

République Algérienne Démocratique et Populaire
Ministère de l'Enseignement Supérieur
et de la Recherche Scientifique

Ecole Nationale Polytechnique



DEPARTEMENT D'ÉLECTROTECHNIQUE

PROJET DE FIN D'ETUDES

Thème

**Télédiagnostic de Défauts Electriques de
la Machine Asynchrone**

Proposé et dirigé par :

Pr.O.TOUHAMI

Réalisé par :

BOUKOUCHI Abdelaziz

OUAGUED Sofiane

Promotion juin 2012

Abstract

Electrical Machine condition monitoring is important to factory efficiency and safety of workers. A variety of signals analysis techniques have long been used to diagnosis machine status. This study deals with remote diagnosis of electrical systems. Based on the newest Internet technology we developed a remote monitoring system with many merits. The use of such system gives many advantages including minimum research work on the client side, and simplicity to expand the system. The users can check the machine status data through the internet and mobile terminals.

Keywords: Remote monitoring, Remote diagnosis, Diagnosis, spectral analysis, induction motor.

Résumé

La surveillance d'état des machines est importante pour vérifier l'efficacité des usines et la sûreté des ouvriers. Une variété de techniques d'analyse des signaux de vibration a été déjà employée dans le diagnostic de défauts des machines électriques. Cette étude traite le diagnostic à distance des systèmes électriques. En se basant sur l'Internet et les nouvelles technologies de communication mobile nous avons développé un système de surveillance à distance. L'utilisation d'un tel système offre plusieurs avantages : réduire les coûts de production, améliorer la fiabilité, réduire le temps d'arrêt des machines et assurer l'efficacité des opérations. Les utilisateurs peuvent consulter l'état de la machine par l'Internet

Mots clés : Télésurveillance, Télédiagnostic, Diagnostic, Analyse spectral, Moteur asynchrone.

ملخص:

مراقبة حالات الآلات الكهربائية مهمة لفعالية المصانع و أمن العمال. مجموعة من تقنيات تحليل الاشارات الاهتزازية تم استخدامها لتشخيص أعطاب الآلات الكهربائية. هذه الدراسة تعالج التشخيص عن بعد لأنظمة الكهربائية. بالاعتماد على الانترنت و التقنيات الجديدة للتواصل بالنقل طورنا نظام مراقبة عن بعد. استخدام هذه المنظومة يقدم الكثير من الإيجابيات. المستخدمون يستطيعون مراقبة حالة الالة باستخدام الشبكة العنكبوتية في انظمة المراقبة عن بعد.

كلمات مفتاحية: مراقبة عن بعد, الفحص عن بعد, التحليل الطيفي.

Remerciements

Nous adressons nos respectueux remerciements à :

- Monsieur le Professeur O.TOUHAMI, notre Promoteur.*
- Nos sincères remerciements vont aussi à R. SADOUN, Maitre de conférence à l'ENP, de nous avoir tant soutenu et consacré de son temps précieux.*
- Nous tenons à remercier aussi, A.BOUZIDA, M. OUADAH pour leurs intérêts et leurs conseils pour notre projet.*
- Tous les membres de jury qui nous ont fait l'honneur de juger notre travail.*
- Tous les enseignants qui ont contribué à notre formation pendant les cinq années.*

SOMMAIRE

INTRODUCTION GENERALE.....	1
----------------------------	---

CHAPITRE I

METHODES DE DIAGNOSTIC DE DEFAUTS DES MACHINES ELECTRIQUES

I. 1 Introduction	Erreur ! Signet non défini.
I.2. les méthodes de traitement des signaux utilisées dans le diagnostic....	Erreur ! Signet non défini.
I.2.1.Transformé de Fourier	Erreur ! Signet non défini.
I.2.2. Analyse temps-fréquence et temps-échelle	Erreur ! Signet non défini.
I.3 La méthode des éléments finis	Erreur ! Signet non défini.
I. 4 La méthode basée sur les circuits multiples couplés magnétiquement .	Erreur ! Signet non défini.
Conclusion.....	Erreur ! Signet non défini.

CHAPITRE II

DIAGNOSTIC PAR L'ANALYSE SPECTRALE DU COURANT STATOR (MCSA)

II.1. Diagnostic et surveillance.....	Erreur ! Signet non défini.
<i>A/ La surveillance</i>	Erreur ! Signet non défini.
<i>B/ Détection</i>	Erreur ! Signet non défini.
<i>C/ Diagnostic et localisation</i>	Erreur ! Signet non défini.
<i>D/ Méthodes de surveillance industrielle</i>	Erreur ! Signet non défini.
II.2 La méthode de diagnostic basée sur l'analyse spectrale du courant stator (MCSA)	Erreur ! Signet non défini.
II.2.1 Quelques travaux effectués dans le diagnostic par le MCSA	Erreur ! Signet non défini.
II.2.2 Les fréquences caractéristiques des différents défauts	Erreur ! Signet non défini.
II.3 Conclusion.....	41

CHAPITRE III

SYSTÈME DE SURVEILLANCE À DISTANCE PAR INTERNET DES MACHINES ÉLECTRIQUES : LE TÉLÉDIAGNOSTIC

III. 1 Définitions de quelques termes utilisés	Erreur ! Signet non défini.
III.2 Introduction	Erreur ! Signet non défini.
III.3. Une Architecture "Web Broker" pour le diagnostic de machines à distance	Erreur ! Signet non défini.
III.4 Surveillance en ligne basée sur Ethernet / Internet.....	Erreur ! Signet non défini.
III.5 Objectifs	Erreur ! Signet non défini.
III.6 Architecture des systèmes de télésurveillance.....	Erreur ! Signet non défini.

III.7 Utilisation des téléphones portables dans le télédiagnostic	Erreur ! Signet non défini.
III.8 Utilisation du "DATA-LOGGER"	Erreur ! Signet non défini.
III.8.1 Système de télésurveillance utilisant le DATA-LOGGER	Erreur ! Signet non défini.
III.8.2 Pourquoi choisir un DATA-LOGGER parmi d'autres types d'instruments ...	Erreur ! Signet non défini.
III.9 Système utilisé dans notre travail	Erreur ! Signet non défini.
A/ <i>Modèle et test de la mise en œuvre de la carte DAQ</i>	Erreur ! Signet non défini.
B/ <i>Modèle de traitement et de stockage</i>	Erreur ! Signet non défini.
C/ <i>Partie expertise</i>	Erreur ! Signet non défini.
III.10 Evaluation des systèmes de diagnostic à distance	Erreur ! Signet non défini.
- <i>Avantages des systèmes de télédiagnostic</i>	Erreur ! Signet non défini.
- <i>Inconvénients et Problèmes qui se posent dans la surveillance des systèmes à distance ..</i>	Erreur ! Signet non défini.
III.11 Conclusion.....	Erreur ! Signet non défini.

CHAPITRE IV

RESULTATS EXPERIMENTAUX ET ANALYSE

IV.1 Description et présentation du banc d'essais.....	Erreur ! Signet non défini.
IV.2. Analyse de différentes grandeurs	Erreur ! Signet non défini.
IV.2.1. La tension.....	Erreur ! Signet non défini.
IV.2.2. La vitesse des différents moteurs	Erreur ! Signet non défini.
IV.2.3. Les courants pour les différents moteurs.....	Erreur ! Signet non défini.
IV.3. L'analyse du courant stator des différentes machines: Observations et discussions.....	Erreur ! Signet non défini.
IV.4 Conclusion.....	Erreur ! Signet non défini.3
CONCLUSION GENERALE.....	74

INTRODUCTION GENERALE

Les machines asynchrones, de par leur robustesse et leur rapport poids/puissance, sont largement utilisées en milieu industriel, notons aussi que les progrès réalisés en matière de contrôle et les avancées technologiques dans le domaine de l'électronique de puissance ou de la microélectronique, ont rendu possible l'implantation de commandes performantes pour cette machine, faisant d'elle un concurrent certain dans les secteurs de la vitesse variable et du contrôle rapide de couple, détrônant ainsi le moteur à courant continu.

Assurer leur continuité de fonctionnement nécessite la mise en place de programmes de maintenances préventive et corrective. En effet, la fiabilité et la sûreté de leur fonctionnement permettent en partie d'assurer la sécurité des personnes, la qualité du service et la rentabilité des installations.

Malheureusement, les contraintes nouvelles et l'intégration de ces machines dans des systèmes de conversion d'énergie de plus en plus complexes rendent le diagnostic plus difficile. Traditionnellement la procédure de maintenance des machines électriques se fait naturellement par réparation, ou remplacement des équipements suite à l'arrêt, mais cette procédure présente des pertes économiques considérables, ce que l'on appelle la maintenance corrective. Alors que la maintenance était comme un centre des coûts, les utilisateurs sont de plus en plus conscients qu'elle peut contribuer de manière significative à la performance globale de l'entreprise ainsi qu'à la sécurité. Avec le développement de la technologie, une nouvelle approche fait son chemin rapidement dans la gestion de la maintenance, c'est la maintenance prédictive qui consiste en la détection et la localisation de défauts en vue d'intervenir d'une manière précoce à l'égard des différents types de défauts que ce soit électriques ou mécaniques.

L'activité de maintenance des installations fait appel depuis plus d'une vingtaine d'année à des techniques de diagnostic de plus en plus sophistiquées. Plusieurs techniques de détection de défauts sont aujourd'hui à la disposition des ingénieurs de maintenance. Parmi celles-ci, on peut noter : l'analyse des vibrations mécaniques, du flux,... et l'analyse du courant stator. Des différentes techniques d'analyse des signaux, comme La transformée de Fourier et la transformée en ondelette, ont longtemps été utilisées dans le diagnostic de ces machines dans le cadre de l'analyse spectrale.

Dans ce travail, nous allons utiliser La transformée de Fourier TF pour l'analyse du courant statorique, pour le diagnostic des défauts électriques de la cage d'écureuil, défauts de barre et anneaux de court-circuit.

La tendance actuelle de la fabrication se déplace vers la régionalisation. Par conséquent, l'unité de production peut être loin des experts, alors que les machines doivent être surveillées par ces mêmes experts. Grâce aux techniques basées sur l'Internet et la communication mobile, la surveillance d'état des machines à distance et le diagnostic de défauts deviennent réalisables. Par conséquent, des décisions rapides peuvent être prises à distance. Des plans d'urgence peuvent être fournis pour compenser les pertes de production due à la panne intempestive des machines de production. Finalement, le contrôle des machines à distance devient essentiel aux compagnies impliquées dans la concurrence.

L'objet de notre mémoire est d'exploiter l'INTERNET dans les systèmes de diagnostic des machines électriques en développant un système de diagnostic rapide à distance. Pour cela notre travail est composé de quatre chapitres ponctués par une conclusion générale:

Dans le chapitre I nous allons faire une présentation sommaire des différentes techniques de détection. Afin de mieux situer notre travail, il a été nécessaire de regarder quelles sont les différentes méthodes de diagnostic actuellement utilisées pour détecter la présence d'une anomalie au sein de la machine asynchrone.

Dans le chapitre II, l'état de l'art du diagnostic est abordé en présentant les différentes approches pouvant être utilisées dans le diagnostic en se basant sur l'approche de traitement numérique des signaux. On s'attardera sur la méthode MCSA (Motor Current Signature Analysis) qui sera utilisée dans notre étude expérimentale, en donnant une exposition de classification des différents défauts pouvant affecter chaque élément de cette machine (causes, effets, études statistiques).

Le chapitre III décrit La surveillance en ligne par INTERNET : Le télédiagnostic, comme une technique ayant comme but de surveiller l'état d'une machine en continu en montrant comment l'évolution de cette technologie a influencé cette technique.

Le chapitre IV nous décrivons le banc d'essais utilisés pour le télédiagnostic des défauts électriques et mécaniques. Les résultats expérimentaux obtenus sont également présentés et discutés.

Nous terminerons ce mémoire par une conclusion portant sur les travaux exécutés et par une présentation des perspectives de recherche pouvant être envisagées.

CHAPITRE I

METHODES DE DIAGNOSTIC DE DEFAUTS DES MACHINES ELECTRIQUES

I.1.Introduction

Afin de mieux situer notre travail, il a été nécessaire de voir qu'elles sont les différentes méthodes de diagnostic actuellement utilisées pour détecter la présence d'une anomalie au sein d'une machine asynchrone.

Le diagnostic de défauts d'un système passe par les étapes suivantes :

- Structuration de la connaissance
 - Comprendre le fonctionnement du système à diagnostiquer ou à surveiller.
 - Evaluer l'apparition de défauts ou de pannes. Cela se fait soit :
 - par des analyses logiques du processus de fonctionnement. Citons par exemple, l'effet de surchauffe du moteur qui provoque une dégradation des isolants des conducteurs et par conséquent, engendre des courts-circuits dans les bobinages.
 - par des études statistiques faites généralement dans l'industrie sur un large panel de machines. L'expérience des praticiens est aussi une source fiable et précieuse en matière d'informations.
 - Une troisième étape consiste à hiérarchiser les défauts sur la base de leur impact sur le fonctionnement de la machine et sur leur fréquence d'apparition. Ceci permet de focaliser l'étude sur un nombre limité de défauts et d'éviter ainsi de mobiliser des ressources.
- Réduction des sources d'information : ceci consiste à identifier les signaux pertinents à l'identification des défauts sélectionnés au préalable, et permet ainsi de réduire le nombre de capteurs et donc le coût de la surveillance.
- Procédure de détection: il s'agit de développer des outils nécessaires à la synthèse de résidus significatifs de l'apparition de défauts. « Diagnostic et pronostic : Il s'agit dans cette étape de faire le lien entre le résidu et le défaut dans la machine, ensuite, de prendre les mesures nécessaires pour minimiser l'impact de la panne ou de réparer ». Dans une

machine asynchrone, la cassure d'une barre au rotor implique, selon le type d'utilisation du moteur, la prévision d'une réparation dans un délai plus ou moins appréciable, alors qu'un court-circuit sérieux entre deux phases implique une intervention immédiate.

Actuellement, il existe plusieurs outils de surveillance et de diagnostic des entraînements électriques utilisant des méthodes mécaniques vibratoires ou acoustiques. D'autre part, des approches qui consistent en l'utilisation des variations de l'alimentation électrique de l'entraînement sont en développement. Ces approches permettent de s'affranchir des problèmes d'accessibilité et de dissocier les différents types de défauts qui apparaissent.

Dans ce chapitre, nous présentons sommairement les différentes techniques de détection de défauts. Elles sont classées en deux catégories, à savoir :

- Les techniques qui effectuent l'analyse des signaux d'acquisitions,
- et les techniques qui nécessitent la formulation d'un modèle mathématique du système, qualifiées de diagnostic interne.

I.2. les méthodes de traitement des signaux utilisées dans le diagnostic

Nous présentons les méthodes classiques d'estimation de la densité spectrale de puissance d'un signal, notée DSP, fondées sur la transformée de Fourier discrète. Nous donnons par la suite les caractéristiques importantes d'un estimateur que sont le biais et la variance ainsi que leur impact sur le spectre fréquentiel résultant. Cela nous mènera de présenter quelques méthodes permettant de diminuer la variance pour obtenir une meilleure estimation de la densité spectrale de puissance du signal observé.

1.2.1. Transformé de Fourier

Le signal à temps continu $x(t)$ possède (sous des conditions que nous supposons remplies) une transformée de Fourier et celle-ci s'écrit :

$$X(f) = \int_{-\infty}^{+\infty} x(t) e^{-j2\pi ft} dt \quad (I.1)$$

Où f désigne la fréquence exprimée en Hertz. Pour les signaux d'énergie finie, la formule de Parseval s'écrit :

$$\int_{-\infty}^{+\infty} |x(t)|^2 dt = \int_{-\infty}^{+\infty} |x(f)|^2 df \quad (I.2)$$

La fonction $|x(f)|^2$ est appelée spectre ou densité spectrale d'énergie (DSE). D'après la formule de Parseval, elle s'interprète en effet comme la répartition de l'énergie le long de l'axe des fréquences. De façon générale, on peut dire qu'un signal qui présente des variations brutales possède de l'énergie dans les fréquences élevées et son spectre s'étale vers les hautes fréquences.

1.2.1.1. Transformée de Fourier discrète

Le théorème d'échantillonnage énonce qu'un signal réel à fréquence maximal f_s peut être reconstruit de façon parfaite (on entend par là que l'on espère pouvoir reconstituer le signal original à temps continu à partir de la seule connaissance des échantillons du signal) si la fréquence d'échantillonnage f_e est supérieure ou égale à deux fois f_s , i.e. $f_e > 2f_s$. Si $f_e < 2f_s$, l'opération de reconstruction parfaite n'est plus possible. [1]

La transformée de Fourier discrète, généralement notée TDF, d'une suite finie de P échantillons $\{p(0), p(1), \dots, p(P-1)\}$ se calcul grâce la relation:

$$F(k) = \frac{1}{N} \sum_{n=0}^{N-1} P_s(n) e^{-j \frac{2\pi nk}{N}} \quad (I.3)$$

Où le terme N représente le nombre de point de calcul de TDF. Ce terme influe sur la précision du tracé alors que le terme P est lié à ce que l'on appelle la résolution en fréquence. En pratique, on essaye d'avoir un nombre de point P de la suite $p(n)$ supérieur ou égal au nombre de point de la TDF ($P \geq N$). Si ce n'est pas le cas, on utilise une technique appelée zéro-padding qui consiste à compléter la suite $p(n)$ avec $(N - P)$ zéros, ce qui permet d'obtenir autant de point pour la suite temporelle que la suite fréquentielle. La transformée de Fourier inverse, notée ITFD, se calcul grâce à la relation :

$$P(n) = \sum_{k=0}^{N-1} F(k) e^{j \frac{2\pi nk}{N}} \quad (I.4)$$

En décomposant l'exponentielle de l'équation I.1, le nombre complexe $F(k)$ peut se mettre sous la forme :

$$F(k) = \frac{1}{N} \sum_{n=0}^{N-1} P_s(n) \cos\left(\frac{2\pi nk}{N}\right) - j \frac{1}{N} \sum_{n=0}^{N-1} P_s(n) \sin\left(\frac{2\pi nk}{N}\right) \quad (I.5)$$

Cette équation permet ainsi de définir la transformée de Fourier en cosinus, notée TDF cos grâce à l'équation suivante :

$$F_c(k) = \frac{1}{N} \sum_{n=0}^{N-1} P_s(n) \cos\left(\frac{2\pi nk}{N}\right) \quad (I.6)$$

Ainsi que la transformée de Fourier, ensuite, notée TDF-sin, déterminée par l'équation :

$$F_s(k) = \frac{1}{N} \sum_{n=0}^{N-1} P_s(n) \sin\left(\frac{2\pi nk}{N}\right) \quad (I.7)$$

I.2.1.2. Transformée de Fourier rapide

La transformée de Fourier rapide, notée TFR, est un algorithme de calcul rapide de la TDF élaborée en 1965 par *J.W.Cooley*. L'algorithme de base de cette transformée utilise un nombre de points N égal à une puissance de 2, ce qui permet d'obtenir un gain en temps de, par rapport à un calcul avec la TDF, de :

$$Gain = \frac{N}{\log_2(N)}$$

Cette transformée de Fourier rapide est très utilisée lorsqu'il est indispensable d'obtenir une analyse fréquentielle "en ligne" dans certains processus au travers d'une fenêtre glissante d'observation [1].

I.2.2. Analyse temps-fréquence et temps-échelle

La non-stationnarité des signaux est une propriété très courante mais difficile à maîtriser. Si nous prenons le cas d'une machine asynchrone, certaines utilisations obligent cette dernière à fonctionner sous des couples de charges variant très souvent dans le temps. C'est pour cette raison que des techniques de traitements temps-fréquence et temps-échelle ont vu le jour dans le domaine de diagnostic des machines électriques.

I.2.2.1. Analyse temps-fréquence

Le courant du moteur asynchrone peut être assimilé à un signal non-stationnaire dans certaines applications (variation aléatoire du couple de charge modifiant la valeur efficace du courant absorbé). De plus, nous savons que les techniques qui utilisent la transformée de Fourier ne sont pas suffisantes pour représenter ce type de signal. Durant ces dernières années, l'avancement des méthodes statistiques de surveillance de signaux a fourni des outils efficaces pour traiter les signaux non-stationnaires. En particulier, les transformations temps-fréquence donnent un cadre mathématique optimal pour l'analyse des signaux non stationnaires [4] [5].

Par exemple, la transformation de Wigner-Ville permet d'obtenir une représentation temps-fréquence permettant d'effectuer un diagnostic relativement précis de l'état du système analysé. Cette transformation est une fonction réelle qui définit une distribution d'énergie dans le plan temps-fréquence. Le temps de calcul d'une telle représentation peut être prohibitif et l'interprétation de l'image résultante est souvent difficile, ce qui rend la détection de défaut complexe. C'est pour cette raison, une méthode d'analyse temps-fréquence pour détecter les barres rotoriques cassés et les défauts roulement.

L'idée clé dans cette méthode est de transformer le courant du stator en une représentation temps-fréquence pour capter la variation dans le temps des composantes spectrales comme nous le montre la **Figure.I.1**. Ensuite, une analyse statistique du spectre fréquentiel est effectuée pour distinguer les conditions de défaut par rapport aux conditions de fonctionnement normal du moteur. Puisque chaque moteur a une géométrie distincte, une approche particulière est alors utilisée. Dans cette approche, l'algorithme est programmé pour identifier le fonctionnement normal du moteur avant la détection réelle du défaut [6].

