant de la considération que le caractère principal du système de diagnostic est de constituer un catalogue défauts-symptômes, les approximateurs universels (réseaux de neurones paraissent très intéressants pour la mise en place de la procédure du diagnostic [5, 13, 20].

Par ailleurs les réseaux de neurones possèdent des caractéristiques permettant la résolution de problèmes complexes, à savoir :

- La capacité de classification des signatures et des formes, ce qui correspond bien au cas étudié dans le présent travail ;
- Le RNA peut apprendre des règles à partir des exemples (défauts) c'est à dire qu'on peut élaborer avec un RNA un modèle non paramétrique qui peut décrire tous les états de la machine (fonctionnements normaux et anormaux) et, en plus, ce modèle peut généraliser son identification à d'autres exemples qui n'ont pas été appris.
- La capacité de mémorisation des exemples, en les distribuant sur les poids de connexion de la structure, tel que la perte d'un neurone ou d'une connexion, n'influe pas sur la mémorisation des exemples.

A la lumière de l'analyse critique des méthodes de diagnostic, il est clair que les méthodes internes (qui se basent sur la modélisation physique ou fonctionnelle du processus) ne peuvent pas bénéficier de modèles exacts pour les systèmes non linéaires (tels que la machine asynchrone). En effet, ce type de méthodes ne peut être appliqué avec succès qu'aux systèmes linéaires ou aux systèmes dont les modèles sont parfaitement connus.

En ce qui concerne les méthodes externes, la méthode retenue dans le présent travail est la technique des réseaux de neurones. Ce choix est justifié par les avantages que possède cette technique à savoir :

9. Conclusion

Dans le présent chapitre ont été exposées les étapes nécessaires à la mise en place d'un système d'aide au diagnostic (analyse de la problématique du diagnostic) ; une étude critique des méthodes de diagnostic a été ensuite effectuée.

D'après l'analyse critique faite sur les méthodes du diagnostic, il a été déduit que les méthodes externes du diagnostic des défaillances sont bien adaptées au système à étudier car la modélisation physique de toutes les défaillances de la machine asynchrone ne peut pas être réalisée. Parmi les méthodes externes, la technique des réseaux de neurones a été retenue pour l'élaboration du système de diagnostic des défaillances de la machine asynchrone à double stator.

En effet, l'analyse bibliographique effectuée a démontrée que les RNA sont largement utilisées dans le domaine du diagnostic, en raison de leurs avantages et de leur simplicité.

Par ailleurs, afin de collecter les informations (signatures des défauts) pour élaborer le système du diagnostic, le chapitre suivant sera consacré à la modélisation de la machine asynchrone à double stator dans les régimes normaux et anormaux de fonctionnement.