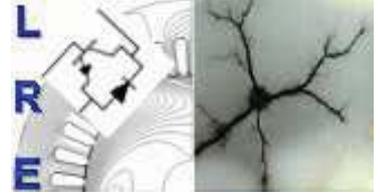




Ecole Nationale Polytechnique
Département d'Electrotechnique
Laboratoire de Recherche en Electrotechnique



Mémoire de Master en Electrotechnique

Présenté par :
OUAGUED Sofiane

Intitulé

Télédiagnostic de défauts électriques de la machine asynchrone.

Directeur du mémoire :

TOUHAMI Omar

Professeur

Ecole national polytechnique

ENP 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 بالنقال طورنا نظام مراقبة عن بعد. استخدام هذه المنظومة تقدم الكثير من الإيجابيات. المستخدمون يستطيعون مراقبة حالة الآلة باستخدام الشبكة العنكبوتية في أنظمة المراقبة عن بعد.

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

INTRODUCTION

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 du couple, détrônant ainsi le moteur à courant continu.

Assurer la continuité de leur fonctionnement nécessite la mise en place de programmes de maintenances préventives et correctives.

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. 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. Cette approche reste insuffisante puisque la tendance courante de la fabrication se déplace vers la régionalisation. Par conséquent, l'usine de la production peut être loin des experts, alors que les machines doivent être surveillées. Grâce aux techniques basées sur L'INTERNET et communication mobile, la surveillance d'état des machines à distance et le diagnostic de défauts deviennent faisable. En conséquence, des décisions "juste à temps" peuvent être prises à distance. Des plans d'urgence peuvent être fournis pour compenser la perte de la production due à la panne inattendue de la production des machines. Donc le contrôle des machines à distance devient essentiel aux compagnies qui sont impliquées dans la concurrence.

I. Diagnostic et surveillance

I.1. C'est quoi la surveillance ?

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

A/ 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.

B/ 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].

I.2. 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 I.1** présente les différentes méthodes utilisées :

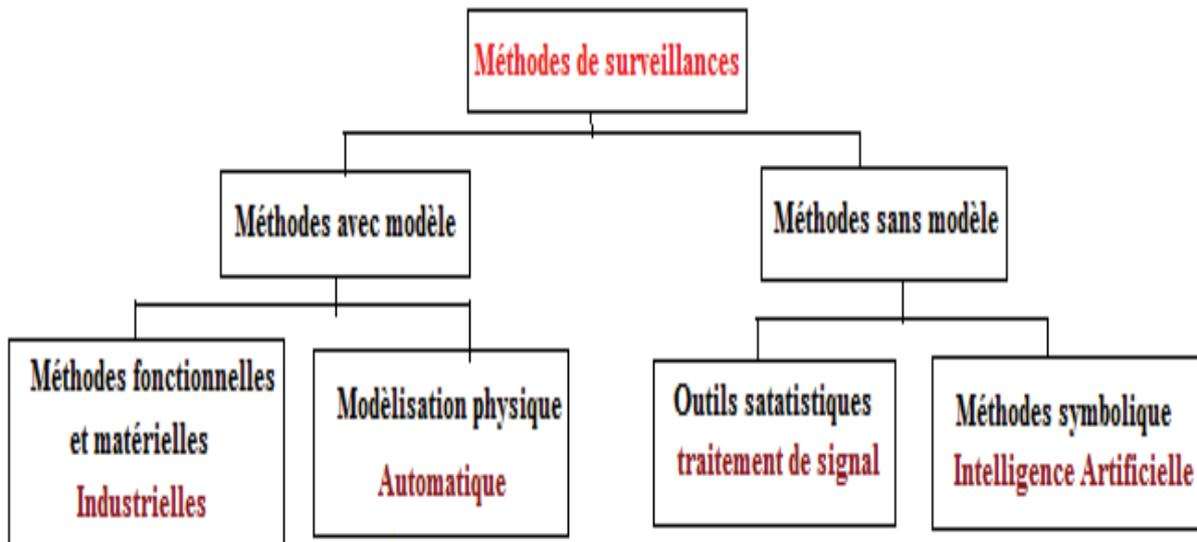


Fig. I.1 Méthodes de surveillance industrielles

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

II. 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.

Par exemple le spectre idéal du courant stator avec des barres cassées se représente comme suit :