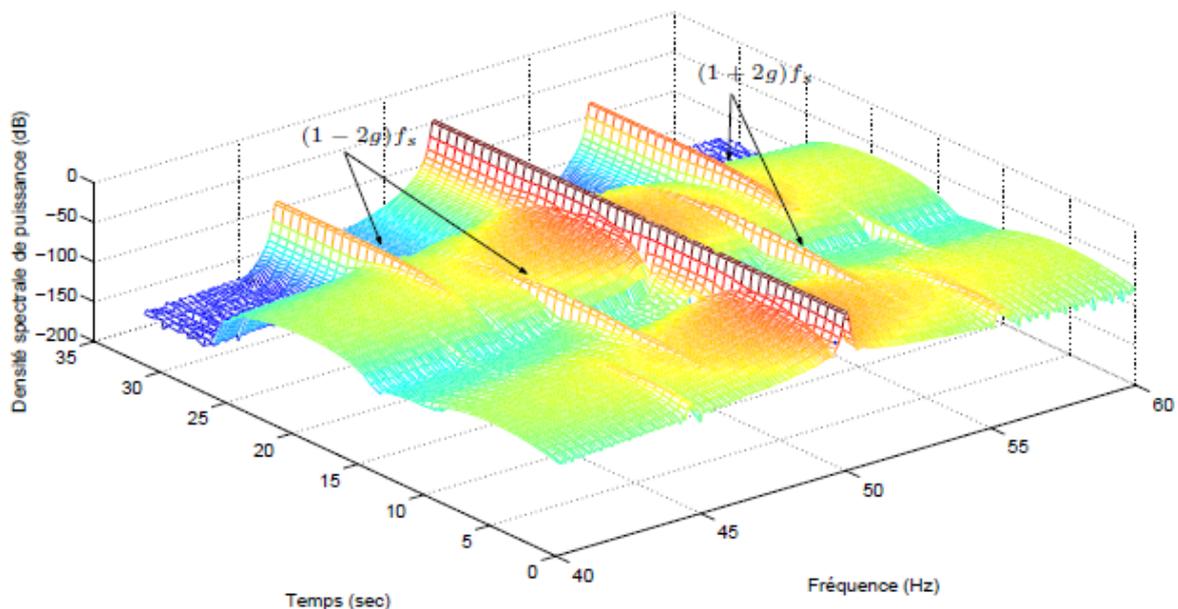


Fig. I.1 Représentation temps-fréquence

I.2.2.2 Analyse temps-échelle (ondelette)

La transformée en ondelettes est un outil récent de traitement du signal pour le diagnostic [7], [8]. Son principe repose sur la décomposition d'un signal dans une base de fonctions particulières. De ce point de vue, elle est tout à fait comparable à l'analyse de Fourier [9]. Cependant, les ondelettes sont des fonctions oscillantes au sens large, rapidement amorties, contrairement aux fonctions sinusoïdales de l'analyse de Fourier. Par ailleurs, les ondelettes possèdent la propriété de pouvoir être bien localisées en temps ou en fréquence, ce qui les différencie principalement de l'analyse temps-fréquence classique [8]. Les ondelettes ont de nombreuses applications comme la détection de singularité dans un signal applicable au diagnostic des roulements à billes la compression de données (format JPEG 2000) ou encore [10], [11], [12], [25].

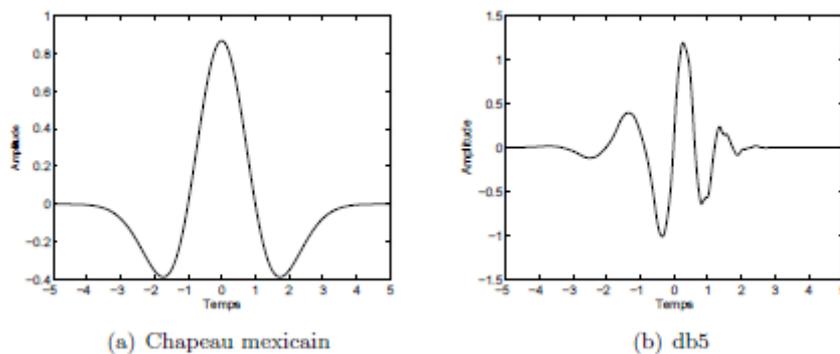


Fig. I.2 Exemples de formes d'ondelette

Considérons une fonction $\psi(t)$ répondant au critère d'admissibilité des ondelettes [8]. Cette fonction est définie comme une ondelette mère. Les atomes de la transformée en

ondelettes, fonctions servant à la décomposition d'un signal, sont définis par (I.8) où a est le facteur d'échelle de l'ondelette qui caractérise sa localisation fréquentielle et b est le paramètre de décalage temporel de l'ondelette. Tout comme la transformée de Fourier, la transformée en ondelettes d'une fonction $x(t)$ est définie au moyen d'un produit scalaire (I.9). La fig. I.2 montre deux ondelettes particulières : le chapeau mexicain et l'ondelette à support compact db5.

$$\psi_{a,b}(t) = \frac{1}{\sqrt{a}} \psi\left(\frac{t-b}{a}\right), \text{ avec } (a,b) \in \mathbb{R}^2 \quad (\text{I.8})$$

$$[W_\psi(x)](a,b) = \langle x(t), \psi_{a,b}(t) \rangle = \int_{-\infty}^{+\infty} x(t) \bar{\psi}_{a,b}(t) dt \quad (\text{I.9})$$

Dans le cadre des signaux numériques, c'est la transformée en ondelettes dyadiques qui est préférentiellement appliquée, car elle permet de décomposer un signal dans une base, c'est-à-dire sans perte ou redondance d'informations [11]. Cette technique permet de paver sans recouvrement le plan temps-échelle dans le cas des ondelettes. La transformée en ondelettes conduit à l'analyse multi résolution, qui permet de décomposer un signal en sous bandes fréquentielles [14] Cette propriété est utilisée en diagnostic pour focaliser l'analyse d'un signal dans un domaine fréquentiel donné [13]. La décomposition en ondelettes d'un signal conduit à l'obtention d'un signal d'approximation et d'un signal de détail. Le signal de détail contient le contenu fréquentiel haute fréquence du signal d'origine dans le domaine $\left[\frac{f_{ech}}{4}, \frac{f_{ech}}{2}\right]$ avec f_{ech} la fréquence d'échantillonnage. Le signal d'approximation, quant à lui, contient le contenu fréquentiel basse fréquence du signal d'origine dans le domaine $\left[0, \frac{f_{ech}}{4}\right]$. L'opération est répétée de manière itérative sur chaque approximation conduisant à l'arbre de décomposition d'un signal temporel $s(t)$ de la fig. I.3

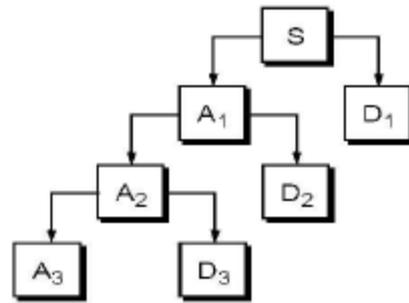


Fig. I.3 – Arbre de décomposition en ondelettes dyadiques au niveau $J_0 = 4$

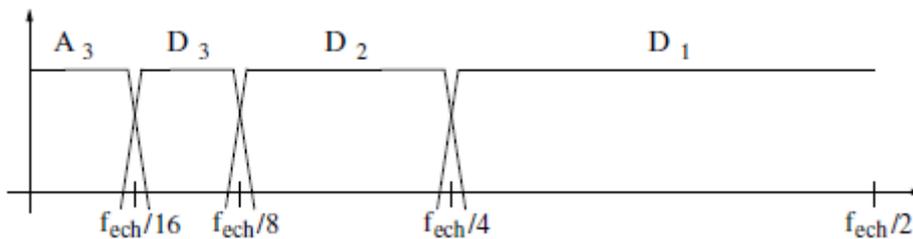


Fig. I.4 – Découpage en sous bandes fréquentielles d'un signal par la transformée en ondelettes dyadiques au niveau $J_0 = 3$

Où $J_0 = 4$ représente le niveau final de décomposition ou niveau de résolution. Au fur et à mesure que le niveau de résolution augmente, l'analyse du signal se focalise sur des bandes de fréquences de plus en plus basses, comme le montre la fig. I.4 Une fois le signal décomposé en sous-bandes représentatives de contenus fréquentiels différents, une transformée de Fourier est généralement appliquée pour analyser le contenu spectral des sous bandes. La transformée en paquets d'ondelettes dyadiques est basée sur la transformée en ondelettes précédente [15]. La première étape de décomposition est la même.

Cependant, les signaux de détails et d'approximation sont à nouveau décomposés, comme le montre l'arbre complet de décomposition en Fig. I.3 Toutes les sous-bandes fréquentielles couvrent des domaines de largeurs identiques. Dans le cas de la détection des défauts de roulements, cette technique permet d'obtenir la même finesse d'analyse quelles que soient les fréquences investiguées [16], [17], [18].

I.2.2.3. Analyse spectrale

L'analyse spectrale est utilisée depuis de nombreuses années pour détecter des défaillances dans les machines électriques, essentiellement les ruptures de barres au rotor des machines asynchrones, la dégradation des roulements, les excentricités et les courts-circuits dans les bobinages. Ces cas se prêtent bien à cette approche dans la mesure où de nombreux phénomènes se traduisent par l'apparition de fréquences directement liées à la vitesse de rotation ou à des multiples de la fréquence d'alimentation. La surveillance par analyse spectrale de la machine asynchrone consiste donc à effectuer une simple transformée de Fourier des grandeurs affectées par le défaut, et à visualiser les fréquences parasites constituant la signature d'un défaut dans la machine Fig. I.5. Les grandeurs choisies sont soit les grandeurs électriques (plus particulièrement les courants de ligne) [19], soit les grandeurs mécaniques (vibration, couple électromagnétique).

Cette technique permet une surveillance rapide et peu onéreuse car elle exige un simple capteur de courant ou de vibration. Cependant, elle nécessite une analyse manuelle par un expert en surveillance des machines électriques.



Fig. I.5: Principe de la surveillance par analyse spectrale [20]

A ce jour, c'est l'analyse fréquentielle des grandeurs mesurables qui est le plus souvent utilisée pour le diagnostic de défauts rotoriques. Les grandeurs accessibles et mesurables d'une machine asynchrone peuvent être :

- les courants absorbés, la tension d'alimentation, le flux de dispersion;
- la vitesse de rotation, le couple électromagnétique, les vibrations

La plupart des défauts connus peuvent être détectés avec ce type d'approche. Cependant, l'équipement nécessaire pour l'acquisition des signaux reste encore coûteux.

I.3 La méthode des éléments finis

Il s'agit de découper la machine en éléments de tailles suffisamment petites, pour que le matériau magnétique puisse être considéré comme linéaire sur les surfaces correspondantes, et à partir des équations de Maxwell, il est possible d'exprimer le problème à résoudre. La méthode des éléments finis permet de reproduire fidèlement le comportement électromagnétique de la machine, et de simuler les défauts d'une manière plus proche de la réalité. Cependant, les moyens et le temps de calcul freinent l'utilisation de telles méthodes en simulation et l'évaluation des algorithmes de détection des défauts. Une modélisation en deux dimensions de la machine est suffisante et permet de réduire sensiblement les temps de calcul [21]. L'équation utilisée est la suivante :

$$\sigma_e \frac{d\vec{A}}{dt} + \text{rot} \vec{\left(\frac{1}{\mu \text{rot} \vec{A}} \right)} = J + \text{rot} \vec{H} \quad (\text{I.10})$$

A : Potentiel vecteur magnétique (Weber/m),

H : Champ magnétique (A/m)

J : Densité de courant uniforme (A/m)

σ_e : Conductivité électrique (1/Ω.m)

μ : Perméabilité magnétique (H/m)

t : Temps (s)

La Fig. I-6 représente le circuit magnétique du moteur en deux dimensions. La géométrie est très proche de la machine réelle. L'utilisation de la bande de roulement permet de prendre en compte la rotation du rotor en magnéto-évolutif sans pour autant effectuer un nouveau maillage de la machine à chaque nouvelle position du rotor. Le logiciel utilisé est FLUX2D de Cedrat. Celui-ci permet de réaliser le schéma du circuit magnétique en deux dimensions.

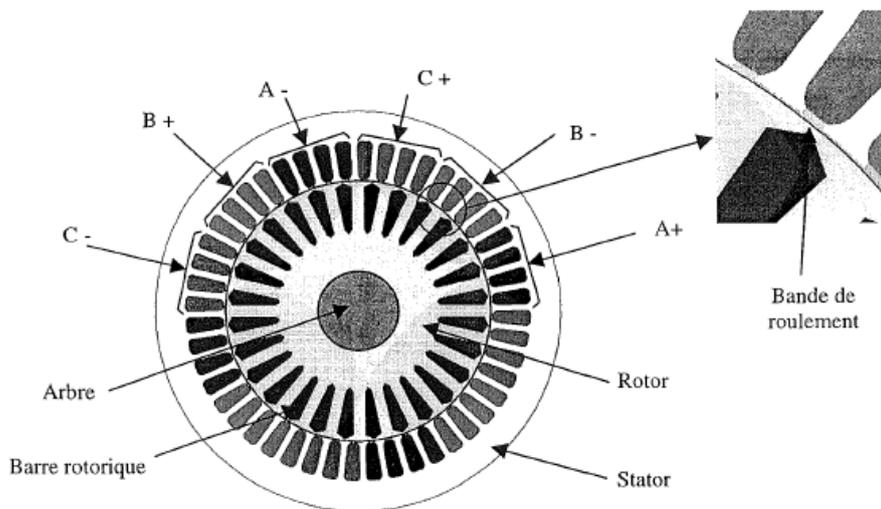


Fig. I.6 Circuit magnétique de la machine asynchrone,[24]

La saturation du circuit magnétique est prise en considération. Les courbes $B(H)$ du circuit magnétique et de l'arbre sont représentées ci-dessous.

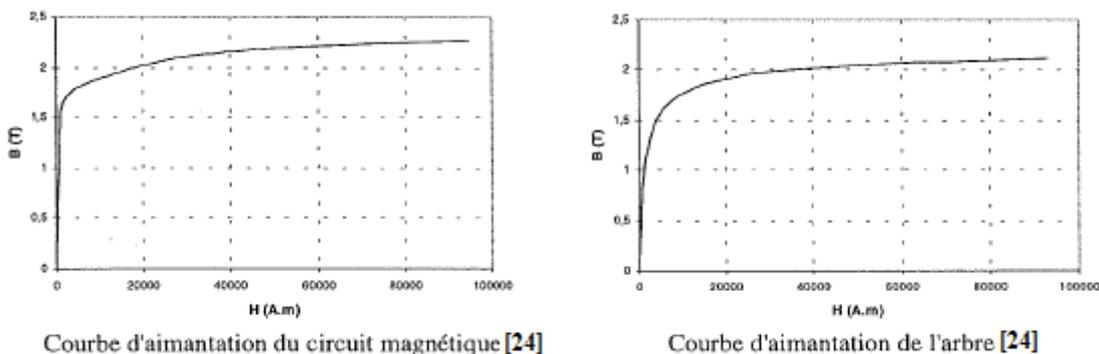


Fig. I.7: Courbes d'aimantation [24]

La figure I.8 présente le maillage effectué sur le circuit magnétique de la machine [23]. Le maillage est plus dense au voisinage de l'entrefer puisque dans cette région se développe l'énergie électromagnétique. Par contre le maillage est plus grossier vers l'arbre et vers l'extérieur de la culasse pour alléger les temps de calcul sans perte sensible d'information.

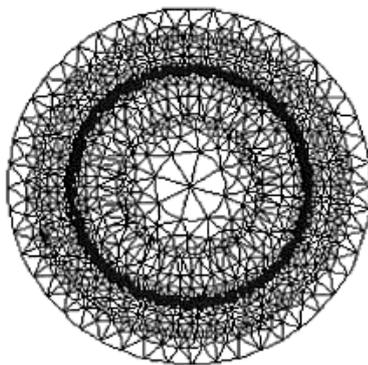


Fig. I.8 Répartition du maillage [24]

Le circuit magnétique étant modélisé, le schéma de connexion des conducteurs électriques est introduit. Le circuit électrique représentant le bobinage statorique et les conducteurs de la cage rotorique sont représentés séparément.

Pour le stator, Nous avons le schéma suivant Fig. I.9 :

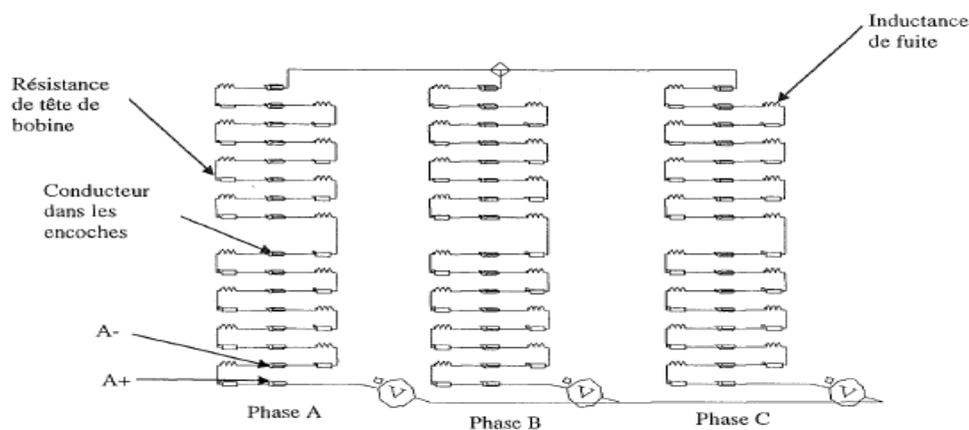


Fig. I.9 Circuit électrique au stator[24]

Le calcul de l'inductance de fuite prend en compte la perméance d'encoche stator parce que nous considérons que la surface de l'encoche dans le circuit magnétique est complètement remplie de cuivre.

Pour le rotor, nous avons le schéma suivant Fig. I.10 :

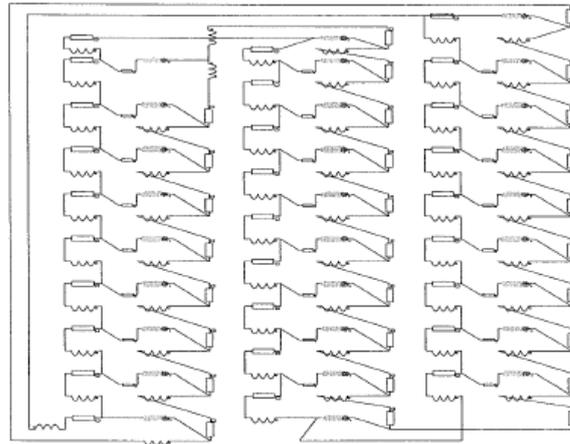


Fig. I.10 Circuit électrique au rotor[24]

Des conducteurs représentent les barres rotoriques dont la coupe est représentée dans le circuit magnétique (Fig. I.10). Ces conducteurs sont connectés par des résistances et des inductances représentant respectivement les résistances R_{ann} de portions d'anneaux (I.11) et les inductances L_{fr} de fuites de portions d'anneaux et de perméances des barres (I.12). Leurs formes sont :

$$R_{ann} = \rho_{AL} \cdot \frac{l_{ann}}{N_R S_{an}} \quad (I.11)$$

$$L_{fs} = P_{fer} + \frac{P_{fann}}{2 \sin\left(\frac{p\pi}{N_R}\right)} \quad (I.12)$$

Il est considéré que l'entraînement électrique a une inertie suffisamment grande pour que la vitesse de rotation reste constante et égale à 1440 tr/mn. La machine à l'état initial

n'étant pas magnétisée mais ayant une vitesse nominale de rotation, la simulation passe par un régime transitoire.

Pendant le régime transitoire du calcul, le couple part de zéro et arrive à la valeur nominale. Durant le régime nominal le couple se stabilise autour de la valeur nominale avec des harmoniques de faibles amplitudes [24].

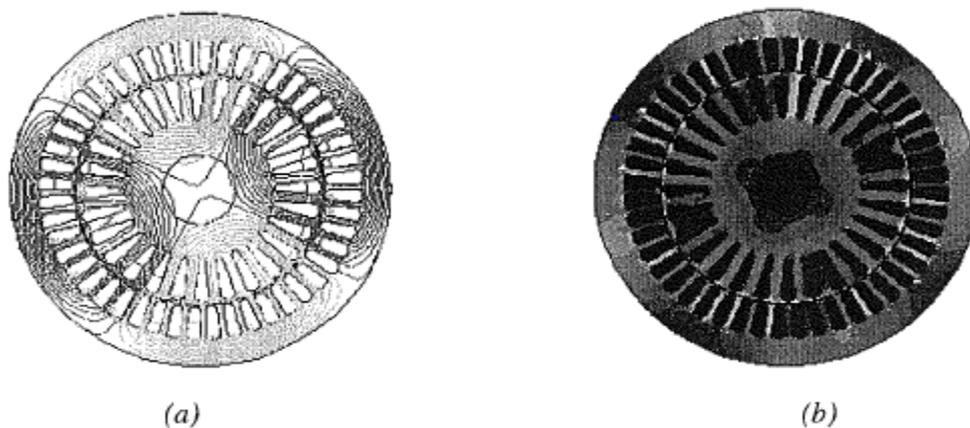


Fig. I.11 Répartition des lignes équiflux et de l'induction dans le circuit magnétique, [24].

La Fig. I.11 présente la répartition des lignes équiflux dans le circuit magnétique. Nous remarquons bien la présence de deux paires de pôles. La distribution des lignes est quasi symétrique par rapport aux axes des pôles. Les lignes de flux entre le stator et le rotor sont légèrement déviées dans le sens de rotation du rotor [24].

I. 4 La méthode basée sur les circuits multiples couplés magnétiquement

Cette méthode consiste à établir un modèle détaillé de la machine d'induction envisageant tous les modes de fonctionnement en se basant sur les récurrences mathématiques pour déterminer les inductances propres et mutuelles en utilisant soit les fonctions de

bobinages, qui nécessite une connaissance précise des formes du bobinage, ou bien par décomposition en série de fourrier de l'induction de l'entrefer, qui ne nécessite pas la connaissance précise du bobinage car les termes relatifs à la distribution, l'inclinaison et le raccourcissement sont intégrés dans le calcul à travers des coefficients. La Fig. I.12 donne la forme des circuits électriques adoptée pour la modélisation de la cage d'écurueil rotorique. [26]

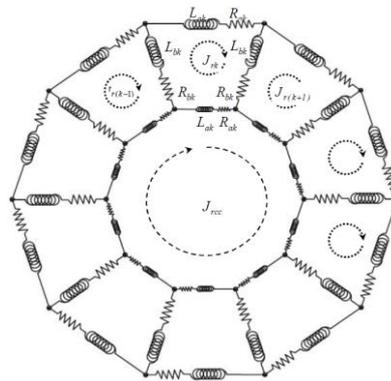


Fig. I.12 la forme des circuits électriques adoptées pour la modélisation de la cage d'écurueil rotorique, [26].

