

IV.1 Introduction

La plupart des signaux sont non stationnaires, cela empêche l'utilisation de la méthode de la transformée de Fourier (FT) et la transformée de Fourier à court terme (TFCT) à cause de leurs limitations dans l'analyse de ce type de signaux [44].

Dans ce Chapitre, deux techniques de traitement de signal sont utilisés pour le diagnostic des défauts de court-circuits. La première est basée sur l'analyse spectrale, tel que la transformée de Fourier rapide, qui utilise les composantes spectrales de courant statorique dans l'état sain et l'état en court-circuit en régime permanent (régime stationnaire). La deuxième est basée sur la transformée en ondelettes discrète qui est considéré comme un outil idéal en raison de son aptitude d'analyse des signaux (régime non stationnaire). Les tests sont validés par simulation numérique et les résultats obtenus montrent clairement la possibilité d'extraire les signatures pour détecter et localiser les défauts.

Parmi les défaillances possibles, les défauts de court-circuit statorique étudiés d'une manière détaillée dans ce travail. Leurs origines et leurs conséquences sur le fonctionnement de la machine ont été abordés. Nous avons choisis de nous intéresser plus particulièrement dans ce travail aux défauts de court-circuit pouvant intervenir au stator des machines asynchrone. En effet, un court-circuit de spires est à l'origine de déséquilibre des enroulements statoriques induisant un champ inverse en plus du champ direct principal, tournant avec les fréquences de $\pm f_s$ [31]. Ces nouvelles composantes entraînent des pics de fréquence $k.f_s$ dans les courants statoriques de la machine [12] [13].

L'analyse par traitement du signal des grandeurs de ligne (courant, tension et puissance) peut donner une image réelle sur les déséquilibres qui se produisent dans la machine ; cette analyse est basée sur les techniques classiques telles que l'analyse de Fourier (FFT). Malheureusement, les méthodes basées sur cette technique, ne sont pas appropriées à l'analyse des signaux non-stationnaires et ne peuvent pas indiquer l'information inhérente dans ces signaux. En raison des inconvénients de l'analyse de FFT, il est nécessaire de trouver des méthodes supplémentaires pour l'analyse de la non-stationnarité du signal. La technique d'ondelette est la méthode la plus populaire pour l'analyse des signaux de ce type [13].

IV.2 Types de la transformée en ondelette

On construit par translation et dilatation une famille de fonctions $\psi_{a,b}(t)$; à partir de l'ondelette mère $\psi(t)$. L'utilité de l'ondelette est de faire varier les largeurs en temps et en

fréquences d'une fonction tout en la translatant le long du signal comme dans la transformée de Fourier fenêtrée.

Ces fonctions de $\psi_{a,b}(t)$ sont données par la relation (IV.1) [44].

$$\psi_{a,b} = \frac{1}{\sqrt{a}} \psi\left(\frac{t-b}{a}\right)$$

(IV.1)

Le paramètre (b) de l'ondelette représente sa translation sur l'axe du temps, par contre le paramètre (a) donne le contrôle de la fréquence de l'ondelette, sachant que, $a = 1/f$, « f » étant la fréquence [25,26].

Si $a < 1$, l'ondelette $\psi_{a,b}(t)$ devient très concentrée par rapport à l'ondelette mère $\psi(t)$ et son contenu fréquentiel penchera vers les hautes fréquences du plan d'analyse.

Si $a > 1$, l'ondelette $\psi_{a,b}(t)$ est très large, et le contenu fréquentiel penchera vers les basses fréquences du plan d'analyse [44].

Il existe plusieurs types de transformée en ondelette ; les principaux sont :

IV.2.1 La transformée en ondelette continue (TOC)

La transformée en ondelette continue est une fonction de deux paramètres « a » pour les paramètres d'échelle, et « b » pour les paramètres de translation.

Elle est semblable à la transformée de Fourier à fenêtre glissante, seulement cette dernière utilisée pour l'analyse est variable en fonction du temps [44].