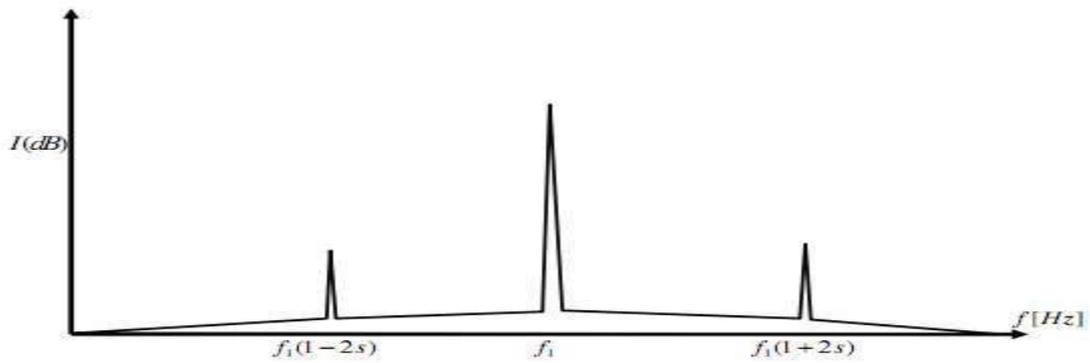


Fig. II.1 : spectre du courant idéalisé avec des barres cassées

Le tableau suivant donne les défauts principaux qui peuvent surgir dans la machine asynchrone et leurs fréquences caractéristiques.

Ordre de défaut		Nature de défaut	Fréquences des composantes de défauts	Observations
Electrique	Circuit statorique	Courts-circuits entre aînes	$k * f_s$	$k=1, 2, 3, \dots$
	Circuit rotorique	Cassures de barre	$f_{ib} = f_s(1 \pm 2 * k * g)$	$k=1, 2, 3, \dots$ g : glissement
		Cassure de portion d'anneau de CC	$f_{ib} = f_s(1 \pm 2 * k * g)$	
Mécanique	Roulements à billes	Défaut de cage	$f_c = \frac{1}{2} f_s \left(1 - \frac{D_b \cos \theta}{D_c}\right)$	$f_i = 0.6 * N_b * f_s$ $f_o = 0.4 * N_b * f_s$ N_b : le nombre de billes D_b, D_c : dimensions géométriques de cage θ : lement
		Défaut de bague intérieure	$f_o = \frac{N_b}{2} f_s \left(1 - \frac{D_b \cos \theta}{D_c}\right)$	
		Défaut de bague extérieur	$f_i = \frac{N_b}{2} f_s \left(1 - \frac{D_b \cos \theta}{D_c}\right)$	
		Défaut de billes	$f_b = \frac{D_c}{D_b} f_s \left(1 - \frac{D_b^2 \cos^2 \theta}{D_c^2}\right)$	
	Excentricité	Tous types d'excentricité	$f_{exc} = f_s \left\{ (k * R \pm n_r) \left(\frac{1-s}{p} \pm n_m \right) \right\}$	$k = 1, 2, 3, \dots$ R : nombre d'encoches rotorique. $n_r = 0, 1, 2, 3, \dots$ $n_m = 1, 3, 5, \dots$

Tab. II.1 Tableau récapitulatif des différents défauts et leurs fréquences caractéristiques.

II.1. Les résultats expérimentaux obtenus par l'application de la méthode MCSA par l'analyse spectrale du courant statorique

Dans ce qui suit 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. Pour faire on dispose de quatre machines asynchrones de puissance nominale identique égale à 4 kW, une saine et trois défectueuse. 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 II.1.