La modélisation nous permet de représenter la rupture de barres rotoriques. Pour cela, nous avons modélisé le rotor par des circuits maillés reliés entre elles électriquement et couplés magnétiquement, où une maille est constituée de deux barres et les deux portions d'anneaux qui les relient. Le nombre d'équations différentielles obtenues est égal au nombre de barres plus une (afin de prendre en considération l'un des deux anneaux) [27].

On peut modéliser la cassure d'une barre par l'annulation du courant qui traverse cette barre (Fig. I.13). Les matrices des inductances et des résistances sont modifiées de tel façon que : si la barre j est rompue, le courant i_{bj} doit être nul. Dans ce cas, le courant dans la maille $(j-1)$ devient égal au courant dans la maille (j) , c'est-à-dire, $(i_{r(j-1)} = i_{rj})$. Ceci est traduit dans les matrices des inductances et des résistances, par l'addition des deux colonnes et des deux lignes liées aux courants $i_{r(j-1)}$ et i_{rj} . Le courant i_{rj} est donc supprimé du vecteur des courants, en d'autre terme l'ordre du système est réduit.

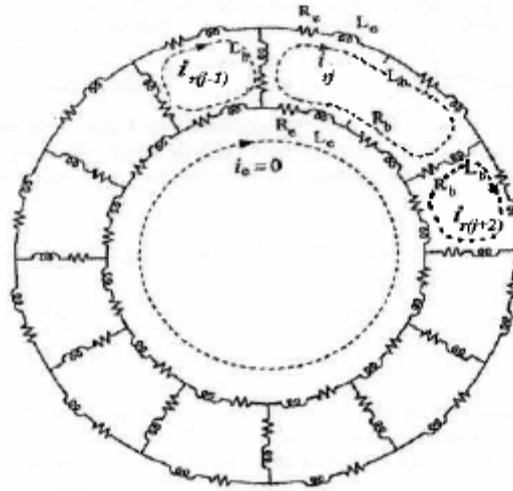


Fig. 1.13 circuit électrique adopté pour la modélisation de la cage avec une barre cassée[26]

Cette méthode est limitée, Ceci est dû aux hypothèses simplificatrices, puisque dans le modèle mathématique on a négligé les courants de fuite entre les barres. En réalité, et d'après KERSZENBAUM [28], le courant dans une barre rompue n'est jamais nul. Il existe toujours un courant qui passe tangentiellement à travers les tôles du rotor vers les barres adjacentes. Il est possible de modéliser ce phénomène par l'addition d'une résistance de grande valeur par apport à la résistance de la barre rotorique rompue.

Conclusion

Nous avons présenté dans ce chapitre un aperçu sur les différentes méthodes de diagnostic des défauts de la machine asynchrone.

La méthode ou la technique dépend de la nature et du comportement du système surveillé ainsi que du défaut recherché. Les principaux éléments qui constituent une machine asynchrone à cage d'écureuil peuvent présenter des défaillances qui engendrent dans la majorité des cas un arrêt imprévisible de la machine asynchrone. Et afin d'écartier ce genre de problème, le diagnostic de défauts a pris une importance de plus en plus intéressante dans les milieux industriels. Cette exigence a fait naître ces techniques de diagnostic dans le but de prévoir les arrêts intempestifs des machines.

CHAPITRE II

DIAGNOSTIC PAR L'ANALYSE SPECTRALE DU COURANT STATOR (MCSA)

II.1. Diagnostic et surveillance

A/ La surveillance

La surveillance est un dispositif passif, qui n'a pas d'influence sur la machine et qui analyse l'état du système pour fournir des indicateurs. La surveillance consiste notamment à détecter et classer les défaillances en observant l'évolution de système, puis à les diagnostiquer en localisant les éléments défaillants et en identifiant les causes premières. La surveillance se compose donc de deux fonctions principales que sont la détection et le diagnostic:

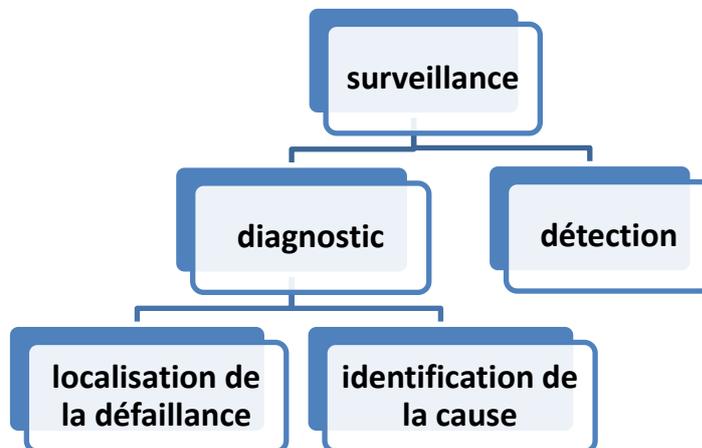


Fig. II.1 Classification de la surveillance industrielle.

B/ Détection

Pour détecter la défaillance de système, il faut classer les situations observables comme étant normales ou anormales. Cette classification n'est pas triviale, étant donnée le manque d'information qui caractérise généralement les situations anormales. Une simplification communément adoptée consiste à considérer comme anormale toute situation qui n'est pas normale. La classification est montrée dans la fig. II.1.

C/ Diagnostic et localisation

L'objectif est de rechercher les causes et de localiser les organes qui ont entraîné une observation particulière. La fonction de diagnostic se décompose en deux fonctions élémentaires :

- La localisation
- L'identification des causes.

La localisation permet de déterminer le sous-ensemble fonctionnel défaillant tandis que l'identification de la cause consiste à déterminer les causes qui ont mené à une situation anormale. A partir de l'observation d'un état de panne, la fonction diagnostic est chargée de retrouver le fait qu'en est l'origine. Ce problème est difficile à résoudre. En effet si, pour une faute donnée, il est facile de prédire la panne résultante, la démarche inverse qui consiste à identifier la faute à partir de ses effets, est beaucoup plus ardue. Une défaillance peut généralement être expliquée par plusieurs causes. Il s'agit alors de confronter les observations pour fournir la bonne explication [28].

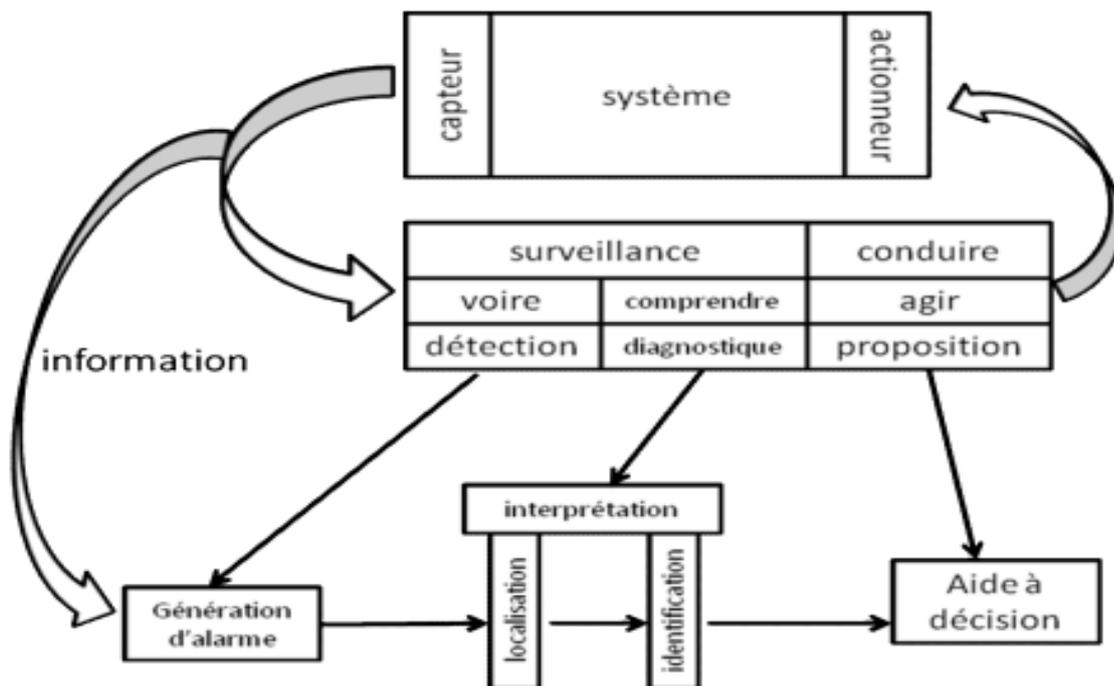


Fig II.2 : Architecture générale de la surveillance en ligne

Dans la plupart des configurations industrielles, la surveillance se fait en ligne ou en temps réel. Dans ce cas, la figure FIG. II.2 synthétise l'ensemble des fonctions, en positionnant la surveillance dans le cadre de la supervision.

Pour surveiller en continu l'évolution d'un système et déterminer les causes des événements indésirables, il semble intéressant d'utiliser au mieux toutes les informations disponibles, qu'elles soient numériques (données capteurs), ou symboliques (historiques, environnements, réparations effectuées,...). On retrouve donc dans la littérature technique le terme « d'approche unifiée » pour la surveillance, qui caractérise les systèmes de surveillance prenant en compte les données numériques et symboliques (Fig. II.3).

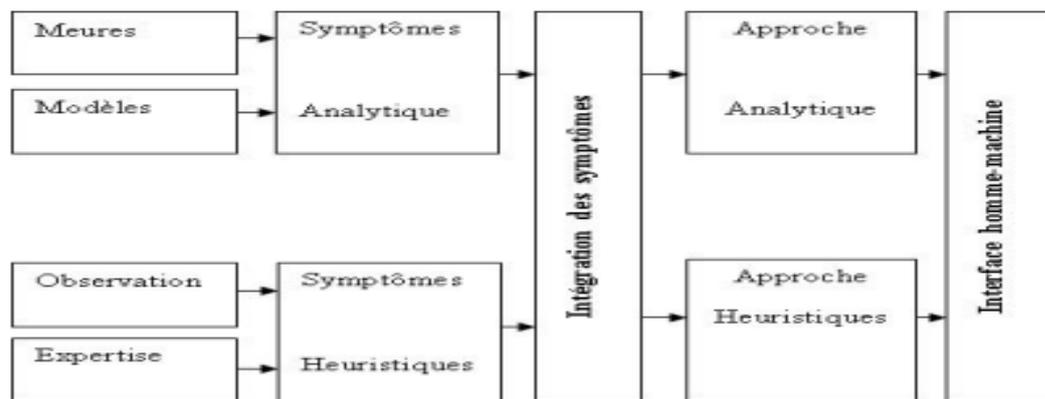


Fig II.3 Approche unifiée pour la surveillance

Avec l'approche analytique, on considère les informations quantifiables issues d'un modèle numérique fournissant des symptômes analytiques. L'approche heuristique permet de compléter la première en prenant en compte les informations qualitatives sur les systèmes surveillés tirées de l'expertise humaine [28].

D/ Méthodes de surveillance industrielle

Dans un grand nombre d'applications industrielles, une demande croissante est apparue en matière de remplacement des politiques de maintenance curative par des stratégies de maintenance préventive. Cette mutation d'une situation où on « subit les pannes » à une situation où on « maîtrise les pannes », nécessite quelques moyens technologiques ainsi que la connaissance de techniques d'analyse appropriées. La **figure II.4** présente les différentes méthodes utilisées :

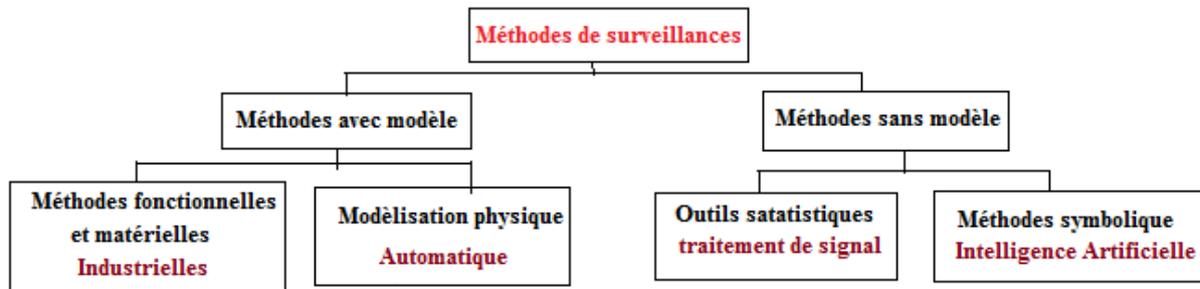


Fig II.4 Méthodes de surveillance industrielles

Dans ce travail on s'intéresse aux méthodes basées sur le traitement du signal, plus exactement sur l'analyse spectrale du courant stator.

II.2 La méthode de diagnostic basée sur l'analyse spectrale du courant stator (MCSA)

La méthode MCSA (Motor current signature analysis) est la méthode de diagnostic la plus largement utilisée pour la détection des défauts mécaniques et électriques. Cela est principalement dû à la facilité de la mesure du courant stator et aux informations que peut donner son spectre pour différentes défaillances de la machine. Dans cette partie, on citera quelques travaux qui ont été effectués en utilisant cette méthode, ensuite on donnera les différentes signatures qu'engendrent les différents défauts (électriques et mécaniques) sur le courant stator et leurs fréquences caractéristiques.

II.2.1) Quelques travaux effectués dans le diagnostic par le MCSA

Randy R. Schoen et autres [29] ont utilisé l'analyse du courant stator pour la détection des défauts des roulements dans la machine à induction. Cette étude illustre l'efficacité de MCSA pour la détection des défauts des roulements en faisant le rapport entre les vibrations et les fréquences des courants provoquées par ces défaillances. Dans cette étude, les modes de défaillance de roulement ont été étudiés et les fréquences caractéristiques liées à la construction sont définies. Les effets sur le spectre du courant stator sont décrits et les fréquences relatives sont déterminées.

La référence [30], présente deux méthodes de détection qui utilisent la signature du courant, la première est basée le contrôle du comportement du courant autour des fréquences d'encoches, La seconde par le contrôle du comportement du courant autour du fondamental de la fréquence d'alimentation. Il a mentionné l'existence de deux défauts rotoriques, le premier est l'oscillation de l'arbre le long de l'entrefer, qui cause la variation de la densité du flux dans ce dernier, l'oscillation produit alors des harmoniques dans le courant stator dont les fréquences sont prédites par $f_{osc} = f(k(1-s)/p \pm 1)$.

A. Toliyat et Al, [31] ont développé une technique d'identification d'un modèle basé sur le classificateur d'erreur minimum de Bayes pour détecter les barres cassées dans les moteurs à induction en état d'équilibre. L'algorithme proposé utilise seulement le courant stator comme entrée sans avoir besoin d'autres variables. La première identification de la vitesse du rotor est estimée à partir du courant stator, alors les caractéristiques appropriées sont extraites. Une fois la moyenne et la variance de chaque classe sont déterminées pour un moteur à induction, la technique peut être employée dans la surveillance en ligne de moteur. L'approche théorique et les résultats expérimentaux montrent la puissance de la méthode proposée. Sans perte de généralité, l'algorithme peut être mis à jour pour inclure d'autres défauts tels que les défauts d'excentricité et de phase.

Randy R. Schoen [32] présentent une méthode pour la détection en ligne des défaillances de moteur à induction qui ne nécessite pas d'interprétation de l'utilisateur de la signature du courant de moteur, même en présence d'une charge inconnue. Un filtre de fréquence sélectif nous apprend les fréquences caractéristiques de la machine à induction tout en fonctionnant sous toutes les conditions de charge normale. Les fréquences générées sont réduites de façon contrôlable grâce à l'utilisation d'un ensemble de règles d'un système expert basées sur la construction physique connue de la machine. Cette liste forme les entrées d'algorithme de réseau neurologique qui sont comparées aux caractéristiques opérationnelles apprises de l'exécution initiale du moteur. Ce qui exige seulement que la machine soit en bon état de fonctionnement tout en formant le système. Si le défaut continue à faire dégrader la signature du courant à mesure qu'il progresse au fil du temps, le système cherche ces changements dans les spectres indicatifs d'origine de défaut et déclenche une alarme quand ils ont dévié d'une quantité suffisante. La combinaison des fréquences (système expert) de

filtre et le réseau neuronal maximise la capacité du système pour détecter les petits changements du spectre produits par le défaut. L'algorithme de détection des pannes est implémenté et testé. Une panne imminente du moteur a été simulée en introduisant une excentricité mécanique tournante à la machine d'essai. Après la formation du réseau de neurones, le système était en mesure de détecter facilement les changements dans la signature du courant dus aux défauts.

M.E.H. Benbouzid et H.Nejjare et autres. [33] déclaré que l'entretien préventif des systèmes électriques d'entraînement avec le moteur à induction comporte la surveillance pour la détection des anomalies électriques et mécaniques qui indiquent, ou peuvent mener à, des défauts du système. L'effort intensif de recherches a été pour parfois concentrer sur l'analyse de la signature de courant moteur, cette technique utilise les résultats de l'analyse spectrale. L'interprétation fiable de spectre est difficile, puisque les déformations de la forme d'onde du courant provoquées par les anomalies dans le système d'entraînement sont habituellement faible, l'analyse de la signature de fréquence de quelques défauts de moteur peut être bien identifiée en utilisant la transformée de Fourier rapide (FFT), les expériences faites aux spectres du courants moteur indiquent que l'analyse de la signature du courant moteur basée sur la FFT est un outil fiable pour la détection de défauts asymétrique de moteur à induction.

II.2.2 Les fréquences caractéristiques des différents défauts

La figure II.5 représente la répartition détaillée des défauts de la machine asynchrone à cage d'écureuil.

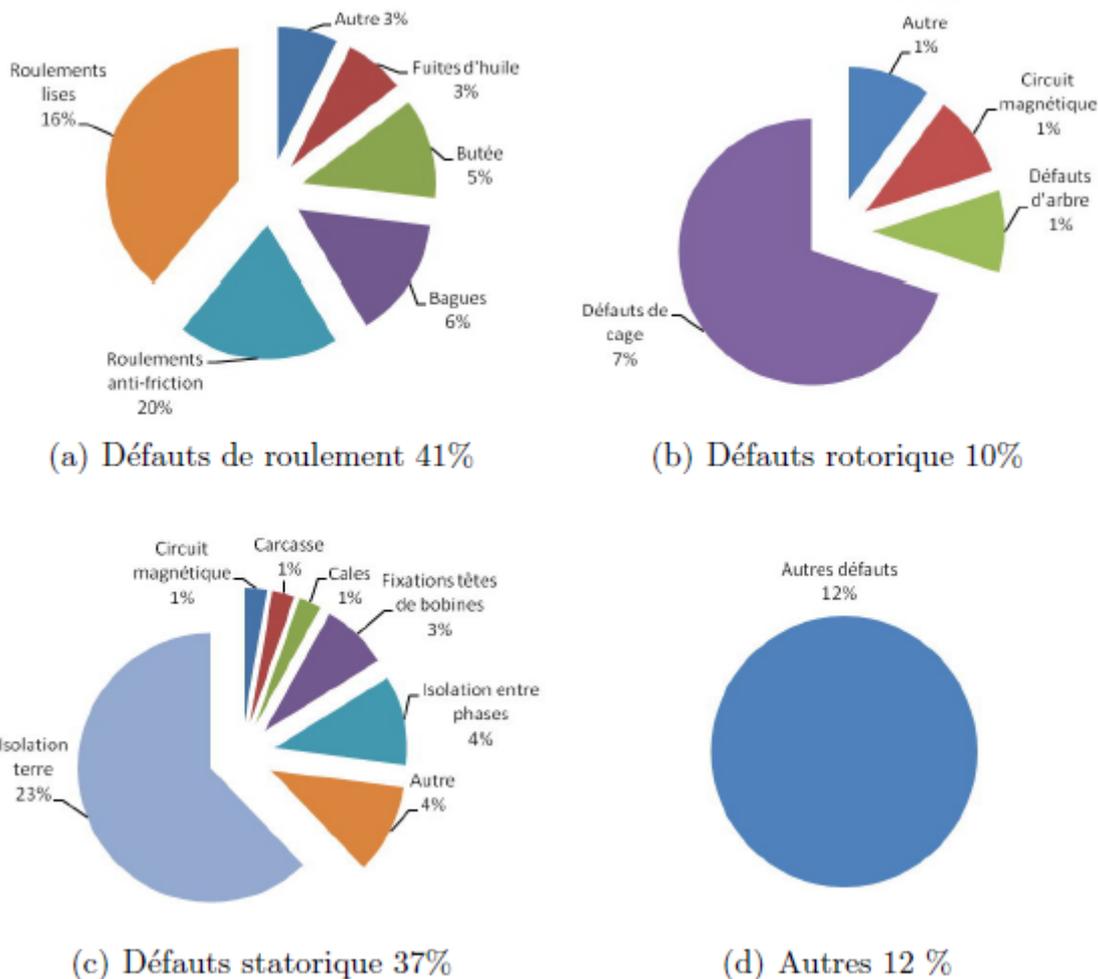


Fig. II.5 : Répartition détaillée des défauts électriques

A/ Défaillances d'ordre électrique

Les défaillances d'origine électrique peuvent, dans certain cas, être la cause d'un arrêt de la machine (au même titre que les défaillances d'ordre mécanique). Ces défaillances se séparent en deux catégories bien distinctes. Nous pouvons citer les défauts qui apparaissent au niveau des circuits électriques statoriques et ceux qui apparaissent au niveau des circuits électriques rotoriques dans la figure II.5.

A.1/ Défaillance Des Circuits électriques Statoriques

L'apparition d'un défaut au niveau des circuits électriques statoriques de la machine asynchrone peut avoir des origines diverses ; les vibrations des conducteurs d'encoches et les divers frottements qui en résultent, suite à des grandes sollicitations de la machine, accélèrent l'usure des isolants. Il reste que le facteur principal de vieillissement est l'échauffement anormal des bobinages ; en effet pour les machines fonctionnant en milieu hostile, poussière et humidité viennent se déposer : pour les machines fermées entre les ailettes extérieures, et pour les machines ouvertes au niveau des têtes de bobines, affaiblissant ainsi l'isolation électrique et court-circuitant du fait les conducteurs.