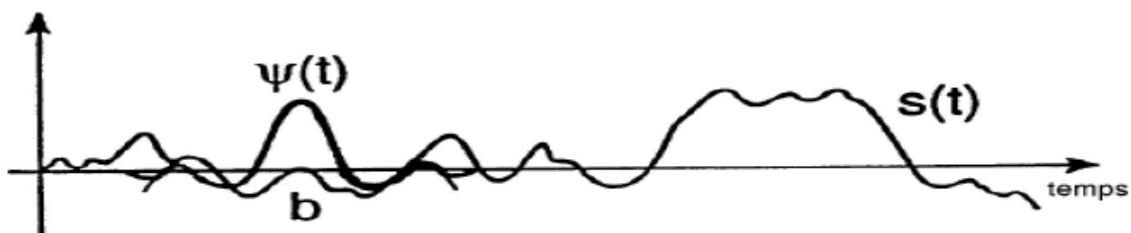


Fig. IV.1. Balayage de l'ondelette sur signal pour calculer « TOC » [44]

La transformée en ondelette continue d'une fonction $x(t) \in L^2(\mathbb{R})$ est définie dans le domaine temporel par le produit scalaire suivant [44].

$$XTO(a,b) = \langle x, \psi_{a,b} \rangle \quad (IV.2)$$

Alors,

$$XTO(a,b) = \frac{1}{\sqrt{a}} \int_{-\infty}^{+\infty} X(t) \psi^*\left(\frac{t-b}{a}\right) dt \quad (IV.3)$$

En effectuant le changement de variable $t_1 = t/a$ on aura :

$$XTO(a, b) = \sqrt{a} \int_{-\infty}^{+\infty} X(at_1) \psi^* \left(t_1 - \frac{b}{a} \right) dt_1 \tag{IV.4}$$

Avec,

b: est le paramètre de localisation temporelle.

a : est le paramètre de localisation fréquentielle.

\sqrt{a} : permet d'assurer la même énergie pour l'ondelette dilatée.

IV.2.2 La transformée en ondelette discrète (TOD)

La TOD utilise un facteur d'échelle et une translation discrétisée. La transformée en ondelettes discrète est issue de la version continue. Dans ce cas les paramètres a et b deviennent [44]:

$$a = a_0^m \text{ et } b = nb_0 a_0^m \quad n, m \in \mathbf{Z}$$

Avec,

a_0 : est un paramètre de dilatation.

b_0 : est un paramètre de translation.

On appelle transformée en ondelette discrète toute base d'ondelette travaillant avec un facteur d'échelle $a = 2^n$. [44].

IV.2.3 La transformée en paquet d'ondelettes

L'arbre de décomposition en paquets d'ondelettes est leur représentation dans la Fig. (IV.2).