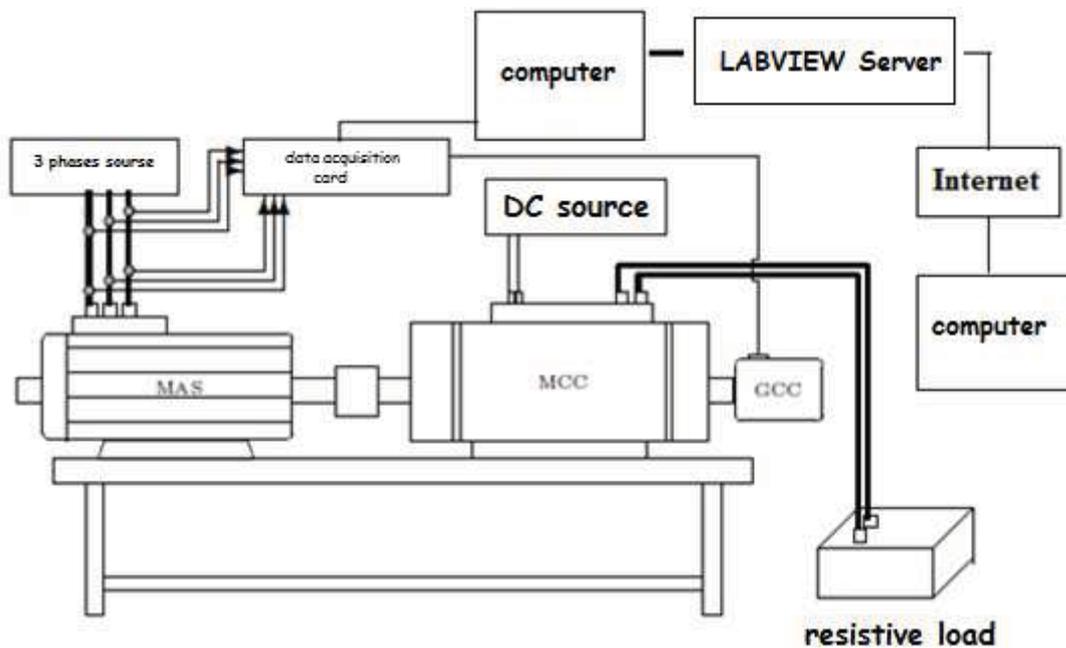


Fig. II.1 Banc d'essais de l'ENP

La machine asynchrone entraîne une génératrice à courant continu débitant dans une charge résistive. Puisque la puissance nominale de la MCC n'est que de 2.4 kW, donc la charge maximale de la MAS ne peut pas dépasser 70% de sa charge nominale.

Le serveur LABVIEW utilisé pour faire le télédiagnostic sera détaillé et expliqué dans le chapitre suivant.

II.2. L'analyse du courant stator des différentes machines: Observations et discussions

➤ 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. II.3.a, 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. Il est remarquable que la détection des défauts dans le fonctionnement à vide est très difficile parce que le courant dans les barres rotorique 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.

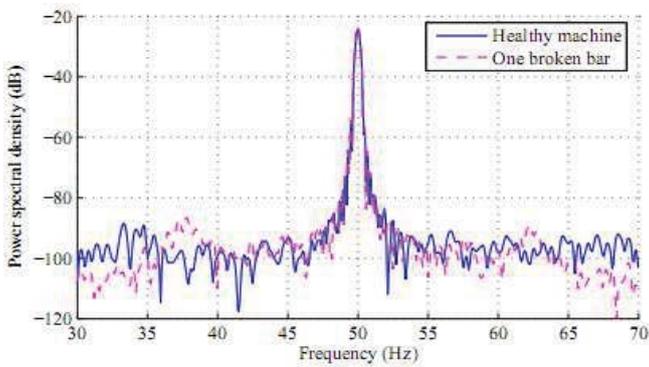
➤ deux barres cassées

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 à la Fig. II.3.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.