Les pannes statoriques peuvent être des ouvertures dans les phases ou bien des courts-circuits entre phases et surtout et ce qui est plus répandu sont les courts-circuits entre spires. Nous pouvons citer, par exemple, les défauts de type courts circuits inter-spires qui apparaissent à l'intérieur des encoches statoriques. Ce type de défaut peut être causé par une dégradation des isolants des spires du bobinage statorique. On a également les courts-circuits apparaissant entre une phase et le neutre, entre une phase et la carcasse métallique de la machine ou encore entre deux phases statoriques.

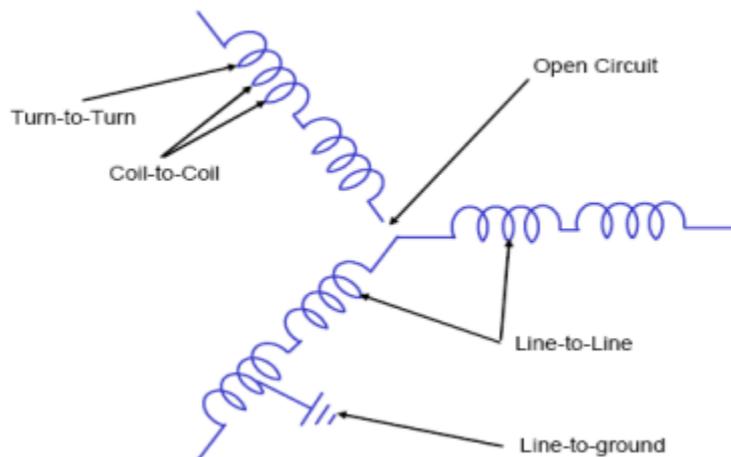


Fig II.6 :Différents types des défauts de circuit statorique

Un défaut entre spires dans le bobinage du stator de machines électriques (Fig. II.6) provoque un courant de circulation dans les spires en défaut dont l'amplitude peut être

importante. Si le défaut reste non détecté, il se propage et peut aboutir à défauts de spire-spire ou alors spire-masse. L'augmentation de la chaleur due au court-circuit peut également conduire à la dégradation totale de l'enroulement du stator.

En effet, le courant circulant dans les spires en court-circuit est plusieurs fois plus important que le courant nominal. L'augmentation de la température qui s'en suit entraîne la destruction en cascade des isolants et par effet cumulatif, la destruction complète de la machine [34]. La figure. II.7 montre la montée en courant dans les phases d'une machine de 1.1 kW à vide et alimentée directement par le réseau. On remarque que le courant de la phase en défaut atteint 3 fois le courant nominal de la machine [35]. Notons que même si le défaut concerne uniquement la première phase (phase a) statorique, toutes les phases sont affectées par le court-circuit.

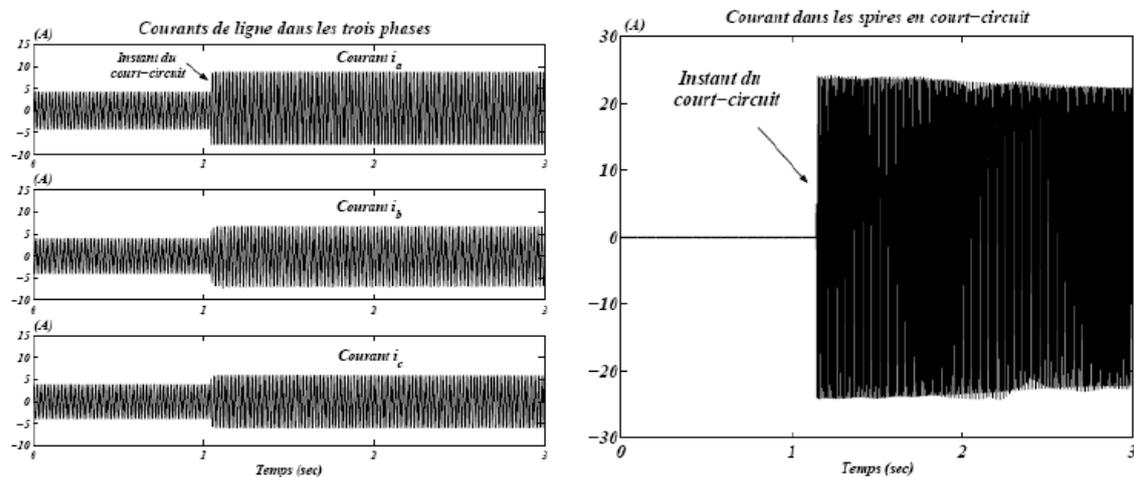


Fig. II.7 : évolution des courants statoriques lors d'un court-circuit de 58 spires [35]

Dans des cas, bien plus graves, l'observation des spires en court-circuit révèle un courant d'environ 10 fois le courant nominal de la machine. Les fils en cuivre n'étant pas dimensionnés pour cette amplitude, il est évident que l'effet de court-circuit est destructeur en quelques secondes. La détection de défaut entre spires dès son apparition est donc indispensable pour éviter de court-circuit complet. Cela nous permet de réduire les temps d'arrêt et maintenance [35]

Ces défauts ont le plus souvent une origine mécanique, Le court-circuit de spires est donc le défaut le plus nuisible et le plus fréquemment rencontré au stator, même si les risques d'ouverture de phase (conducteur coupé) demeurent physiquement réalisables.

L'augmentation de la température qui s'ensuit entraîne la destruction en cascade des isolants et par effet cumulatif, la destruction complète de la machine, [36].

Lorsqu'un court-circuit entre spires apparaît, l'application du théorème d'Ampère montre qu'il se crée en plus du champ principal, une excitation magnétique de pulsation Ω_s , due au nouveau bobinage court-circuité, parcouru par un courant de court-circuit. C'est l'interaction de ce champ avec celui issu du bobinage statorique qui crée les ondulations de couple et qui induit au stator des forces magnétomotrices de fréquence $2f_s$, d'où les courants statoriques comportent ces composantes, par conséquent, des courants de fréquences $3f_s$ selon le même processus. Ainsi, des composantes aux fréquences $k*f_s$ (k : entier positif) se retrouvent dans les courants statoriques. [36][37]

A.2/ Défaillance de circuit électrique rotorique

A.2.1/ Cassures de barres

Ces défauts apparaissent au niveau du rotor. Ce sont les défauts les plus fréquents. Ils se présentent par des ruptures totales ou partielles de(s) barre(s) au niveau de la cage d'écuréuil (exemple Figure II.8 rotor avec une et deux barre(s) cassée(s)). Ces défauts se traduisent par une augmentation de la résistance équivalente d'un enroulement rotorique. Ces pannes rotoriques engendrent, malheureusement, des ondulations du couple électromagnétique qui elles-mêmes provoquent des oscillations de la vitesse de rotation de la machine. Ce qui engendre des vibrations mécaniques donc un fonctionnement anormal de la machine qui génère des défauts mécaniques en plus dans la machine, [37].



Rotor à une barre cassée



Rotor à deux barres cassées



Fig. II.8 Représentation des cassures des barres rotoriques.

Différentes méthodes pour la détection de défaut au rotor. Par exemple, les approches les plus connues pour le diagnostic des barres cassées du rotor dans des machines asynchrones sont basées sur la surveillance et le traitement des courants stators pour détecter des bandes latérales autour du fondamental et d'autres harmoniques d'espace présents dans le courant de ligne, mesurant les harmoniques du couple moteur, de la vitesse et du flux axial.

En fonctionnement normal, avec une alimentation triphasée du moteur de fréquence f_s , il y aura création d'un champ tournant à la vitesse du synchronisme qui peut être direct ou inverse et si le système est parfaitement équilibré le champ résultant sera direct dans l'entrefer. Ce champ direct induit des courants dans la cage rotorique à la fréquence de glissement $g \cdot f_s$. Cependant, toute dissymétrie d'alimentation ou d'impédances statoriques génère un champ résultant inverse donc le champs résultant sera composé du champ direct et inverse.

Les courants dans la cage rotorique produisent un champ magnétique triphasé avec le même nombre de pôles et de même direction que le champ statorique mais avec la fréquence

de glissement $g * f_s$. Une dissymétrie due à un défaut de la cage (barres ou portion d'anneau de court-circuit) engendre un champ tournant inverse à la fréquence de glissement. Il en résulte, un courant supplémentaire induit au niveau du bobinage statorique de fréquence

$$f_{sb} = f_s (1 - 2g) \text{ Hz.} \quad (\text{II.1})$$

Cela produira une variation cyclique du courant qui engendrera un couple oscillatoire à la fréquence $2g * f_s$ et une oscillation de vitesse de même fréquence qui dépendra de l'inertie. Cette oscillation de vitesse engendre deux courants de même amplitude, de fréquences $f_s (1 - 2g)$, et $f_s (1 + 2g)$,

En effet, sous des conditions normales, la vitesse de champ tournant est la même avec la

vitesse de synchronisme :

$$N_s = \frac{120 f_s}{p} \quad (\text{II.2})$$

Où le f_s : est la fréquence de réseau. Et p est le nombre de pôles.

On sait que le glissement g s'écrit :

$$g = \frac{N_s - N}{N_s} \quad (\text{II.3})$$

N est la vitesse du moteur asynchrone.

La vitesse de glissement $N_g = N_s - N$ (II.4)

Mettant la valeur de N_g de l'équation (4) dans l'équation (3), on aura :

$$g = \frac{N_g}{N_s}$$

Donc :

$$N_g = g \cdot N_s$$
$$N_s - N = g \cdot N_s$$

Ce qui mène à :

$$N = (1 - g) N_s \quad (\text{II.5})$$

La vitesse du flux magnétique inverse produite par les barres cassées est :

$$N_b = N - N_g$$

$$\begin{aligned}
 &= N_s (1 - g) - g N_s \\
 &= N_s - g N_s - g N_s = N_s - 2 g N_s \\
 &= N_s (1 - 2 g) \qquad \qquad \qquad (II.6)
 \end{aligned}$$

Si on transforme en fréquences on se retrouve avec la fameuse forme mentionnée précédemment :

$$f_{sb} = f_s (1 - 2g) \text{ Hz.}$$

Les courants de fréquences $f_s (1 - 2g)$ et $f_s (1 + 2g)$ vont respectivement se soustraire et s'additionner au courant statorique. D'autres harmoniques du courant stator peuvent être créés par le même phénomène dû aux courants de fréquences $f_s (1 \pm 2g)$ [38,39].

Donc l'influence des barres cassées sur le spectre du courant stator est l'apparition d'harmoniques de fréquences :

$$f_{sb} = f_s (1 \pm 2 * k * g) \qquad (II.2)$$

Avec :

f_s : Fréquence d'alimentation ;

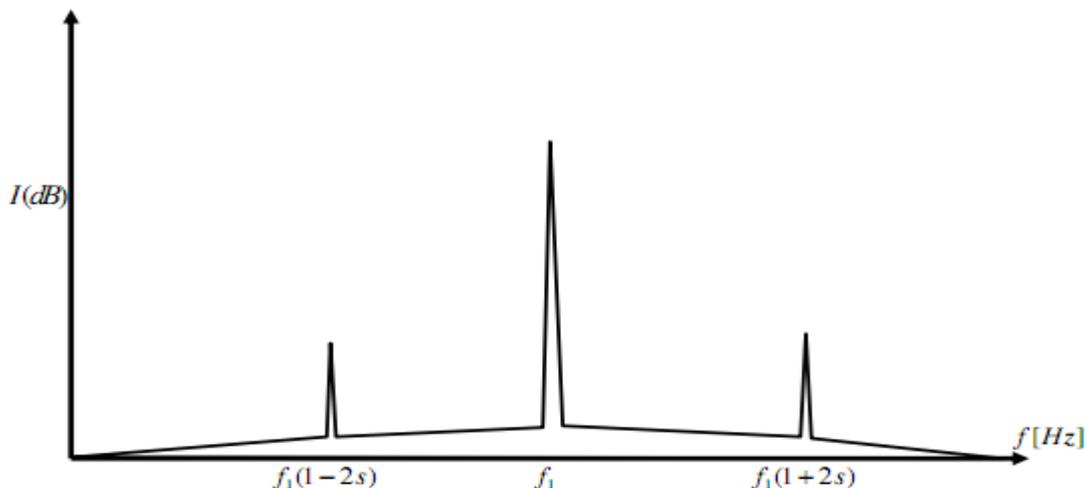
f_{sb} : Fréquence de barre cassée

$k = 1, 2, 3, \dots$; g : glissement.

Le signe (+) indique la conséquence des oscillations de couple.

Le signe (-) indique la présence du défaut au rotor (barres cassées).

Le spectre idéal du courant stator avec des barres cassées se représente comme suit :



Par contre, les harmoniques d'espaces gènèrent eux aussi des fréquences dont la relation :

$$f_b = \left\{ \frac{k}{p} (1-s) \pm s \right\} * f \quad (II.7)$$

Avec p est le nombre de paire de pole.

Suite à une rupture de barre, les circuits rotoriques créent en plus du champ rotorique direct un champ magnétique inverse de pulsation $2gfs$ dû au déséquilibre des enroulements rotoriques (Fig. II.10)

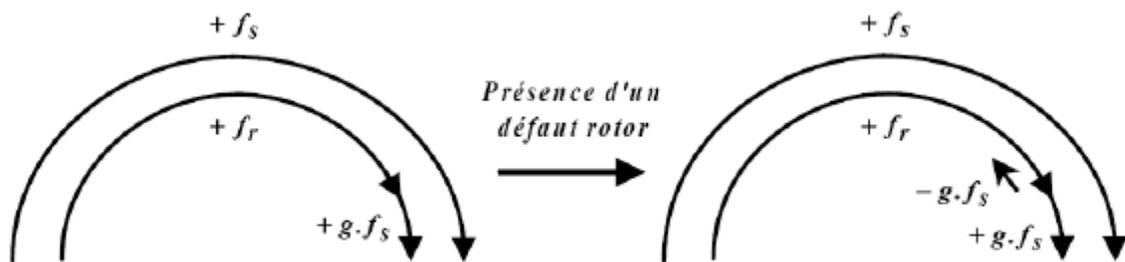


Fig. II.10 Schéma fonctionnel du rotor avec défauts

A.2.2/ Cassure d'une portion d'anneaux de court-circuit

Les cassures des portions d'anneaux sont dues soit à des bulles de coulées ou aux dilatations entre les barres et les anneaux (Fig. II.9). Les anneaux de court-circuit véhiculent des courants plus importants que ceux des barres rotoriques. Un mauvais dimensionnement des anneaux, une dégradation des conditions de fonctionnement ou une surcharge du couple peut entraîner leurs cassures.

La cassure d'une portion d'anneau engendre un comportement similaire à celui de la cassure des barres.

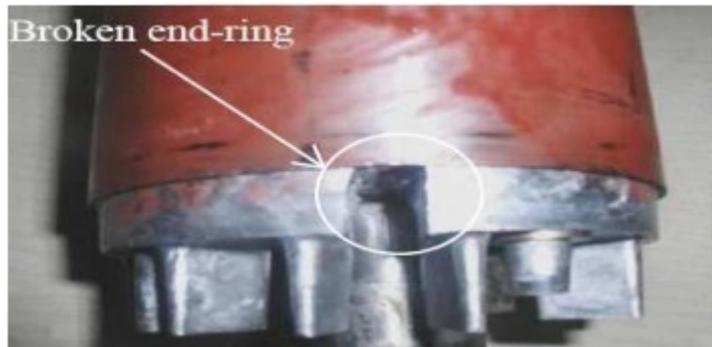


Fig II.11 Rotor avec une portion d'anneau de court-

Suite à l'apparition de ces défauts, la machine continue à fonctionner et il est donc difficile de détecter ces défaillances. Le courant, que conduit une barre cassée, se répartit sur les autres barres. Ces dernières seront surchargées, ce qui conduit à leurs ruptures et par la suite à la rupture d'un nombre plus important de barres, [37].

B/ Défaillances d'ordre mécanique

B.1/ Défaillance des roulements à billes

Pour les machines à grande puissance, ces défaillances expliquent 40% des pannes des entraînements électriques ; Les roulements à billes jouent un rôle très important dans le fonctionnement de tout type de machines électriques. Les défauts des roulements peuvent être causés par un mauvais choix de matériau pendant l'étape de fabrication. Les problèmes de rotation au sein des roulements, causés par un enroulement abîmé, écaillé ou fissuré, peuvent créer des perturbations au sein de la machine. Nous savons que des courants électriques circulent au niveau des roulements d'une machine asynchrone ce qui, pour des vitesses importantes, peut provoquer la détérioration de ces derniers. Le graissage, qui permet la lubrification et la bonne rotation des roulements peut, dans certaines applications, se rigidifier et causer une résistance à la rotation. Le roulement est souvent soumis à un processus progressif à partir des fissures de fatigue situées sous les caniveaux de roulement. En raison de la concentration continue de l'effort, les fissures se propagent vers les surfaces ayant pour résultat de petites fissures, [37] [36].

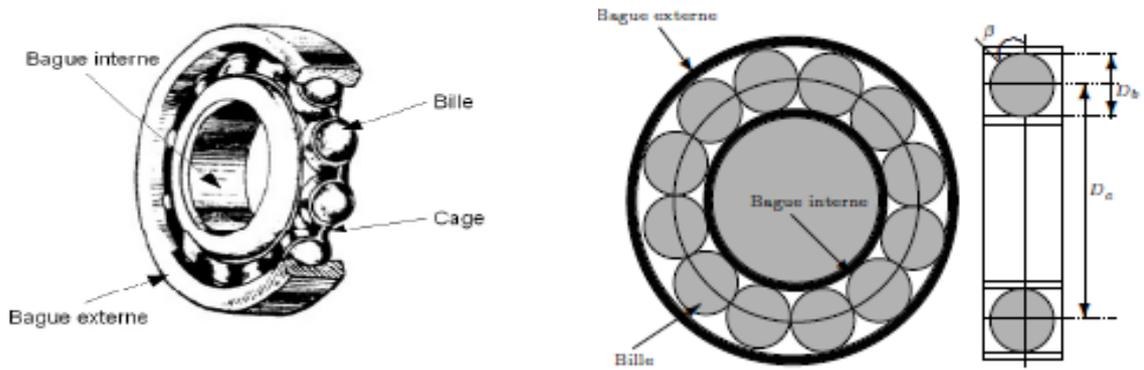


Fig. II.12 la forme géométrique de roulement à billes

Du fait que les roulements supportent le rotor, n'importe quelle défaillance de ceux-ci produira des mouvements radiaux du rotor par rapport au stator. Cela engendrera une anomalie au niveau de la densité de flux d'entrefer qui affectera les courants statoriques. C'est ainsi que les défaillances des roulements peuvent être détectées par l'analyse du spectre du courant stator.

Les fréquences qui caractérisent les défauts de roulement sont données par l'équation suivante :

$$f_{roulement} = f_s \pm f_c \quad (II.8)$$

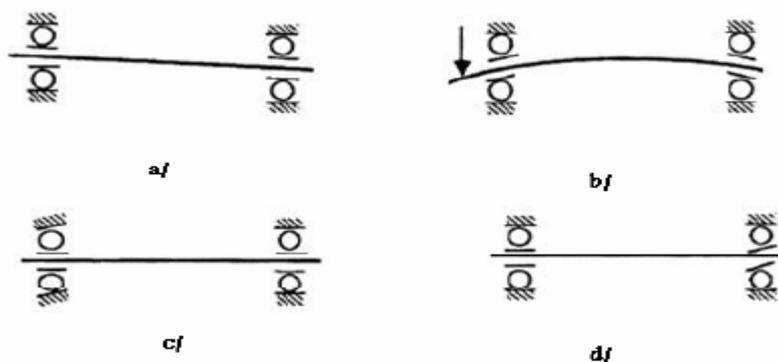


Fig. II.13 Quatres types de défauts dans les roulements à billes. a/ désalignement ; b/Déformation de l'arbre de rotation ; c/Inclinaison de la course externe, d/Inclinaison de la course interne,[10].

Pour distinguer les différents défauts de roulements, on les classifie suivant l'élément affecté. A chaque type de défaut est associée une fréquence caractéristique f_c (Tab.II.1) qui est fonction de la géométrie du roulement (Fig. II.12) et de la fréquence mécanique du rotor f_r .

Pour le calcul exact des fréquences caractérisant les différents types de défauts données dans le tableau II.1, il faut avoir des informations spécifiques à la construction du roulement. Dans le cas des roulements de six (6) à douze (12) billes, les fréquences des défauts de la bague extérieure f_i et intérieure f_o peuvent être calculées par l'approximation suivante :

• Défauts de la cage	$f_c = \frac{1}{2} f_r \left(1 - \frac{D_b \cos \theta}{D_c}\right)$
• Défauts de la bague extérieure	$f_o = \frac{N_b}{2} f_r \left(1 - \frac{D_b \cos \theta}{D_c}\right)$
• Défauts de la bague intérieure	$f_i = \frac{N_b}{2} f_r \left(1 - \frac{D_b \cos \theta}{D_c}\right)$
• Défauts de bille	$f_b = \frac{D_c}{D_b} f_r \left(1 - \frac{D_b^2 \cos^2 \theta}{D_c^2}\right)$

Tableau II.1: fréquences des caractéristiques défaillances de roulements

On en déduit :

$$f_i = 0.6 * N_b * f_r \qquad f_o = 0.4 * N_b * f_r \qquad (II.9)$$

Avec N_b est le nombre de billes

B.2/ Défauts d'excentricité dynamique et statique

Les défauts mécaniques peuvent engendrer un déplacement du centre du rotor par rapport au stator ou des déformations du rotor qui ont pour conséquence une non uniformité de l'entrefer, c'est à dire une excentricité du rotor. On distingue généralement trois types d'excentricité :

- Excentricité statique

Le centre géométrique du rotor est confondu avec le centre de rotation, mais il est déplacé par rapport au centre géométrique du stator. Cela peut être causé par un mauvais positionnement du stator ou du rotor lors de l'assemblage ou bien à cause d'une déformation du rotor ou du stator.

- Excentricité dynamique

Le centre géométrique du rotor est différent du centre de rotation et ce dernier est confondu avec le centre géométrique du stator. Cela peut être causé par différents facteurs comme les tolérances de fabrication, utilisation de roulement, désalignement, résonance mécanique aux vitesses critiques, mauvaise construction des différentes pièces de la machine. Le mouvement giratoire du rotor pour des vitesses critiques est une autre source de ce type d'excentricité et il a une importante considération dans le cas d'axes flexibles ou courbés.