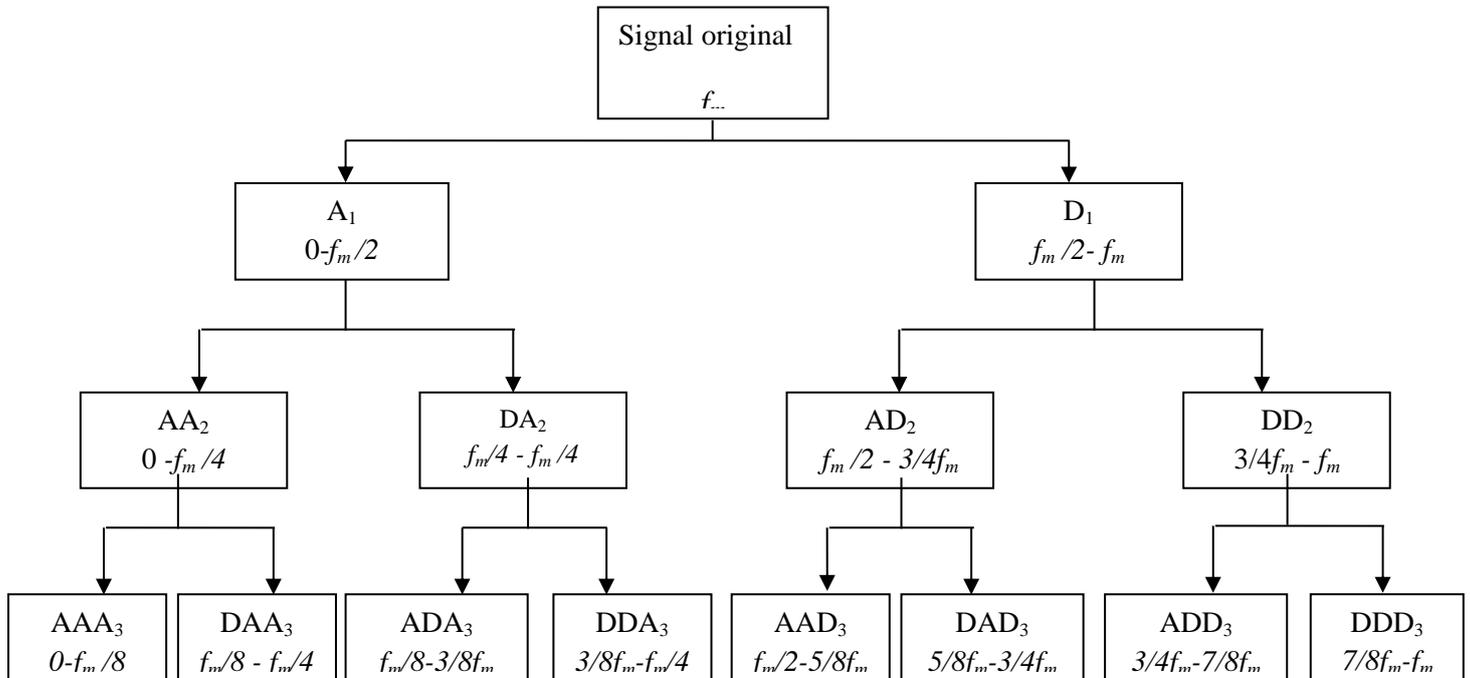


Fig. IV.2. Transformée en paquet d'ondelette [25,26]

Dans l'analyse en paquets d'ondelettes, les détails aussi bien que les approximations peuvent être décomposés. Ceci rapporte plus de $(2n+1)$ de différentes décompositions du signal.

La méthode de paquets d'ondelettes est une généralisation de la décomposition en ondelettes qui offre une gamme plus riche de possibilités pour l'analyse du signal. L'approximation est alors elle-même coupée en approximation et détail de deuxième niveau, et le processus est répété. Pour une décomposition de « n »niveau, il y a $(n+1)$ manières possibles de décomposition ou coder le signal [44].

IV.2.4. Choix de l'ondelette et du nombre de niveaux de calcul pour la décomposition

Pour chacune des approches de diagnostic basées sur la décomposition en ondelettes, le nombre de niveau doit être choisi judicieusement afin de permettre aux signaux à niveau élevé (approximation et détails) de couvrir toute la gamme des fréquences le long desquelles le composant dû aux défauts change pendant tous les régimes de fonctionnement. À partir de la condition (IV.5), on peut calculer le nombre minimum de niveaux de décomposition nécessaire pour obtenir un signal d'approximation de sorte que la limite supérieure de sa bande de fréquence associée soit sous ou au voisinage de la fréquence fondamentale [44]:

$$2^{-(n_{ls}+1)}f_s < f \text{ (IV.5)}$$

En effet, le niveau de décomposition du signal d'approximation qui inclut les harmoniques autour du fondamental, est le nombre entier (n_{ls}) exprimé par l'équation (IV.6) :

$$n_{ls} = \text{int} \left(\frac{\log\left(\frac{f_s}{f}\right)}{\log(2)} \right) \text{ (IV.6)}$$

Avec «int» pour les entiers, f_s : fréquence d'échantillonnage, f : fréquence principale.

Donc pour une fréquence d'échantillonnage de 20KHz, et pour la fréquence de rotation de 16.67 Hz, en appliquant l'équation (IV.6), le nombre de décomposition recommandé est :

$$n_{ls} = \text{int} \left(\frac{\log\left(2 \cdot \frac{10^4}{16.67}\right)}{\log(2)} \right) = 10 \text{ (IV.7)}$$

Le choix de l'ondelette (type et ordre) adaptée à l'analyse des signaux comme ceux des courts-circuits n'est pas une chose aisée pour atteindre l'objectif escompté. Dans le souci de répondre au choix délicat du type d'ondelette et de son ordre, et afin de mettre plus en relief l'analyse de ces types de signaux en fonction de l'importance de leurs souffles surajoutés, Le nombre approprié de

niveaux de la décomposition (n_{ls}) dépend de la fréquence d'échantillonnage (f_s) du signal à analyser [44].