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

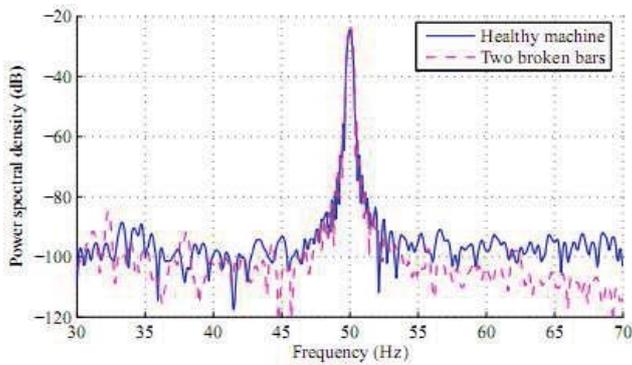
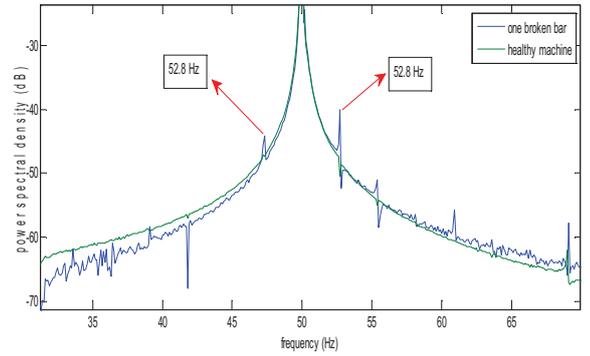
La densité spectrale de puissance du courant stator obtenue pour une machine à une portion d'anneau de court circuit cassée dans un fonctionnement à vide et à 70% de charge est donnée à la Fig. II.3.c. Les résultats obtenus pour une telle machine se ressemblent beaucoup à ceux obtenus pour la machine à une barre cassée.

- Les différents spectres des différentes machines (à vide et à 70% de charge)



(a) Une barre cassée

Fig. II.3.a Les spectre de courant pour une barre cassée, à vide (à gauche) et en charge (à droite).



(b) Deux barres cassées

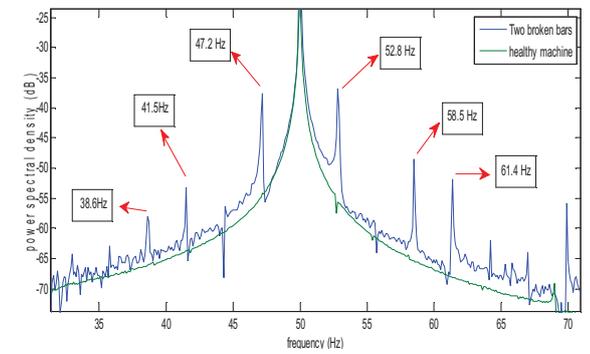
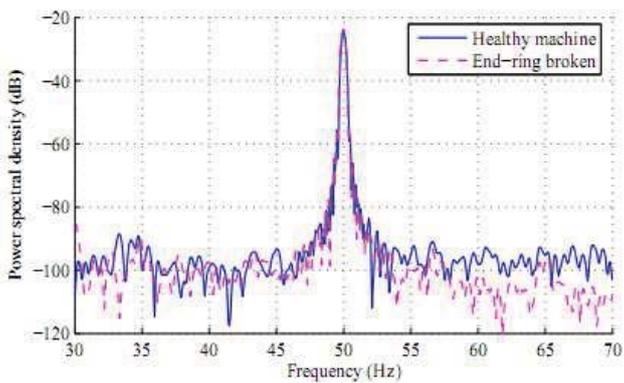


Fig. II.3.b Les spectre de courant pour deux barres cassées, à vide (à gauche) et en charge (à droite).