- Excentricité mixte

C'est la combinaison des deux excentricités précédemment citées.

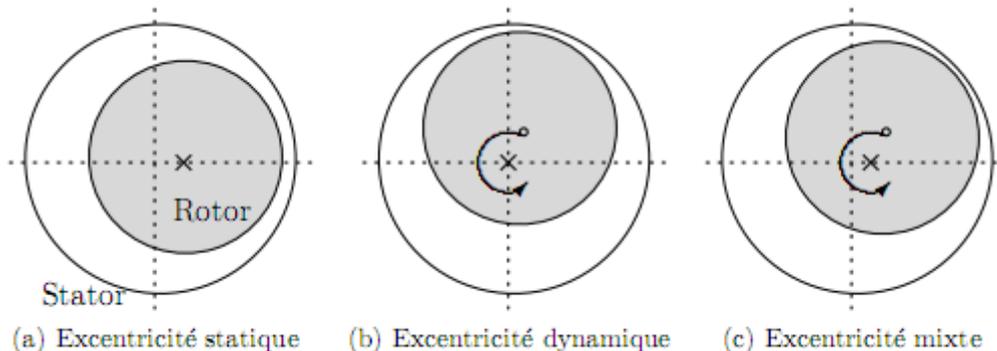


Fig II.14 Types d'excentricités

Le risque d'une grande excentricité est le contact mécanique entre le rotor et le stator, ce qui entraînerait des dommages considérables à la machine.

Une variation de l'entrefer d'une machine électrique à cause d'une excentricité dynamique, statique ou mixte provoque des variations de la densité de flux de l'entrefer. Ceci affecte le courant stator qui permet de détecter par une analyse spectrale ces défaillances car elles font apparaître des harmoniques de fréquences données par l'équation suivante [40, 41].

$$f_{exc} = f_s \left\{ (k.R \pm n_d) \left(\frac{1-s}{p} \pm n_{og} \right) \right\} \quad (\text{II.10})$$

avec :

f_s fréquence d'alimentation ;

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

R nombre d'encoches rotoriques ;

$n_d = 0, 1, 2, 3, \dots$ ordre d'excentricité :

$n_d = 0$ pour une excentricité statique ;

$n_d = 1, 2, 3, \dots$ pour une excentricité dynamique.

g glissement de la machine ;

p nombre de paires de pôle ;

$n_{og} = 1, 3, 5, \dots$ ordre des harmoniques du courant stator.

L'utilisation de cette expression nécessite une connaissance précise de la conception de la machine asynchrone. Une autre relation ne faisant pas apparaître de termes liés à la conception de la machine, donne les fréquences induites proches du fondamental :

$$f_{exc} = f_s \left\{ 1 \pm n \left(\frac{1-g}{p} \right) \right\} \quad (\text{II.11})$$

Avec :

f_s fréquence d'alimentation ;

$n = 1, 2, 3, \dots$;

g glissement de la machine ;

p nombre de paires de pôle.

L'ampleur du défaut d'excentricité dynamique est souvent exprimée en pourcentage comme suit :

$$\% \text{ excentricité dynamique} = \frac{\text{entrefer.normal} - \text{min.entrefer}}{\text{entrefer.normal}} \quad (\text{II.13})$$

Enfin, le tableau II.2. Est un tableau récapitulatif des différents défauts les plus rencontré dans la machine asynchrone et leurs fréquences qui les caractérisent :

Ordre de défaut		Nature de défaut	Fréquences des composantes de défauts	Observations
Electrique	Circuit statorique	<i>Court-circuit entre spires</i>	$k*f_s$	$k=1, 2, 3, \dots$
	Circuit rotorique	<i>Cassures de barre</i>	$f_{sb} = f_s(1 \pm 2*k*g)$	$k=1, 2, 3, \dots$ g : glissement
		<i>Cassure de portion d'anneaux de CC</i>	$f_{sb} = f_s(1 \pm 2*k*g)$	
Mécanique	Roulements à billes	<i>Défaut de cage</i>	$f_c = \frac{1}{2} f_r (1 - \frac{D_b \cos \theta}{D_c})$	$f_i = 0.6 * N_b * f_r$ $f_0 = 0.4 * N_b * f_r$ N_b : le nombre de billes D_b, D_c dimensions géométriques de roulement.
		<i>Défaut de bague intérieure</i>	$f_0 = \frac{N_b}{2} f_r (1 - \frac{D_b \cos \theta}{D_c})$	
		<i>Défaut de bague extérieur</i>	$f_i = \frac{N_b}{2} f_r (1 - \frac{D_b \cos \theta}{D_c})$	
		<i>Défaut de billes</i>	$f_b = \frac{D_c}{D_b} f_r (1 - \frac{D_b^2 \cos^2 \theta}{D_c^2})$	
	Excentricité	<i>Tous types d'excentricité</i>	$f_{exc} = f_s \left\{ (k.R \pm n_d) \left(\frac{1-s}{p} \pm n_{og} \right) \right\}$	$k = 1, 2, 3, \dots$; R : nombre d'encoches rotorique. $n_d = 0, 1, 2, 3, \dots$ $n_{og} = 1, 3, 5, \dots$

Tableau II.2 : tableau récapitulatif des différents défauts et leurs fréquences caractéristiques

II.3 Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons donné un aperçu sur le diagnostic et la surveillance des machines asynchrones de façon générale ainsi que les différentes approches utilisées en mettant l'accent sur l'approche du traitement numérique des signaux. Ensuite, nous avons cité quelques travaux effectués dans le domaine en utilisant l'analyse spectrale de la signature du courant moteur (MCSA) en donnant les fréquences caractéristiques des différents défauts à savoir les défauts des circuits statoriques, rotoriques et les défauts d'origine mécanique. Cette méthode fait l'objet de notre étude. C'est également une approche qui reste, largement la plus utilisée par les auteurs pour plusieurs raisons, et notamment à cause de la facilité de mesure du courant stator et de son spectre riche en informations.

CHAPITRE III

SYSTÈME DE SURVEILLANCE À DISTANCE PAR INTERNET DES MACHINES ÉLECTRIQUES: LE TÉLÉDIAGNOSTIC

III. 1 Définitions de quelques termes utilisés

<i>CDMA</i>	Code Division Multiple Access, est un système de codage des transmissions, utilisant la technique d'étalement de spectre. Il permet à plusieurs liaisons numériques d'utiliser simultanément la même fréquence porteuse. Il est appliqué dans les réseaux de téléphonie mobile dans le segment d'accès radio, par plus de 275 opérateurs dans le monde surtout en Asie et en Amérique du nord et au Cameroun. Il est aussi utilisé dans les télécommunications spatiales, militaires essentiellement, et dans les systèmes de navigation par satellites comme le GPS, Glonass ou Galileo
<i>CWT</i>	La transformée d'ondelette continue
<i>C #</i>	Langage de programmation
<i>DAQ</i>	Cartes de l'acquisition de données
<i>DSL</i>	Digital Subscriber Line, DSL ou encore xDSL (que l'on peut traduire par « ligne numérique d'abonné ») renvoie à l'ensemble des techniques mises en place pour un transport numérique de l'information sur une ligne de raccordement filaire téléphonique ou liaisons spécialisées.
<i>EXA</i>	L'analyse d'ondelette exacte
<i>FFT</i>	La transformée de Fourier rapide (Fast Fourier Transform)
<i>GSM</i>	Globe System for Mobile communication
<i>LABVIEW</i>	Logiciel de simulation et de programmation visuelle
<i>PDA</i>	Personal Digital Assistance également connu en tant qu'un ordinateur, ou aide personnel de données, est un dispositif mobile qui fonctionne en tant que directeur personnel de l'information. Presque tous les PDAs ont souvent la capacité de se relier à l'Internet.
<i>SAMS</i>	Smart asset maintenance system, système intelligent pour la maintenance des systèmes.
<i>SMS</i>	Short Message Service
<i>SMS AT</i>	Option d'abonnement disponible chez la plupart des opérateurs de téléphonie Commande utilisé pour envoyer un SMS par un modem de GSM
<i>XML</i>	Extensible Markup Language, est une langue de marge bénéficiaire qui définit un ensemble de règles pour les documents de codage dans un format qui est lisible pour l'homme et compréhensible par une machine.

La surveillance d'état des machines est importante pour vérifier l'efficacité des usines et la sûreté des ouvriers. Par le passé, les opérateurs identifiaient l'état de la machine par le toucher ou l'ouïe du bruit. Cependant, ceci n'est pas efficace pour les opérateurs inexpérimentés. En fait, la plupart des machines modernes, alimentées par des convertisseurs statiques et contrôlées en courant ou en tension, sont complexes à cause de leurs entraînements électriques à vitesse variable. Ce qui rend impossible à l'opérateur de distinguer entre une machine saine et une machine avec défaut, bien que des systèmes plus développés de diagnostic de défaut existent. Ils sont chers et difficiles d'emploi sans étude au préalable complète. Par conséquent, il y a un besoin au niveau de l'industrie d'avoir un système efficace et économique de diagnostic de défauts des machines électriques. L'apparition du défaut doit être identifiée dès que possible afin d'éviter les pannes intempestives dans les systèmes d'entraînement électrique.

Une variété de techniques d'analyse des signaux de vibration a été déjà employée dans le diagnostic de défauts des machines électriques, [12, 13,16]. L'assistance téléphonique ne peut rassembler voire reconstituer toutes les informations en peu de temps pour aider efficacement l'accès au site d'un spécialiste, en se basant sur l'internet et les nouvelles technologies de communication mobile. Les utilisateurs peuvent vérifier l'état du système d'entraînement électrique par les données, ou éventuellement les images vidéo.

Les spécialistes peuvent de cette manière consulter des variables ou paramètres, des mots d'états, des codes de défauts, des tables d'erreurs pour localiser un dysfonctionnement sans se déplacer sur le site. La correction d'une anomalie peut être obtenue rapidement et à moindre coût.

Dans ces systèmes de télédiagnostic, les alarmes automatiques peuvent envoyer des messages d'alerte aux ingénieurs quand la machine fonctionne en état anormal [42].

III.2 Introduction

Les défaillances dans les machines peuvent non seulement mener à des pertes dans la production, mais également, dans quelques situations sérieuses, peuvent causer des accidents corporels. Par conséquent, un système de télédiagnostic de défauts est utilisé dans le but d'identifier le fonctionnement des machines électriques en minimisant les sources de défauts. Celui-ci aide les compagnies à réduire les coûts de production, améliore la fiabilité, réduise le

temps d'arrêt des machines et assure l'efficacité des opérations. Les différentes techniques d'analyse des signaux, comme La transformée de Fourier et la transformée en ondelette, ont longtemps été utilisées dans le diagnostic, [10, 12,14].

La tendance actuelle de la fabrication se déplace vers la régionalisation. Par conséquent, l'unité de production peut être loin des experts, alors que les machines doivent être surveillées par ces mêmes experts. Grâce aux techniques basées sur l'Internet et la communication mobile, la surveillance d'état des machines à distance et le diagnostic de défauts deviennent réalisables. Par conséquent, des décisions rapides peuvent être prises à distance. Des plans d'urgence peuvent être fournis pour compenser les pertes de production due à la panne intempestive des machines de production. Finalement, le contrôle des machines à distance devient essentiel aux compagnies impliquées dans la concurrence.

Dès que le Web est devenu un moyen d'échange d'idées plus stable, des chercheurs ont commencé à l'exploiter dans les systèmes de diagnostic de défauts des machines électriques, []. Caldwell et autres [42] ont employé l'Internet pour diagnostiquer un microscope électronique de balayage. Aujourd'hui, GSM (Globe System for Mobile communication) et CDMA (code division multiple access) ont déjà largement été déployés. Le protocole d'application sans fil (WAP) a été également développé pour les dispositifs mobiles, tels que les téléphones mobiles et les PDAs (Personal Digital Assistans), pour accéder à Internet. Le développement de ces technologies permet de maintenir la surveillance des machines électriques de n'importe où à n'importe quels moments [43].

III.3. Une Architecture "Web Broker" pour le diagnostic de machines à distance

Le diagnostic à distance de défauts des machines permet l'initiation de la meilleure manière pour la résolution des problèmes. Un moyen simple et rentable de surveiller à distance des machines industrielles consiste à utiliser une architecture Web Broker. Le développement d'Internet a fourni également un moyen pour une communication libre à distance, aujourd'hui combinée avec les technologies cellulaires sans fil, offrent de nouvelles techniques pour accéder aux périphériques tels que les DATA-LOGGER, etc. Cependant, les technologies DSL nécessite l'installation d'une ligne dédiée à l'emplacement du PC, tandis que les technologies cellulaires

exigent que les récepteurs sans fil soient disponibles dans le voisinage du PC offrant ainsi une couverture suffisante pour une bonne communication, [43].

III.4 Surveillance en ligne basée sur Ethernet / Internet

La surveillance en ligne permet à un opérateur extérieur à accéder aux données d'un capteur spécifique à travers des pages Web afin de visualiser les données mesurées (signal temporel, valeur globale, spectre,...) ... c'est-à dire autant d'éléments susceptibles d'apporter des informations de diagnostic pour procéder à un diagnostic rapide à distance.

- *L'envoi de courriers*

Ces mêmes coupleurs Web permettent aussi d'envoyer un e-mail contenant un rapport vers un serveur d'e-mails local (cas de l'intranet).

- *L'envoi de messages SMS (alertes...)*

Une solution aussi envisageable: elle fait usage d'un modem GSM raccordé sur le port libre de l'automate. Celui-ci pilote automatiquement l'envoi de messages courts vers un numéro de téléphone préprogrammé et d'e-mails vers des téléphones GSM (option d'abonnement disponible chez la plupart des opérateurs de téléphonie mobile) [43].

III.5 Objectifs

Le télédiagnostic à pour but de surveiller "on line" l'état d'un système d'entraînement électrique. Notre objectif est d'introduire les technologies de l'Internet dans les outils de production. Quelles solutions de communication doit-on mettre en œuvre pour tirer profit des technologies Web pour les applications d'automatisme nécessitant un accès à distance pour le diagnostic ? Le tout au travers des mécanismes de protection garantissant une sécurité optimale pour un accès externe à coûts maîtrisés.

Nous présentons à la figure III.1 l'architecture d'un système de télésurveillance et de diagnostic.

III.6 Architecture des systèmes de télésurveillance

Le système se compose de trois partis :

1. Traitement et acquisition de données,
2. édition des données de diagnostic,
3. le côté client.

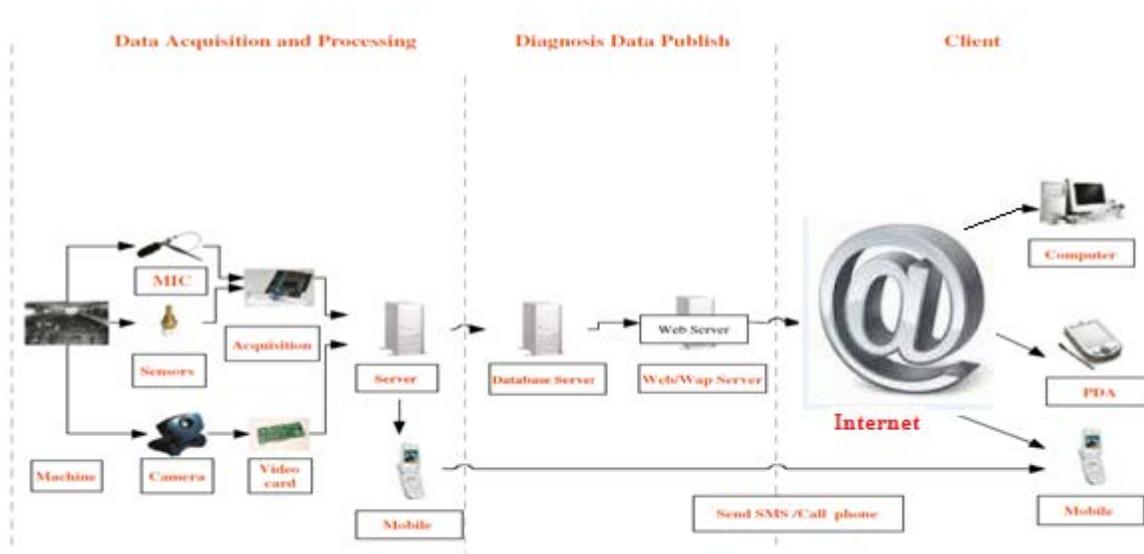


Fig.III. 1 Architecture d'un système de télésurveillance et de diagnostic [47]

Le traitement et l'acquisition des données incluent les logiciels avec lesquels on fait l'analyse des données parvenant des dispositifs nécessaires pour la télésurveillance, tels que les capteurs, image, vidéo, microphones, amplificateurs de signal ou conditionneurs, cartes d'acquisition de données (DAQ), etc..

Les capteurs rassemblent les signaux de la machine à surveiller et les transmettent aux amplificateurs. Les amplificateurs conditionnent les signaux dans des formats acceptables de sorte que les cartes DAQ puissent les convertir aux signaux numériques pour l'analyse. Le logiciel de diagnostic SAMS (Smart Asset Maintenance Systems) dans le serveur va analyser les signaux numériques et détermine l'état de la machine inspectée.

De façon générale les défauts qui se produisent dans la machine génèrent des échauffements et des vibrations. Alors, il est possible d'utiliser une variété de techniques de traitement de signal pour diagnostiquer les défauts des machines électriques. Le logiciel SAMS emploie un certain nombre de techniques de traitement des signaux tels que La transformée de Fourier rapide (FFT), la transformée d'ondelette continue (CWT), l'analyse d'ondelette exacte (EXA) [7], etc.

Quand SAMS détecte un état anormal de la machine, le programme Java fonctionnant dans le serveur, envoi des messages et des appels téléphoniques aux ingénieurs qui sont tous connectés au serveur par Internet. Après que les données de diagnostic sont générées, les résultats de diagnostic sont soit stockés dans des bases de données, soit traitées par le serveur à un format qui peut être édité par les utilisateurs de l'extérieur par l'intermédiaire d'Internet ou par la communication mobile.

Le processus de communication utilisant le XML est représenté à la figure.III.2.

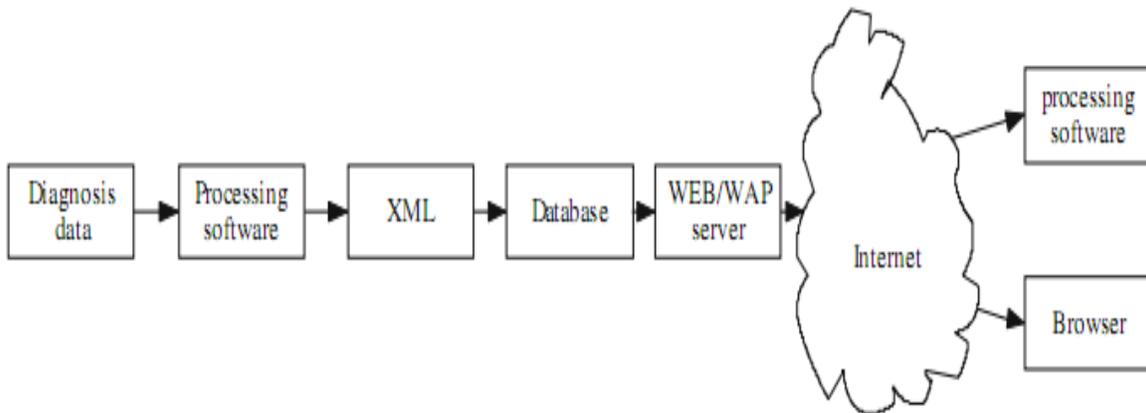


Fig. III.2 Utilisation de l'XML dans les processus de la communication [47]

III.7 Utilisation des téléphones portables dans le télédiagnostic

C'est l'envoi automatique des messages courts ou appels de téléphones quand l'état de machine est anormal. L'emploi des SMS dans l'industrie n'est pas une nouvelle idée. Des recherches ont été effectuées par Wu [44] qui a proposé un système réseau intégré à un domicile avec le protocole d'application sans fil et service de message court pour soutenir la connectivité entre le domicile et le système d'Internet. Al-Ali [45] a présenté un système qui permet au propriétaire d'une maison de surveiller et commander ses appareils ménagers par l'intermédiaire de son téléphone portable en envoyant des commandes sous forme de messages SMS.

Ces systèmes emploient la commande SMS AT, qui est une commande utilisée pour envoyer un SMS par un modem de GSM. La commande AT est simplement mise en application,. Cependant, la fonction SMS AT est limitée, parce qu'elle ne peut qu'envoyer et recevoir des SMS seulement.

On présente ici, une recherche basée sur Smartphone 2003 de Microsoft [47]. Le système d'exploitation de ce téléphone mobile autorise aux réalisateurs de construire des applications mobiles riches et innovatrices en fournissant un outil de développement puissant et flexible

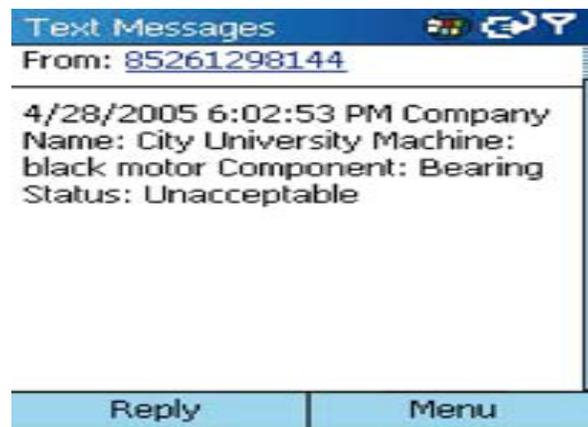


Fig.III .3 Le contenu d'un message signalant un statut anormal d'une machine [47]

Le module d'alarme automatique possède deux parties :

- la première est le Programme de Java fonctionnant dans le serveur;

- la seconde est le programme C++ fonctionnant dans le Smartphone (un téléphone portable) qui est relié au serveur. Quand SAMS détecte une situation anormale, le programme de Java lance le programme C++ qui peut envoyer des messages SMS et appeler les téléphones, [47].