IV.3 Modèle triphasé équivalent d'une machine asynchrone déséquilibrée au stator (modèle de x-chang)

Le modèle de la machine en présence de défaut de court-circuit [8], [9] est obtenu à partir des équations électrique et magnétique de la machine asynchrone, **Xianrong Chang et al**, propose une matrice de transformation T pour transformer les variables du rotor en nouvelles variables ayant la même pulsation du stator.

Les équations (IV.8), (IV.9), (IV.10) et (IV.11) représentent le nouveau modèle triphasé dans lequel tous les paramètres peuvent être calculés en ligne. (Voir la démonstration complète dans [8] et [9]) :

$$[U_s] = [R_s][I_s] + [P\psi_s] \quad (IV.8)$$

$$[0] = [R_r][I_r^s] + (1 - g)\Omega[K_{rs}^{sp}][\psi_r^s] + P[\psi_r^s] \quad (IV.9)$$

$$[\psi_s] = [M_s][I_s] + [M_{sr}^s][I_r^s] \quad (IV.10)$$

$$[\psi_r^s] = [M_{rs}^s][I_s] + [M_r^s][I_r^s] \quad (IV.11)$$

Avec :

P : désigne l'opérateur différentiel $\frac{d}{dt}$

A partir les équations (IV.8), (IV.9), (IV.10) et (IV.11) on peut réécrire le nouveau modèle sous la forme suivante:

$$P[\psi_r^s] = [R_r][M_r^s]^{-1}[M_{rs}^s][I_s] - ([R_r][M_r^s]^{-1} + (1 - g)\Omega[K_{rs}^{sp}])[\psi_r^s] \quad (IV.12)$$

$$P[I_s] = \Gamma^{-1}([U_s] - ([R_s] + [M_{sr}^s][M_r^s]^{-1}[R_r][M_r^s]^{-1}[M_{rs}^s])[I_s]) + \Gamma^{-1}[M_{sr}^s][M_r^s]^{-1}([R_r][M_r^s]^{-1} + (1g)\Omega[K_{rs}^{sp}])[\psi_r^s] \quad (IV.13)$$

Avec :

$$\Gamma \triangleq ([M_s] - [M_{sr}^s][M_r^s]^{-1}[M_{rs}^s]) \quad (IV.14)$$

Équation mécanique

D'après [7] si on considère les courants et les flux dans un repère triphasé :

$$C_{em} = \frac{P}{\sqrt{3}} (\psi_{sb} I_{sa} - \psi_{sc} I_{sa} - \psi_{sa} I_{sb} + \psi_{sc} I_{sb} - \psi_{sa} I_{sc} - \psi_{sb} I_{sc}) \quad (IV.15)$$

Dans le cas d'une alimentation triphasée sans neutre on a :

$$\begin{cases} I_{sa} = -I_{sb} - I_{sc} \\ \psi_{sa} = -\psi_{sb} - \psi_{sc} \end{cases} \quad (IV.16)$$

Ceci permet d'obtenir :

$$C_{em} = \sqrt{3} P (\psi_{sc} I_{sb} - \psi_{sb} I_{sc}) \quad (IV.17)$$

Étant données que ces équations obtenues sont non linéaires et qu'une méthode numérique doit être mise en œuvre pour parvenir à la solution, nous avons choisi la méthode classique de Runge Kutta d'ordre 4.

IV.4 La technique d'ondelette discrète et la limite de la FFT

La plupart des signaux du monde réel ne sont pas stationnaires, et c'est justement dans l'évolution de leurs caractéristiques (statistiques, fréquentielles, temporelles, spatiales) que réside l'essentiel de l'information qu'ils contiennent. Alors l'analyse de Fourier propose une approche globale du signal, les intégrations sont faites de moins l'infini à plus l'infini, et toute notion de localisation temporelle disparaît dans l'espace de Fourier. Il faut donc trouver un compromis, une transformation qui renseigne sur le contenu fréquentiel tout en préservant la localisation afin d'obtenir une représentation temps/fréquence ou espace/échelle du signal.

La FFT montre ses limites dès lors où elle ne donne pas la localisation temporelle de ses composantes fréquentielles représentées par les pics du spectre. En fait, cette information est cachée dans la phase du spectre [13] [45].

Dans ce cas, la solution est de calculer les spectres instantanés pour chaque pas temporel du signal. Les outils pour atteindre ce but sont appelés techniques d'analyse temps – fréquence [13] [46].