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

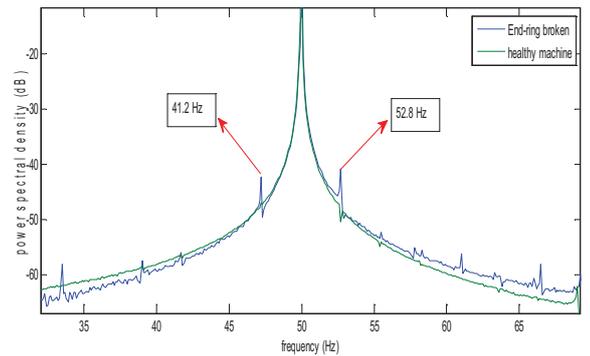


Fig. II.3.c Les spectre de courant pour une portion d'anneau de court circuit cassée, à vide (à gauche) et en charge (à droite).

III. Système de surveillance à distance par internet des machines électriques : le télédiagnostic.

III.1. Surveillance en ligne basée sur Internet

La surveillance en ligne permet à un opérateur extérieur d'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.2. 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.3. Architecture des systèmes de télésurveillance

Le système se compose de trois parties :

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

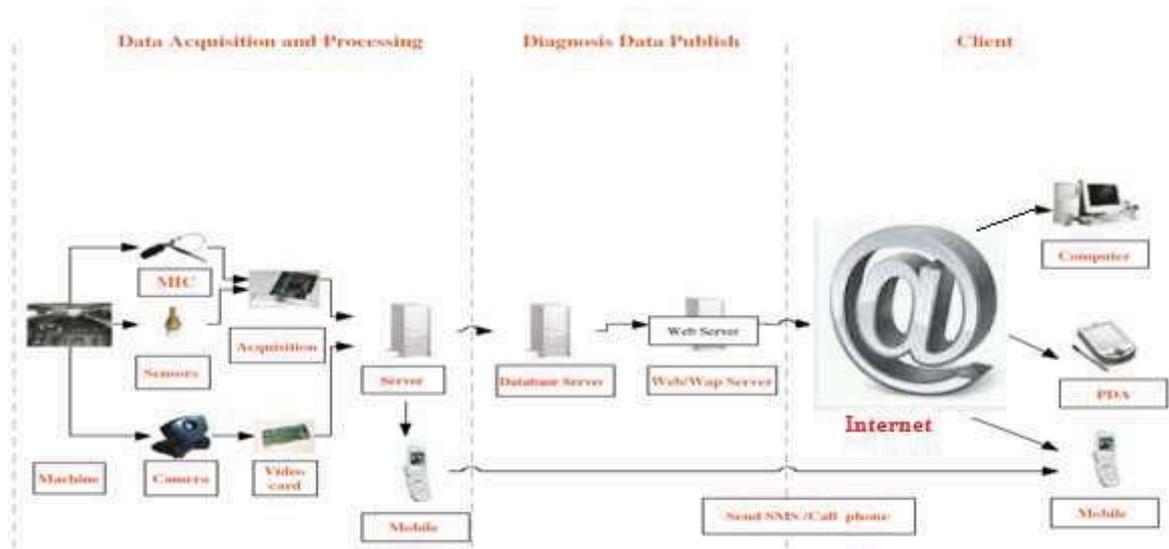


Fig.III.1 l'architecture d'un système de télésurveillance et de diagnostic.

III.4. 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.2 : 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].