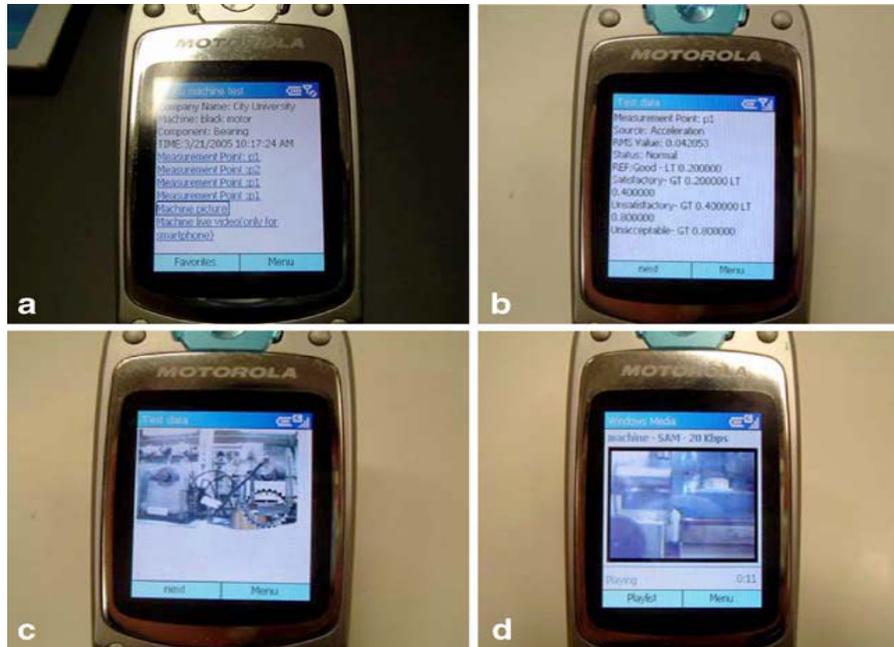


Fig.III .4 Une investigation de différents états de la machine par l'intermédiaire du téléphone mobile équipé de WAP. b/ L'état détaillé de la machine. c/ L'image en temps réel de la machine. d/ La vidéo de la machine [47].

III.8 Utilisation du "DATA-LOGGER"

Les DATA-LOGGER sont des dispositifs électroniques qui enregistrent les données et qui ont le pouvoir de les partager sur internet par des sorties réseaux qu'ils possèdent. Ils sont basés sur un processeur numérique (ou ordinateur) et sont généralement petits, portatifs, et équipés d'un microprocesseur et d'une mémoire interne pour le stockage de données [46].

Les DATA-LOGGER sont programmables et se connectent par interface à un ordinateur individuel et utilisent un logiciel pour activer l'enregistrement, le traitement, et l'analyse des données rassemblées.

D'autres types de DATA-LOGGER ont un dispositif local d'interface (bloc de touches, affichage à cristaux liquides) et peuvent être employés comme dispositif autonome. Ils varient selon leurs utilisations pour une gamme d'application de mesures dans des dispositifs très spécifiques pour un environnement donné, [46].

Un des avantages primordiaux d'utiliser les DATA-LOGGER est sa capacité de rassembler automatiquement des données sur une base de 24 heures ; d'où l'intérêt particulier d'utiliser un DATA-LOGGER dans un système de télédiagnostic des machines électriques.



Fig.III .5 : Différents types de DATA-LOGGER

Le coût des DATA-LOGGER a diminué au cours des dernières années pendant que la technologie s'améliore. Les DATA-LOGGER simples à canal simple coûtent environ \$25. D'autres DATA-LOGGER plus évolués peuvent atteindre un coût exorbitant de plusieurs centaines de milliers de dollar [46].

III.8.1 Système de télésurveillance utilisant le DATA-LOGGER

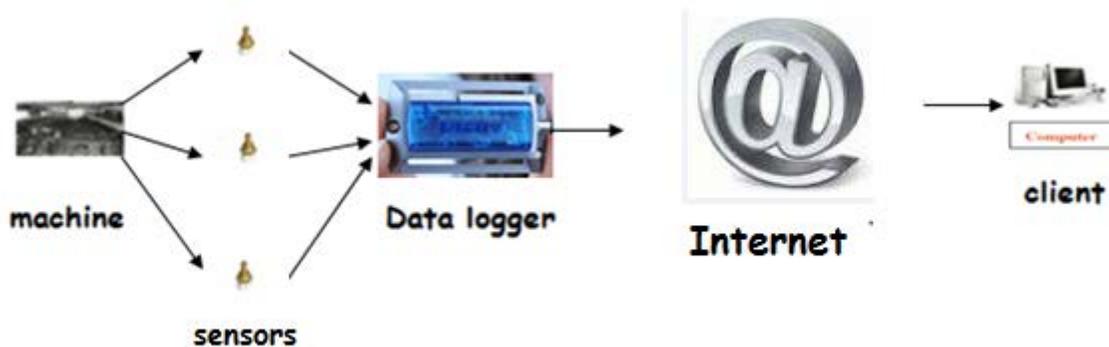


Fig.III.6 Système de télésurveillance utilisant le DATA-LOGGER

Le système présenté Fig.III.6 est réalisable une fois le DATA-LOGGER est bien choisi. Pour ce faire, plusieurs paramètres cités ci-après devraient être considérés [50]. A titre d'exemple, nous citons :

Signal d'Entrée :

Les DATA-LOGGER sont consacrés à un certain type d'entrée tandis que d'autres sont programmables pour différents types d'entrée.

Nombre d'entrées :

Les DATA-LOGGER sont disponibles dans des conceptions simples et multicanaux. Les enregistreurs de quelques données sont capables de manipuler des centaines d'entrées.

Taille :

Dans beaucoup d'applications le gabarit est une limitation. Dans ces cas, la taille des DATA-LOGGER peut être un paramètre critique de choix.

Mémoire :

Par rapport aux systèmes d'acquisition de données en temps réel, les DATA-LOGGER ont généralement de bas niveaux d'échantillonnage. C'est parce qu'ils stockent des données dans

la mémoire interne qui est limitée. Plus les débits sont hauts plus la mémoire à exiger est grande. Par conséquent, il est important de déterminer le pas d'échantillonnage et la durée d'échantillonnage qui peuvent être employés pour calculer la mémoire exigée du DATA-LOGGER.

Opération En temps réel

Dans diverses applications, il est souhaitable d'acquérir les données en temps réel sur un ordinateur.

Durant le fonctionnement de la machine, les capteurs prennent les signaux des différentes grandeurs (courant, tension, vitesse, ...) et passent par un convertisseur analogique/numérique (A/N) intégré dans le DATA-LOGGER. Ce dernier assure trois (3) tâches importantes à savoir : l'acquisition, le stockage et le partage sur internet des données, ainsi l'expert peut accéder aux données de n'importe où à n'importe quel moment pour effectuer le traitement et le diagnostic. Ensuite, il prendra une décision sur l'état de la machine. Ce système est fortement recommandé à cause de plusieurs avantages garantis par le DATA-LOGGER.

III.8.2 Pourquoi choisir un DATA-LOGGER parmi d'autres types d'instruments

Trois types d'instruments sont généralement employés pour rassembler et stocker des données. Ceux sont des systèmes d'acquisition de données.

Les DATA-LOGGER sont plus économiques que des enregistreurs de diagramme. Ils offrent plus de flexibilité et sont disponibles avec une plus grande variété de types d'entrée. La plupart des DATA-LOGGER rassemblent les données qui peuvent être directement transférées à un ordinateur. Bien que cette option soit disponible avec quelques DATA-LOGGER, elle ajoute des dépenses significatives à son prix.

Les systèmes d'acquisition de données offrent beaucoup de flexibilité et sont certainement attirants quand des taux élevés d'échantillons sont exigés. Cependant, puisqu'ils exigent le raccordement de l'installation à un ordinateur, ce dernier doit également être

disponible et en activité quand les données sont acquises. Les DATA-LOGGER peuvent fonctionner indépendamment de l'ordinateur. Les données sont stockées dans une mémoire non-volatile pour le téléchargement à un ordinateur. La disponibilité de l'ordinateur n'est pas requise pendant le processus de collecte des données. Ce qui les rends idéalement adapté aux applications exigeant la portabilité, [46].

III.9 Système utilisé dans notre travail

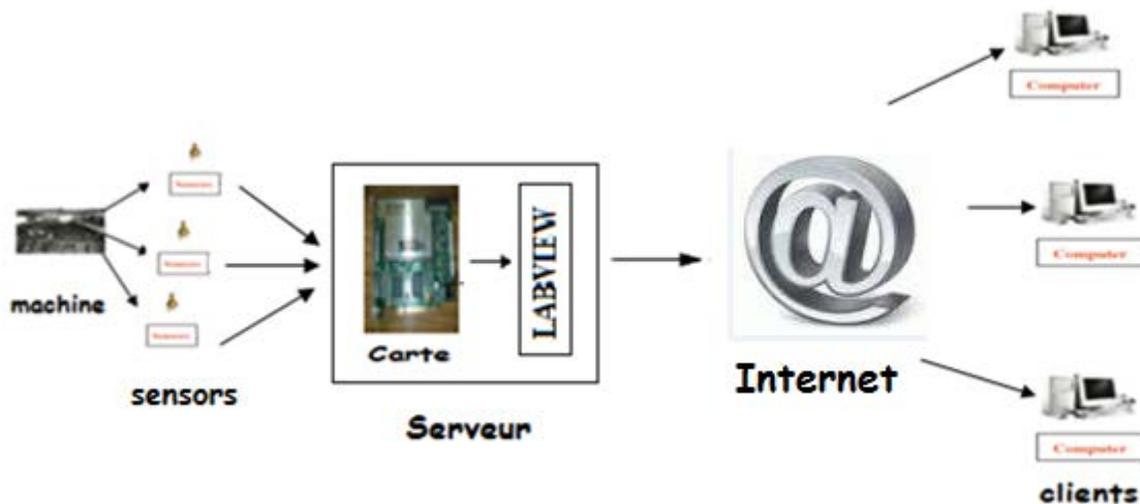


Fig.III.7 Système utilisant une carte d'acquisition DAQ reliée à LABVIEW [48]

Dans notre travail on adopte le système de la figure III.7. Ce système peut être divisé en trois parties : acquisition, traitement et partage, et la partie client :

Les capteurs rassemblent les signaux des différentes grandeurs (courant, tension, vitesse,...) de la machine surveillée et les transmettent aux amplificateurs. Les amplificateurs conditionnent les signaux dans des formats acceptables de sorte que les cartes DAQ puissent les convertir aux signaux numériques. Dans notre laboratoire on dispose d'une carte pour le conditionnement des signaux reliée à une carte d'acquisition de type IOTEQ /DAQ série 1005, ayant une fréquence d'échantillonnage de 200 kHz, 16 entrées analogiques, 16 numériques.

. En adaptant notre carte à LABVIEW, les données seront traitées et analysées de façon plus

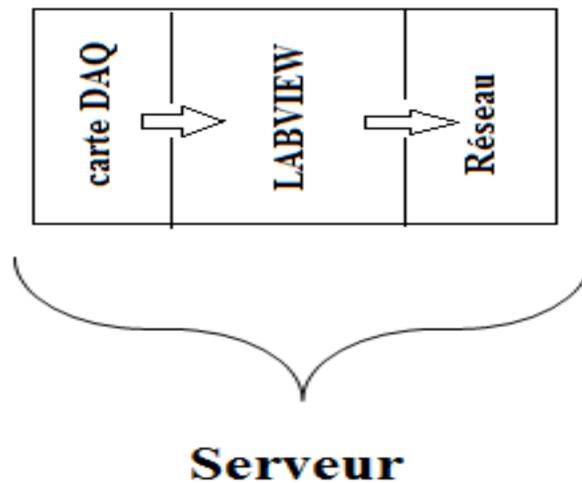


Fig.III.8 : serveur LABVIEW

simple et rigoureuse en faisant la programmation visuelle dans LABVIEW, Fig.III.9.

L'association de la carte DAQ 1005, LABVIEW et les sorties réseau, qui sont garantie par

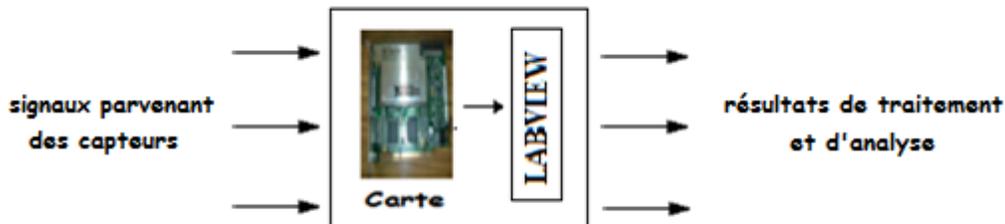


Fig.III.9 Traitement et analyse des données par le serveur LABVIEW

ce dernier, forme un « serveur LABVIEW » équivalent à un DATA-LOGGER et qui assurera le partage des résultats de traitement (des messages, signaux de visualisation,...) via Internet (Fig.III.8).

il suffit pour le client (ou 'expert') d'installer une application MATLAB ou C⁺⁺, où disposer d'un Logiciel LABVIEW installé et bien configuré dans son terminal pour avoir un accès aux données du diagnostic, et par suite, prendre une décision sur l'état de la machine.

Pour expliquer convenablement les démarches à suivre d'un tel système de télédiagnostic, on citera les étapes suivantes :

A/ Modèle et test de la mise en œuvre de la carte DAQ

Pour cela on opte pour la figure III.10 ;

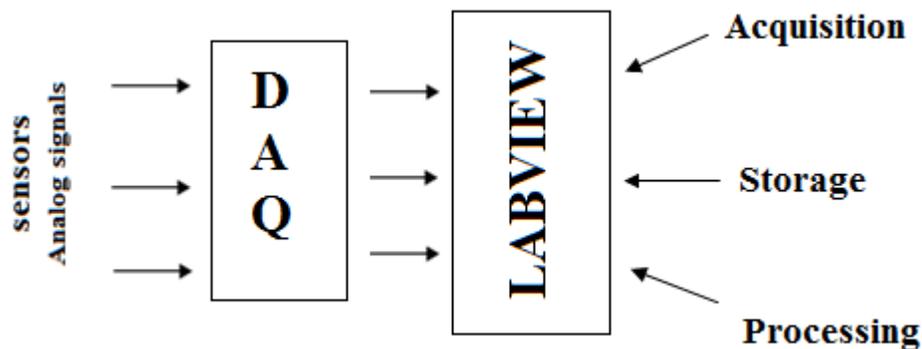
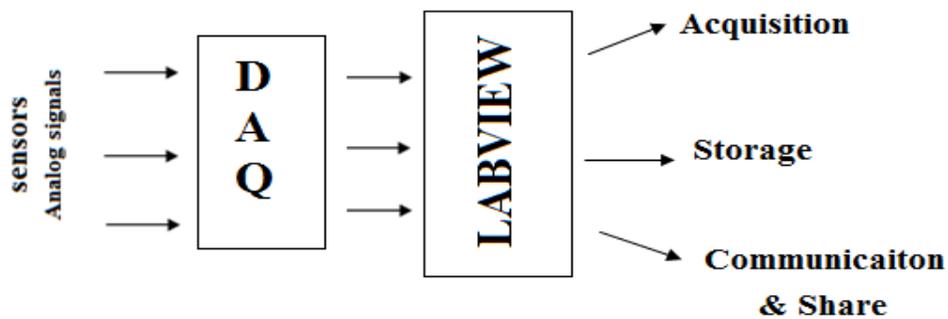


Fig.III.10 Mise en œuvre de la carte DAQ

Pour l'adaptation de la carte à LABVIEW, il nous a fallu ajouter à la palette existante dans le LABVIEW la palette DaqIO, moyennant quelques instructions, ensuite nous avons effectué certains tests d'acquisition et de traitement pour s'assurer que la carte est intégrée au LABVIEW.

B/ Modèle de traitement et de stockage

Une fois la carte est adaptée à LABVIEW, on réalise le traitement approprié à notre diagnostic, en sauvegardant dans des bases de données, et en faisant le partage via Internet. La figure III.11 résume ce modèle.



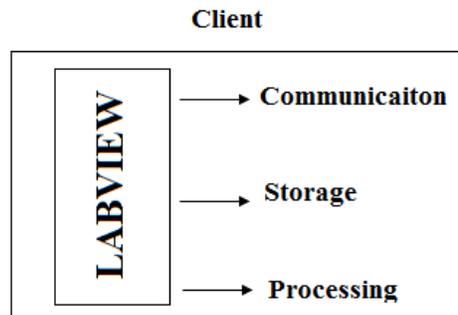
III.12 Modèle de traitement et de stockage des données

C/ Partie expertise

Après que les résultats de traitement soient communiqués et partagés sur Internet, le client (ou expert) doit avoir en premier lieu, un accès à notre système. Il doit disposer également :

- soit d'une application MATLAB, C++, ou d'autres langages,
- soit d'un LABVIEW installé et configuré dans son terminal.

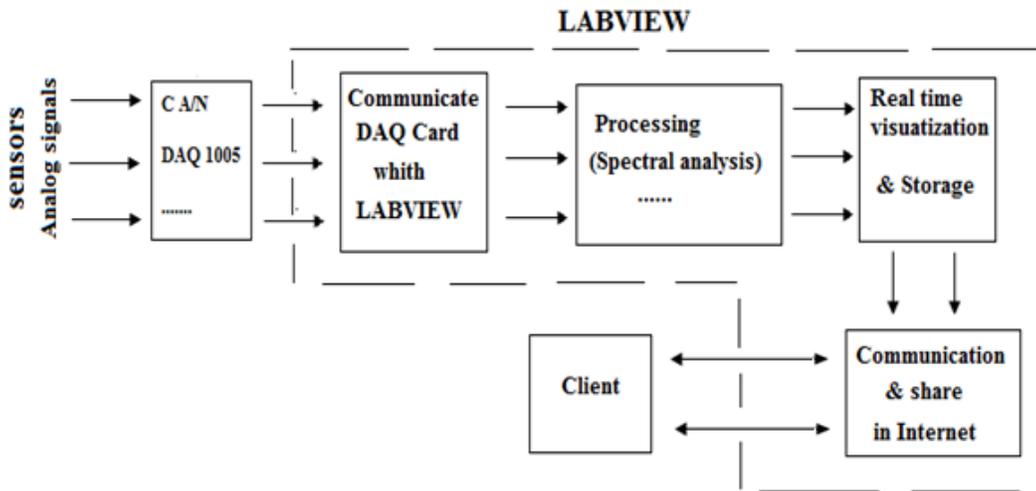
Il est recommandé de disposer du deuxième cas. La figure III.13 présente les tâches offertes au client.



III.13 Coté client

En associant les trois modèles décrits précédemment, on reconstitue le modèle général de notre structure de télésurveillance représenté à la figure III.14.

LABVIEW offre en outre la possibilité de stocker les données dans des bases de données pour une utilisation ultérieure possible.



III.14 modèle générale de télédiagnostic

III.10 Evaluation des systèmes de diagnostic à distance

- *Avantages des systèmes de télédiagnostic*

Les avantages de la mise en place d'un système de télésurveillance sont nombreux [50], et à titre d'exemple on peut citer:

- La mise en sécurité des personnes
- Le personnel est disponible pour la résolution des problèmes
- La possibilité de réduire le temps pour appréhender plus rapidement l'évolution du comportement des machines électriques
- L'analyse est effectuée par le personnel expérimenté
- Analyse des données essentielles du système et comparaison avec celles connues pour détecter les tendances éventuelles du système.
- Expertise élargie et réduction du coût de l'intervention.
- Productivité accrue grâce à la localisation et à la suppression rapide des défauts.
- Accès sécurisé par mots de passe et fonction de confidentialité pour l'installation de l'accès restreint.

- *Inconvénients et Problèmes qui se posent dans la surveillance des systèmes à distance*

Tous ces systèmes permettent la télésurveillance et le pouvoir de diagnostiquer, nous pouvons donc vérifier l'état des machines par un ordinateur connecté à l'Internet et les ingénieurs peuvent régulièrement surveiller leur fonctionnement à distance. Le premier problème de ces systèmes est la compatibilité des données avec les différents systèmes à distance parce que les architectures des différents systèmes de diagnostic des machines électriques sont différentes. Ce qui rend difficile le partage des données entre les systèmes. Pour les bases Web de la télésurveillance, il y a différents types de données qui exigent la fiche d'envoi. Ces types de données incluent :

- Les signaux parvenant des capteurs, tels que la vitesse, le couple, les vibrations, la température, la tension, la pression,
- Les données multimédia telles que les signaux audio et vidéo qui contiennent des bases de données.

L'édition efficace des données d'émission est un problème qui devrait être considéré dans les systèmes à base Web. En effet, la communication entre le serveur et les clients est une contrainte pour l'existence des systèmes de la télésurveillance. Les systèmes exigent aux serveurs d'assigner un port spécial pour envoyer des données aux clients.

Aujourd'hui, presque tous les propriétaires sont peu disposés à ouvrir un port spécial pour une telle communication indiquée due aux risques présentés par des hackers et les attaques virus. Par conséquent, il est de plus en plus difficile d'élaborer ces interfaces pour ouvrir un port si spécial pour la télésurveillance [42].

III.11 Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons présenté, dans un premier temps, la relation entre l'Internet comme une nouvelle technologie de communication et la surveillance à distance des machines électriques comme une nouvelle technique en montrant comment l'évolution de cette technologie a influencé cette technique, et dans le même contexte nous avons cité l'exemple de l'utilisation des téléphones portables.

Dans un deuxième temps, nous avons cité trois architectures des systèmes de diagnostic à distance : systèmes utilisant des logiciels de maintenance intelligents, systèmes utilisant le DATA-LOGGER, et le troisième fonctionnant avec une carte d'acquisition DAQ adaptée au LABVIEW.

A la fin de ce chapitre nous avons énuméré les différents avantages de la mise en œuvre d'un système de télésurveillance ainsi que les différents problèmes qu'on peut rencontrer lors du fonctionnement de tels systèmes.

L'utilisation du télédiagnostic ambitionne de réduire le coût de la maintenance conditionnelle en remplaçant les rondes traditionnelles par une surveillance continue à distance, et aide à la décision grâce aux outils d'apprentissage automatique.