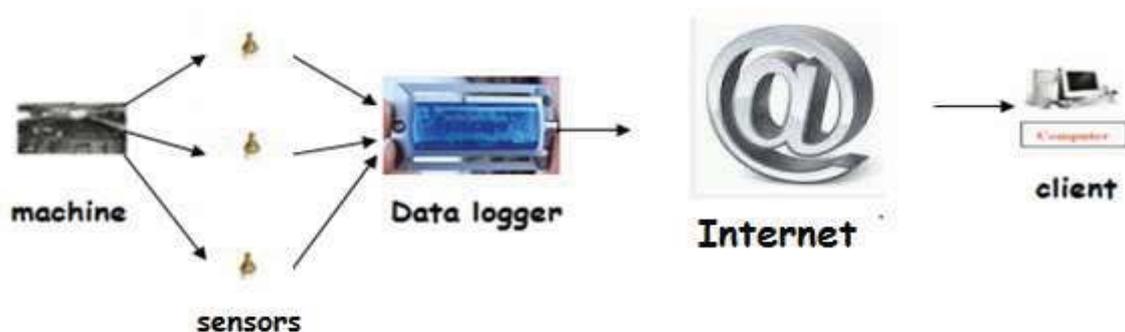


Fig.III.3 Système de télésurveillance utilisant le DATA-LOGGER

III.5. 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 figure III.4 montre un système utilisant le serveur LABVIEW. Ce système peut être divisé en trois parties : acquisition, traitement et partage, et la partie client.

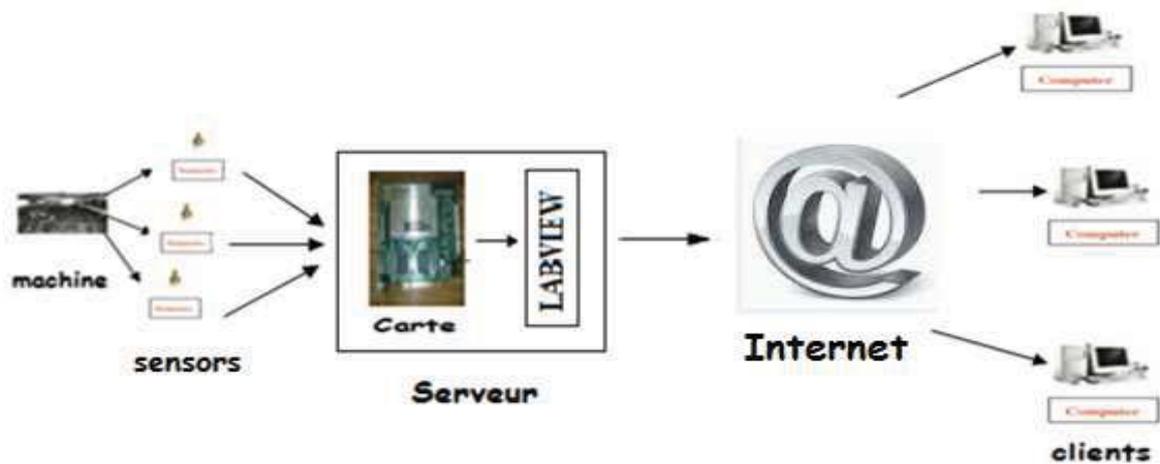


Fig.III.4 Système utilisant une carte d’acquisition DAQ reliée à LABVIEW [48]

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 simple et rigoureuse en faisant la programmation visuelle dans LABVIEW.

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

1/ première étape

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.

2/ deuxième étape

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

3/ troisième étape

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.
-

III.7. 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.

III.8.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.

Conclusion

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, en proposant des systèmes de télédiagnostic 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, tout en montrant comment ces systèmes mènent à réduire le coût de la maintenance en remplaçant les rondes traditionnelles par une surveillance continue, en temps réel et à distance, et aident à prendre la décision grâce aux outils d'apprentissage automatique. Les systèmes de télédiagnostic proposés peuvent être appliqués dans d'autres domaines à savoir: la mécanique, la haute tension, etc. Et avec le développement actuel des réseaux de télécommunications, les systèmes de télédiagnostic devient de plus en plus évolués et bien sophistiqués.

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. Ibtouen, M. Fadel, A. Rezzoug, A. Belouchrani**, “ Fault Diagnosis in Industrial Induction Machines through Discrete Wavelet Transform”, Transactions on Industrial Electronics, Issue 99, DOI:10.1109/TIE.2010.2095391, 2011
- [15] **A. Bouzida**, « diagnostic des défauts de la machine asynchrone à cage par la technique des ondelettes », 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 magnetic 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’écureuil 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, May2005.
- [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.**