CHAPITRE IV

RESULTATS EXPERIMENTAUX ET ANALYSE

Dans les chapitres précédents, nous avons présenté les différents défauts que peut avoir la machine asynchrone à cage d'écureuil et leurs influences sur le courant stator. Différentes méthodes de diagnostic ont été également abordées parmi lesquelles la méthode de l'analyse spectrale du courant stator que nous avons détaillée en présentant les différents outils de traitement du signal et les fréquences caractérisant les défauts. Dans le présent chapitre, nous appliquons la méthode de l'analyse spectrale du courant stator pour le diagnostic de défauts de cassures de barres et de portion d'anneau de court-circuit.

IV.1) Description et présentation du banc d'essais

L'étude porte sur les défauts de cassures de barres et de portion d'anneau de court-circuit. Une acquisition d'une durée de 10 s à une fréquence de 10 kHz ($N = 100000$) des trois courants, des tensions de phases et de la vitesse a été effectuée sur ce banc d'essai du laboratoire de recherche en électrotechnique de l'Ecole Nationale Polytechnique d'Alger qui est représenté sur le schéma de la figure IV.1.

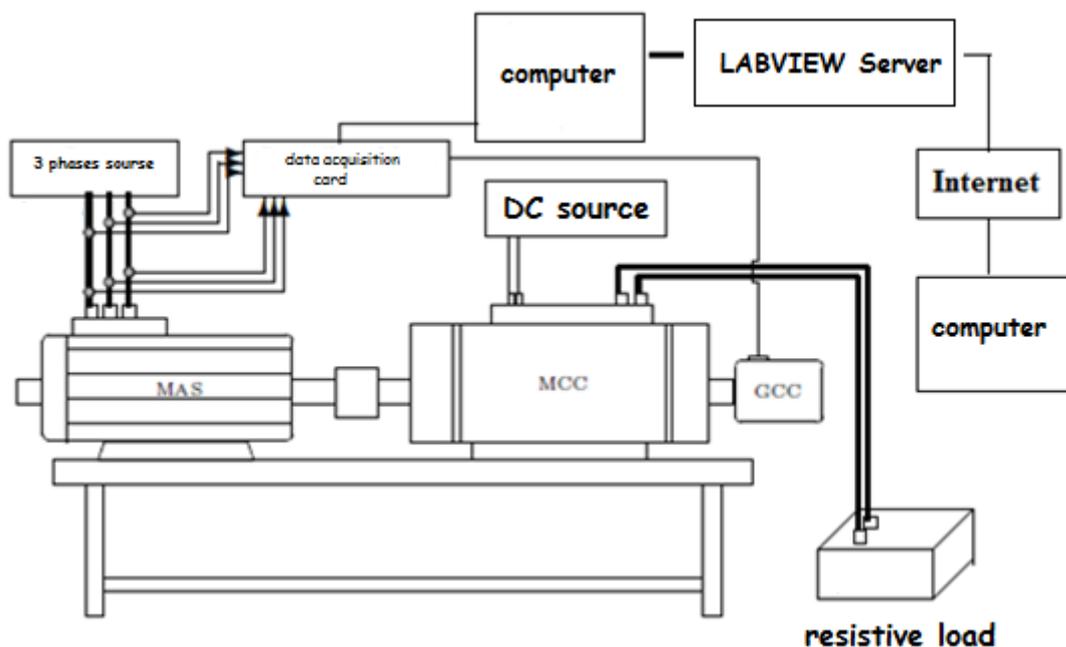


Fig. IV.1 Banc d'essais de l'ENP

Quatre Machines asynchrones à cage d'écureuil dont les principales caractéristiques sont données dans le tableau Tab. IV.1 ont été utilisées :

- machine saine prise comme référence pour le diagnostic ;
- machine avec une barre rotorique cassée ;
- machine avec deux barres rotoriques cassées adjacentes ;
- machine avec une portion d'anneau de court-circuit enlevée.

<i>Puissance nominale</i>	4kW
<i>Tension nominale</i>	220/380 V
<i>Courant nominal</i>	15.3/8.83 A
<i>Vitesse nominale</i>	1500 tr/min
<i>Facteur de puissance</i>	0.83
<i>Nombre de paires de pôles</i>	2
<i>Nombre d'encoches statoriques</i>	36
<i>Nombre d'encoches rotoriques</i>	28

Tab. IV.1 Plaque signalétique de la machine asynchrone

Pour charger la machine, on utilise une machine à courant continu dont la plaque signalétique est donnée dans le tableau Tab. IV.2.

<i>Puissance nominale</i>	2.4 kW
<i>Tension nominale</i>	220 V
<i>Courant nominal</i>	10.9 A
<i>Vitesse nominale</i>	1410 tr/min
<i>Courant d'excitation nominal</i>	3 A

Tab. IV.2 Plaque signalétique de la génératrice

Vu que la puissance nominale de la machine à courant continu n'est que de 2.4 kW, la charge maximale de la machine asynchrone est d'environ 70% de sa charge nominale. Une génératrice tachymétrique montée directement sur l'arbre de la machine à courant continu est utilisée pour la mesure de la vitesse. Pour l'acquisition des signaux, le laboratoire dispose d'une carte pour le conditionnement des signaux reliée à une carte d'acquisition IOTEQ/DAQ séries 1005, ayant une fréquence d'échantillonnage de 200 kHz, 16 entrées analogiques, 16 entrées digitales ; toutes les entrées peuvent être utilisées comme des sorties.

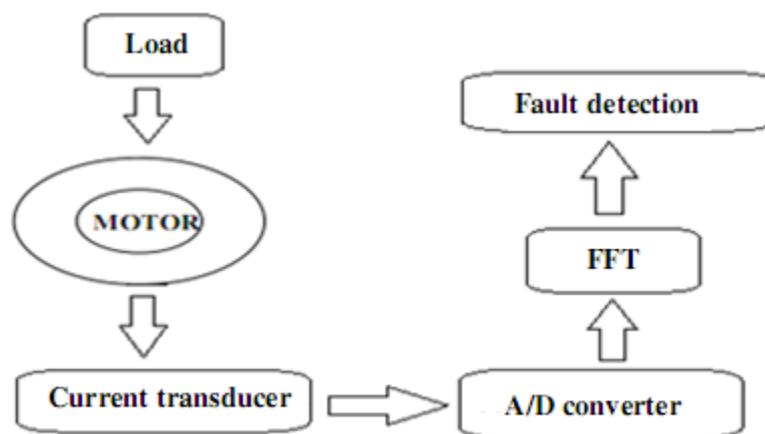


Fig. IV.2 :Diagramme bloc pur obtenir la densité spectrale de puissance utilisat DAQVIEW

Pour détecter les défauts au rotor, le système de surveillance est conçu pour l'acquisition de la signature du courant stator (MCSA) comme le montre la figure IV.2.0. Le courant stator est initialement pris dans le domaine temporel, la densité spectrale de puissance est calculée puis analysée dans le but de détecter des fréquences relatives aux composantes de défaut. Pour chaque défaut du rotor, il y a une fréquence associée qui peut être identifiée dans le spectre. Les défauts sont détectés en comparant les amplitudes des fréquences spécifiques aux défauts avec celles de la même machine en état sain et normal. En se basant sur les amplitudes en dB, il est ainsi possible de déterminer l'ampleur de défaut. Dans le système décrit, la carte d'acquisition des données est utilisée pour prendre le courant moteur fonctionnant à vide et ensuite à 70% de charge nominale. Le signal du courant est ensuite transformé dans le domaine fréquentiel en utilisant la transformée de Fourier rapide (FFT) basée sur la densité spectrale de puissance. Le diagramme bloc utilisé pour obtenir la densité spectrale de puissance en utilisant DAQVIEW est représenté dans la figure IV.3 ;

L'étude se fera, comme signalé avant, par l'analyse spectrale du courant stator. Dans cette section, nous étudions l'effet des cassures de barres et une portion d'anneaux de court circuit sur le spectre, pour cela nous analyserons la densité spectrale du courant stator.

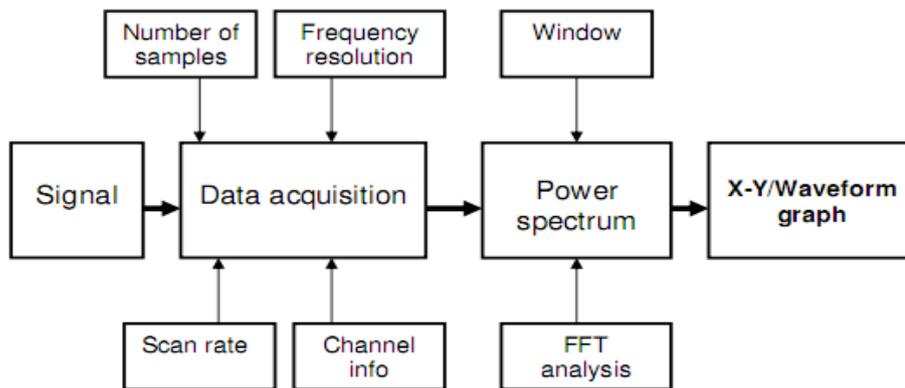


Fig IV.3 :Détection de défaut et système de diagnostic

IV.2. Analyse de différentes grandeurs

Nous analyserons les différentes grandeurs, à savoir : la tension, la vitesse et les courants stators.

IV.2.1. La tension

La figure IV.4 présente les tensions aux bornes des enroulements statoriques.

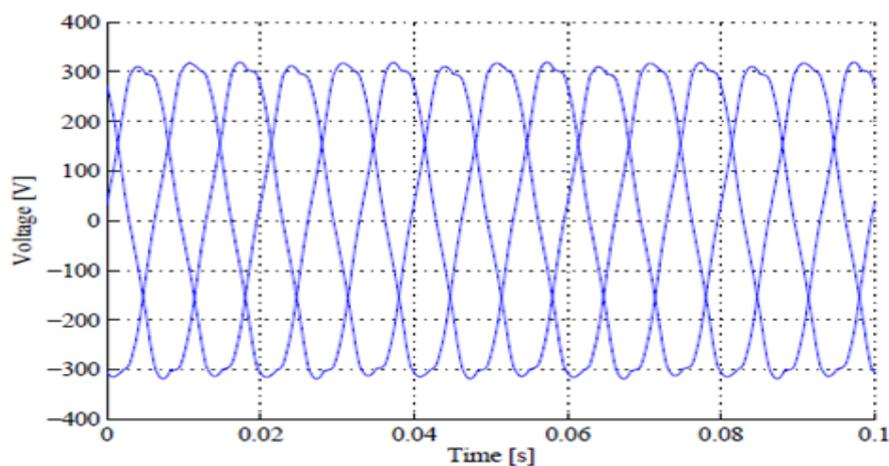


Fig. IV.4 Tension d'alimentation

IV.2.2. La vitesse des différents moteurs

Les cassures de barres et portion d'anneau de court-circuit ont pour effet l'augmentation du régime transitoire de la vitesse (voir Figure IV.5). Cette augmentation croît avec la sévérité du défaut ; dans le cas d'une barre cassée la constante de temps mécanique est de 0.053 s et pour deux barres cassées, elle est de 0.11 s alors que pour la machine saine, elle est de 0.047 s . La constante de temps dans le cas d'une portion d'anneau de court-circuit est de 0.054 s qui est quasiment identique à celle d'une barre cassée.

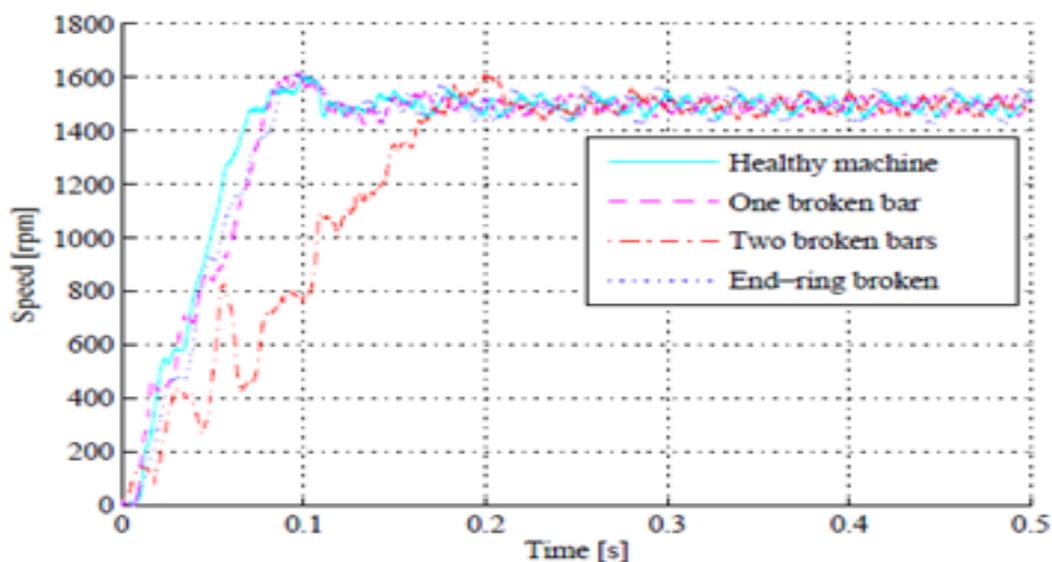


Fig. IV.5 Vitesse des différents moteurs à 70 % de charge

IV.2.3. Les courants pour les différents moteurs

Les défauts engendrent des ondulations du courant stator, comme on peut le voir sur la figure IV.6 où l'on constate que l'ondulation du courant de la machine avec deux barres cassées est plus importante que celle d'une barre ou portion d'anneau de court-circuit cassée qui sont quasiment identiques.

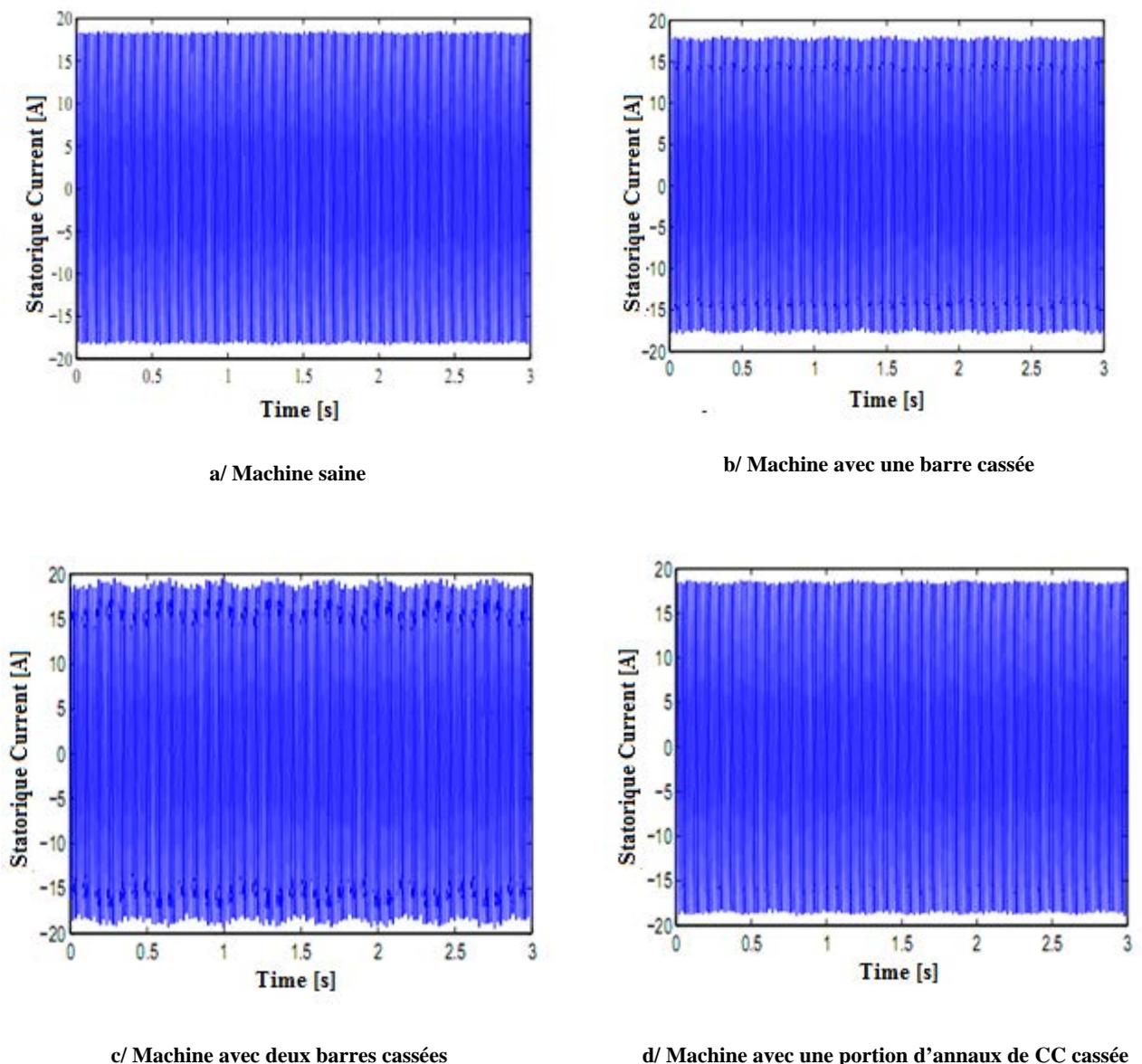


Fig. IV.6 Courant stator des différents moteurs

IV.3. L'analyse du courant stator des différentes machines: Observations et discussions

Nous savons que la rupture d'une barre de la cage rotorique induit dans le spectre du courant stator une composante de fréquence $(1-2g)f$. En effet, la cassure d'une barre rotorique crée, dans l'entrefer de la machine, un champ tournant inverse de fréquences gf . L'interaction de ce champ tournant avec la vitesse rotorique crée une composante de fréquence $(1-2g)f$ dans le spectre du courant stator.

La présence de cette modulation dans le courant stator induit une oscillation au niveau du couple électromagnétique de la machine de fréquence $2g$ f.

Cette oscillation de couple crée inévitablement une oscillation de la vitesse qui induit une nouvelle composante de fréquence $(1+2g)$ f dans le spectre du courant stator.

Charge	Vitesse	Glissement	K=1		K=2		K=3	
			USB (Hz)	MSB (Hz)	USB (Hz)	MSB (Hz)	USB (Hz)	MSB (Hz)
A vide	1485	1%	49	51	48	52	47	53
A 70% de charge	1458	2.8%	47.2	52.8	41.5	58.5	38.6	61.4

Tab. IV.3 Analyse des fréquences caractérisant les défauts pour les deux fonctionnements à vide, et à 70 % de charge

Observation et discussion :

La machine asynchrone est testée dans son état sain et pour des barres de court-circuit cassées ainsi que pour une portion d'anneau de court-circuit cassée. La signature du courant stator est prélevée pour un fonctionnement à vide et à 70% de charge.

- **Pour une barre cassée:**

La densité spectrale de puissance de courant stator obtenue pour une barre cassée dans un fonctionnement à vide et à 70% de charge sont données dans les figures Fig. IV.7.a. et Fig. IV.8.a, respectivement pour le fonctionnement à vide le spectre de courant pour une machine à une barre cassée est presque confondu avec celui obtenu pour la machine saine et les pics des fréquences caractéristiques de défauts sont très faibles et invisibles comme parus à la figure IV.7.a. Il est remarquable que la détection des défauts dans le fonctionnement à vide est très difficile parce que le courant dans les barres rotoriques est faible, il faut donc utiliser des méthodes plus évoluées, à savoir : la technique des ondelettes et l'analyse spectrale paramétrique. Pour le fonctionnement à 70% de charge les harmoniques caractérisant les défauts sont plus visibles mais pour seulement K=1 et les autres piques restent faibles en amplitude. L'observation complète de l'analyse de la densité spectrale est donnée dans le tableau Tab. IV.4.

Fig	Charge	Glissement	Les fréquences caractéristiques des défauts								
			K=1		Obs	K=2		Obs	K=3		Obs
			LSB (Hz)	USB (Hz)		LSB (Hz)	MSB (Hz)		LSB (Hz)	MSB (Hz)	
IV.7.a	A vide	1%	49	51	Non visible	48	52	Non visible	47	53	Non visible
IV.8.a	A 70% de charge	2.8%	47.2	52.8	Visible	41.5	58.5	Non visible	38.6	61.4	Non visible

Tab. IV.5 Analyse spectrale de puissance pour un rotor à une barre cassée

- **deux barres cassées**

La densité spectrale de puissance du courant stator obtenue pour une machine à deux barres cassées dans un fonctionnement à vide et à 70% de charge est donnée aux Figs. IV.7.b et IV.8.b. Pour un fonctionnement à vide, les fréquences des défauts sont clairement invisibles tandis qu'à 70% de charge cela nous permet de constater l'augmentation des amplitudes d'harmoniques de fréquences $f(1-2g)$ caractérisant les défauts de cassure de barres. L'augmentation des amplitudes et la dissymétrie entre les harmoniques de gauche et à droite du fondamental constatées sur le spectre du courant stator sont respectivement dues à une modulation d'amplitude et à une modulation de fréquence du courant stator. L'observation complète de l'analyse de la densité spectrale est donnée dans le tableau Tab. IV.6

Fig	Charge	Glissement	Les fréquences caractéristiques des défauts								
			K=1		Obs	K=2		Obs	K=3		Obs
			LSB (Hz)	USB (Hz)		LSB (Hz)	MSB (Hz)		LSB (Hz)	MSB (Hz)	
IV.7.b	A vide	0.01	49	51	Non visible	48	52	Non visible	47	53	Non visible
IV.8.b	A 70% de charge	0.028	47.2	52.8	Visible	41.5	58.5	visible	38.6	61.4	visible

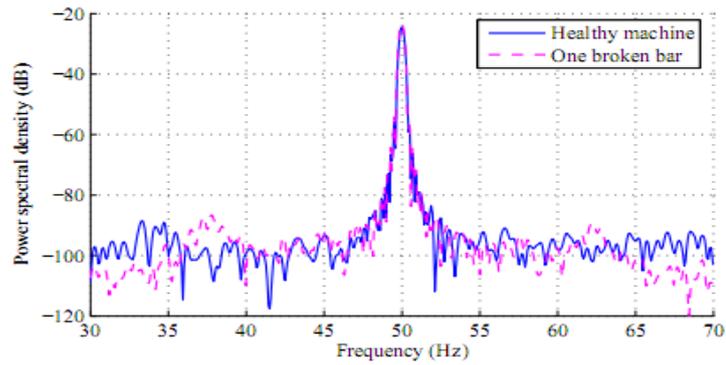
Tab. IV.6 Analyse spectrale de puissance pour un rotor à deux barres cassées

- **pour une portion d'anneau de court-circuit cassée**

La densité spectrale de puissance du courant stator obtenue pour une machine à deux barres cassées dans un fonctionnement à vide et à 70% de charge est donnée aux Figs. IV.7.c et IV.8.c. Les résultats obtenus pour une telle machine se ressemblent beaucoup à ceux obtenus pour la machine à une barre cassée. L'observation complète de l'analyse de la densité spectrale est donnée dans le tableau Tab. IV.7.

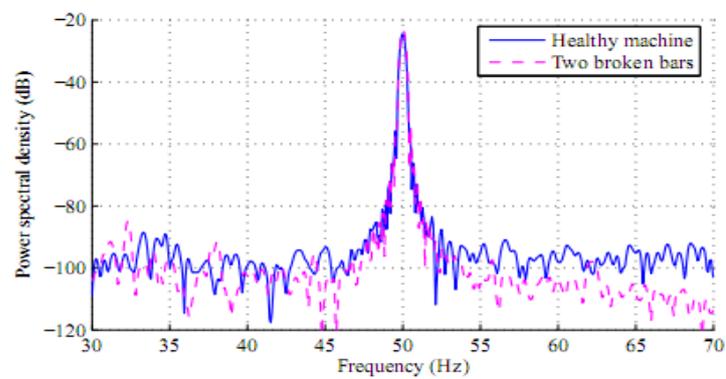
Fig	Charge	Glissement	Les fréquences caractéristiques des défauts								
			K=1		Obs	K=2		Obs	K=3		Obs
			LSB (Hz)	USB (Hz)		LSB (Hz)	MS B (Hz)		LSB (Hz)	MS B (Hz)	
IV.7.c	A vide	1%	49	51	Non visible	48	52	Non visible	47	53	Non visible
IV.8.c	A 70% de charge	2.8%	47.2	52.8	Visible	41.5	58.5	Non visible	38.6	61.4	Non visible

Tab. IV.7. Analyse spectrale de puissance pour un rotor à une portion d'anneau de court-circuit enlevée



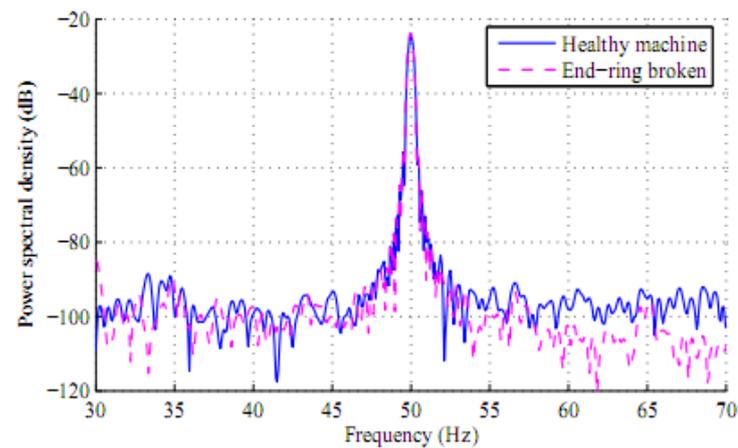
(a) Une barre cassée

a/ une barre cassée



(b) Deux barres cassées

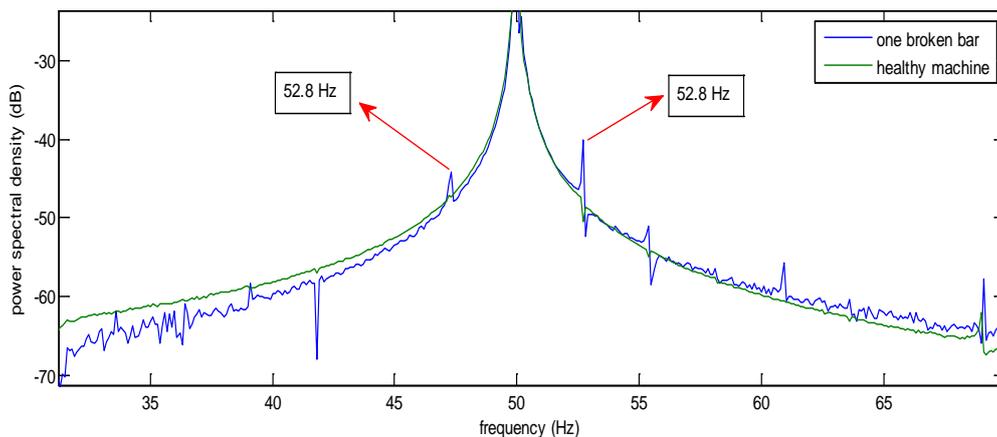
b/ deux barres cassées



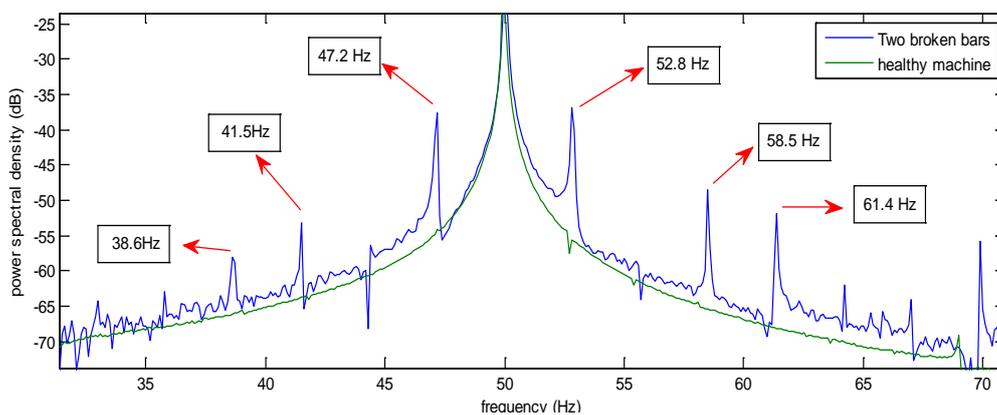
(c) Portion d'anneau de court-circuit cassée

c/ portion d'anneaux de court-circuit cassée

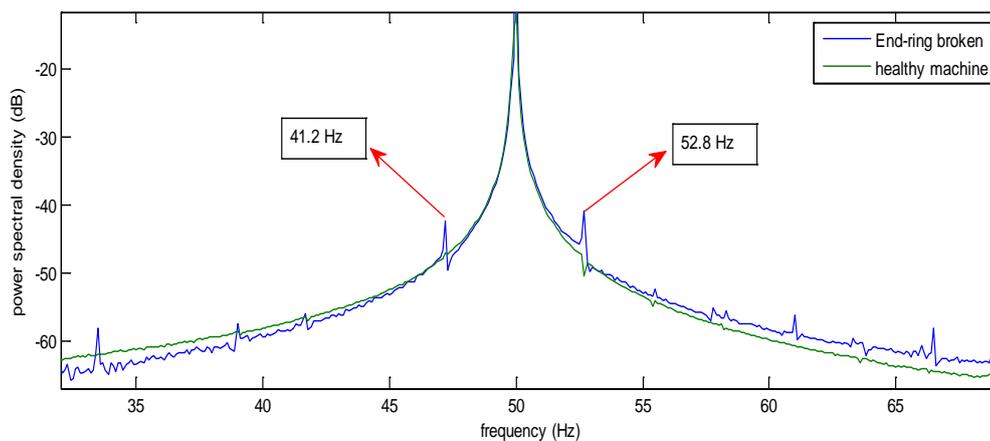
Fig. IV.7 Analyse spectrale du courant stator à vide



a/ une barre cassée



b/ Deux barres cassées



c/ une portion d'anneau de court-circuit cassée

Fig. IV.8 Analyse spectrale de courant statorique à 75% de charge

Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons présenté l'effet des cassures des barres rotoriques et d'une portion d'anneau de court-circuit, et également identifié les signatures les plus significatives sur le spectre du courant stator, à partir des résultats obtenus théoriquement.

Les cassures de barres et de portion d'anneau de court-circuit engendrent :

- des oscillations sur le couple et la vitesse,
- l'augmentation d'amplitude du couple moyen,
- l'apparition d'harmoniques sur les courants statoriques.

L'analyse spectrale du courant stator a permis d'identifier les signatures fréquentielles causées par la rupture des barres de la cage rotorique. Il s'est avéré que la surveillance de l'amplitude des composantes de fréquence, présente dans le spectre fréquentiel du courant stator, permet de détecter la présence d'un défaut au niveau de la cage rotorique de la machine par la présence des harmonique de fréquences $(1-2g)f$.

Ces fréquences dépendent du glissement et donc de la charge de la machine. Les essais effectués pour les défauts électriques ont permis de constater qu'avec les essais à vide, le diagnostic est difficile du fait du rapprochement des harmoniques caractérisant le défaut du fondamental, contrairement à ceux effectués en charge et qui ont permis d'obtenir des spectres dans lesquels on distingue clairement les signatures des défauts.

CONCLUSION GENERALE

Le télédiagnostic et la télésurveillance des systèmes électriques sont de plus en plus utilisés dans la plupart des domaines industriels, d'où l'intérêt grandissant porté à ce sujet.

Dès que le Web est devenu un moyen plus stable pour l'échange d'idées et des données, les chercheurs ont commencé à l'exploiter dans les systèmes de diagnostic des machines, ces systèmes fournissent un diagnostic de défaut en ligne pour les équipements.

La réalisation d'un tel système peut fournir une plus grande flexibilité aux utilisateurs pour le contrôle des coûts et pour maximiser l'efficacité de la production. L'Internet et la communication mobile ont évolué considérablement, accomplissant un progrès rapide dans la surveillance des machines et leur diagnostic à distance.

Nous avons consacré notre travail à l'utilisation de l'Internet comme une nouvelle technologie pour l'échange des données dans le diagnostic à distance des machines électriques, dans un premier temps, nous avons proposé une architecture bien évoluée, utilisant des logiciels intelligents. Nous avons pris comme exemple le SAMS. Un système fortement recommandé et largement utilisé dans l'industrie, grâce à la simplicité de son architecture et les avantages qu'il met en évidence. L'utilisation d'un tel système de télédiagnostic ambitionne de réduire le coût de la maintenance en remplaçant les rondes traditionnelles par une surveillance continue, en temps réel et à distance. L'aide à la décision grâce aux outils d'apprentissage automatique devient alors possible.

Le deuxième système est basé sur l'utilisation des DATA-LOGGERS, une solution envisageable grâce aux nombreux avantages qu'il garantit : un système moins encombrant, simple à mettre en œuvre et qui nécessite seulement une connexion à Internet. Les ingénieurs consultent les données de la machine de n'importe quel lieu, à n'importe quel moment. Les analyses, le diagnostic et la décision sont prises rapidement, concernant l'état de la machine. En effet ils n'ont besoin que de navigateur WEB et d'une connexion internet.

Le troisième système est celui que nous avons conçu, il consiste en l'utilisation d'une carte d'acquisition DAQ 1005 que nous avons adaptée à LABVIEW, l'ensemble forme un serveur garantissant le partage des données à Internet, un système qui fournit un large espace pour le traitement et le diagnostic en utilisant un logiciel aussi développé et évolué que le

LABVIEW et qui offre la possibilité d'interroger les résultats à distance par ses sorties réseau qu'il possède.

Nous avons essayé l'intégration des technologies de l'Internet dans les outils de production en particulier dans les machines électriques et nous avons proposé quelques solutions de communication à mettre en œuvre pour tirer profit des technologies Web pour les applications d'automatisme nécessitant un accès à distance pour le diagnostic. Le tout au travers de mécanismes de protection garantissant une sécurité optimale, à coût maîtrisé.

BIBLIOGRAPHIE

- [1] **Blanchet G. and M. Charbit.** Traitement numérique du signal. Techniques de l'Ingénieur, traité d'electronique, Août 1998.
- [2] **J. Salsona.** Effects of rotor bar and end ring faults over the signals of a position estimation strategy for induction motors. IEEE Trans. on Energy Conversion, Vol. 03, no. 04, pp. 873-879, Decembre 1988. Applications, 0-7803-7817, 2003.
- [3] **M. H. Benbouzid,** Induction motors' faults detection and localization using stator current advanced signal processing techniques. IEEE Transactions on Industry Applications, Vol.14, NO. 1, January 1999.
- [4] **B. Boashash.** The Relationship Between Instantaneous Frequency and Time- Frequency Representations. IEEE Transactions on signal processing, pages 1458-1462, 1993.
- [5] **B. Ristic.** Kernel design for Time-Frequency signals analysis using the radon transform.IEEE Transactions on signal processing, pages 1996-2008, May 1993.
- [6] **B. Yazici.** An adaptative statistical time-frequency method for detection of broken rotor bars and bearing faults in motors using stator current. IEEE Transactions on Industry Applications, Vol. 35 :442_452, Mar./Apr. 1999.
- [7] **I. Daubechies,** Ten Lectures on Wavelets, Society for Industrial and Applied Mathematics, Philadelphia, Pennsylvania, 1992.
- [8] **S. Mallat,** Une exploration des signaux en ondelettes, Editions de l'Ecole Polytechnique, Palaiseau, 2000.
- [9] **J. P. Kahane, P. G. Lemarié-Rieusset,** Série de Fourier et ondelettes, Cassini, Cambridge, 1998.
- [10] **A.Bouzida, O.Touhami, R.Ibtiouen, M.Fadel, A. Rezzoug, A.Belouchrani,** " Fault Diagnosis in Industrial Induction Machines through Discrete Wavelet Transform", Transactions on Industrial Electronics, Issue 99, DOI:101109/ TLE.2010.2095391,2011.
- [11] **M. Misiti, Y. Misiti, G. Oppenheim, J. M. Poggi,** Les ondelettes et leurs applications, Hermes, Paris, 2003.
- [12] **T. X. Zhang, X. J. Guo, Z. Wang,** " the application of envelope-wavelet analysis in the fault diagnosis of rolling bearing", Conference on Machine Learning and Cybernetics, Guangzhou, Aout 2005, pp. 1778-1782.
- [13] **H. Zhang, G. F. Zhai,** "Extraction of failure characteristics of rolling element bearing based on wavelet transform under strong noise", International Conference on Industrial Technology, Décembre 2004, pp. 713-717
- [14] **A.bouzida, O.Touhami, R.Ibtiouen, M.Fadel, A. Rezzoug, A.Belouchrani,** " Fault Diagnosis in Industrial Induction Machines through Discrete Wavelet Transform", Transactions on Industrial Electronics, Issue 99, DOI:101109/ TLE.2010.2095391,2011

- [15] **A. Bouzida**, « diagnostic des défauts de la machine asynchrone à cage par la technique des ondelette », mémoire de magistère de l'école nationale polytechnique, janvier 2008.
- [16] **H. Zhang, S. J. Wang, Q. S. Zhang, G. F. Zhai**, "The research on rolling element bearing fault based on wavelet packets transform", 29th Annual Conference of the IEEE Industrial Electronics Society (IECON'03), November 2003, pp. 1745-1749.
- [17] **L. Cheng, S. Zhihuan, L. Ping**, "Bearing fault detection via wavelet packet transform and rough set theory", 5th World Congress on Intelligent Control and Automation, Hangzhou, Juin 2004, pp. 1663-1666.
- [18] **Y. Pan, J. Chen, L. Guo**, "Robust bearing performance degradation assessment method based on improved wavelet packet - support vector data description", Mechanical Systems and Signal Processing, vol. 23, no. 3, Avril 2009, pp. 669-681.
- [19] **B. Raison**. « Détection et localisation de défaillances sur un entraînement électrique », Thèse de doctorat, Institut National Polytechnique de Grenoble, France, 2000.
- [20] **S. Bachir**. « Contribution au diagnostic de la machine asynchrone par estimation Paramétrique ». Thèse doctorat. Université de Poitiers. Décembre 2002.
- [21] **B. Boualem, F. Piriou**, "Numerical models for rotor cage induction machines using finite element method", IEEE Trans. on Magnetics, Vol.34, no.5, septembre 1998.
- [23] "FLUX2D®, Induction Machine Tutorial, Physical part", Cédrat, Juin 1999.
- [24] **T. Boumgoura**, « recherche des signatures électromagnétique des défauts dans une machine asynchrone et synthèse d'observateur en vue de diagnostic », Thèse de Doctorat de l'école centrale de Lyon, 26 mars 2001 ;
- [25] **A. Cohen**, « Ondelettes et traitement numérique du signal », Masson, Paris, 1992.
- [26] **O. Touhami, N. Lahcène, R. Ibtouen, M. Fadel**, « Modeling of the Induction Machine for the Diagnosis of Rotor Defects. Part. I: An Approach of Magnetically Coupled Multiple Circuits ». IEEE-IECON'05, Industrial Electronics Society, pp.1580-1587, 2005.
- [27] **A. Abed, L. Baghli, H. Razik, A. Rezzoug**, "Modeling Induction Motors for Diagnostic Purposes", EPE'99, 7-9 September 1999, 233.pdf, Lausanne, Suisse, pp. 1-9.
- [28] **Taibi. Z. M**, " Développement d'un Algorithme Automatique Dédié au Diagnostic en ligne des Défauts Electriques de la Machine Asynchrone à Cage d'Ecureuil pour une implantation sur carte FPGA", mémoire de magistère, USTHB, 2012.
- [29] **Dorrell, D.G. and Smith, A. C**, « calculation and measurements of unbalance magnitic pull in cage induction motors with eccentric rotor, part 2 : experimental investigation", IEEE Proceeding Electric Power Applications, Vol. 143, No. 3, May, pp. 202-210, 1996
- [30] **M.E.H. Benbouzid, M. Vieira, C. Theys**, 'Induction motors faults detection and localization using stator current advanced signal processing technique', IEEE Transaction on power electronics, vol.14, No.1, January 1999.

- [31] **M. Haji and H. A. Toliyat**, “pattern recognition- a technique for induction machines rotor broken bar detection,” IEEE translations on Energy conversion, Vol. 16, No. 4, pp. 312-317, 2001
- [32] **Randy R. Shoen, Brian K. Lin, Thomas G. Halbetler, Jay H. Schlag, and Samir Farag**, “An unsupervised, on-line algorithm for induction motor fault detection using stator current monitoring, IEEE translation on industry applications, Vol. 31, No. 6, pp. 1280-1286, 1995.
- [33] **M. E. H. Benbouzid, H. Nejjari, R. Beguenane, and M. Vieira**, “induction motor asymmetrical faults detection using advanced signal processing techniques,” IEEE translations on Energy conversion, Vol. 14, No. 2, pp. 147-152, June 1999.
- [34] **VASEGHI**, “contribution à l’étude des machines électriques en présence de défaut entre-spire », Thèse de Doctorat de l’institut National Polytechnique de Lorraine, France, décembre 2009.
- [35] **Smail Bachir**, “contribution au diagnostic de la machine asynchrone par estimation paramétrique”, Thèse de doctorat, Université de Poitiers, France, 2002.
- [36] **R. Abdelli**. "Perturbations Singulières Appliquées Au Modèle De Machine Asynchrone Avec Défauts Au Stator Et Au Rotor ", Mémoire de Magister en Electrotechnique, Ecole National Polytechnique, Juin 2007
- [37] **M. OUADAH**. "Modélisation et Diagnostic des Défauts des Machines Asynchrones à Cage D'écuruil par L'approche des Circuits Multiples Couplés Magnétiquement en Tenant Compte des Harmoniques D'espace ", Thèse de magister, Ecole nationale polytechnique d'Alger, Décembre 2008.
- [38] **TOUHAMI O., N. Lahcene, R. Ibtouen, and M.Fadel** .”Modeling of the induction machine for the diagnosis of rotor defects” .part.II: Simulation and experimental results. In 1st Annual Conference of Industrial Electronics Society, IEEE IECON 2005, pp. 1621–1626, Raleigh, NC, USA, May 2005.
- [39] **Fenger M. Susnik M., P. Laderoute, and W. T. Thomson**. “Development of a tool To detect faults in induction motors via current signature analysis”. In Iris Rotating Machine Conference, Santa Monica, CANADA, June 2003.
- [40] **Thomson W. T. and R. J. Gilmore**. “Motor current signature analysis to detect faults In induction motor drives-fundamentals, data, interpretation, and industrial case histories”. In Proceedings of the thirty-second turbo-machinery symposium, pp. 145–156, 2003.
- [41] **Bouzida H., O. Touhami, R. Ibtouen, M.Fadel, M.Benhaddadi, and Olivier G**. “Model structures used in rotor defect identification of a squirrel cage induction machine”. Canadian Conference on Electrical and Computer Engineering, IEEE CCECE’06, pp. 1671–1676, May 2006. Ottawa, Ont.
- [42] **Caldwell NH, Breton BC, Holburn DM**, “Remote instrument diagnosis on the Internet”. IEEE Intell Syst App 13 (3):70–76(1998)
- [43] **Fong A, Hui C**,” An intelligent online machine fault diagnosis system”. Comput Control Eng J 12(5):217–223(2001)

- [44] **Ong K, An N, Nee A** “Web-based fault diagnostic and learning system”. Int J Adv Manuf Technol 18(7):502–511
- [44] **Wu C-H, Jan R-H**, “System integration of WAP and SMS for home network system”. Comput Netw 42(4):493–502
- [45] **Al-Ali AR, Al Rousan M, Mohandes** “GSM-based wireless home appliances monitoring and control system”. Proceedings 2004 international conference on information and communication technologies: from theory to applications, Damascus, Syria, pp 237–238
- [46] www.siemmens.fr/automation/service&support.
- [47] **Wanbin Wang, Peter W. Tse, Jay Lee**, “remote machine maintenance system through Internet and mobile communication”, Int J Adv Manuf Technol (2007)31: 783–789
DOI10.1007/s00170-005-0236-1
- [48] **LABVIEW 2009 NI SoftMotion.**