Plusieurs méthodes existent et aucune ne prédomine sur l'autre. Leur utilisation va dépendre de l'application visée et des avantages et des inconvénients de chacune pour faire apparaître les informations recherchées. Trois méthodes sont détaillées par la suite :

- La transformée de FOURIER à fenêtre glissante
- La transformée par filtrage numérique court terme (TFNCT)
- La transformée de Wigner – Ville (TWV)
- La transformée en Ondelettes (WT : Wavelets transform)

L'augmentation de puissance des ordinateurs a permis de mettre en application les modèles numériques de ces transformées et donc d'obtenir les descriptions temps fréquence des signaux non stationnaires.

La DWT est une technique efficace et puissante qui fournit une représentation temps-fréquence d'un signal non stationnaire avec une meilleure résolution temporelle de la transformée de Fourier [13].

C'est une extension de la transformées de Fourier de courte durée (STFT) qui ont une longueur de fenêtre constante. DWT permet d'analyser les composantes à haute fréquence avec des courts intervalles de temps, et les composantes des basses fréquences avec des longs intervalles de temps [13].

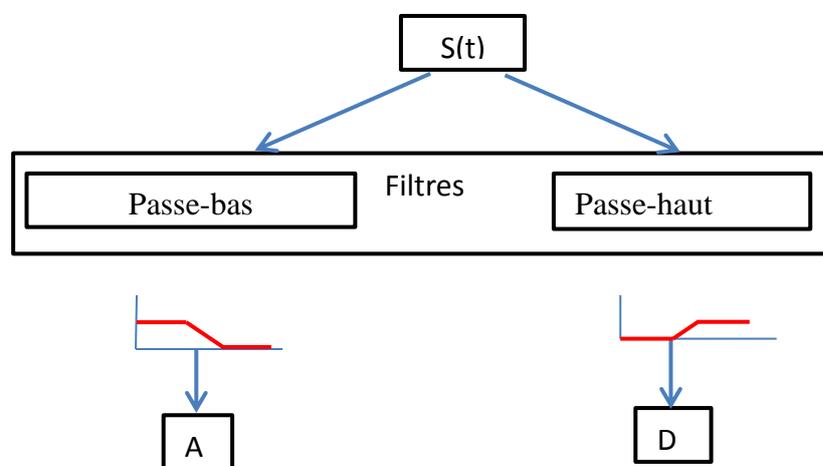


Fig. IV.3: Décomposition du signal $S(t)$

La Fig. IV.3, montre que la transformée en ondelettes qui peut aussi être considérée comme un processus de décomposition du signal en approximations et en détails, si le signal d'origine $S(t)$, traverse deux filtres complémentaires, passe-haut et passe-bas, et émerge en tant que deux signaux respectivement le signal d'approximations A et le signal de détails. Cette décomposition permet de construire un arbre de décomposition dont chaque niveau correspond à une bande de fréquence (Fig. IV.7).

Tableau. IV.1: L'étude comparative des différentes méthodes d'analyse vibratoires [13] [48] [49]

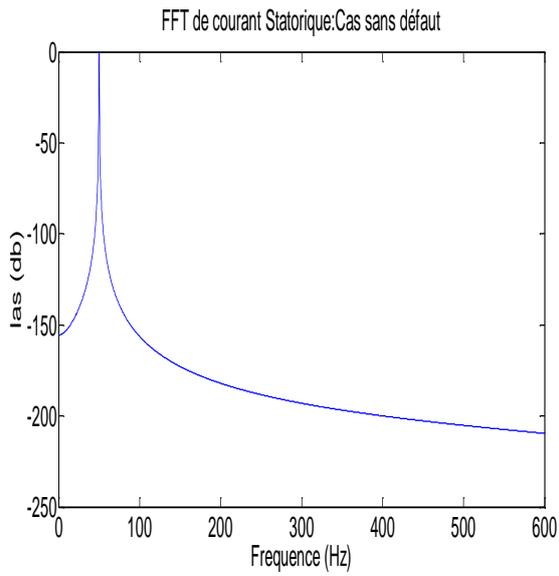
Les méthodes de traitement du signal	Avantage (but)	Inconvénient (limite)
Fast Fourier Transform (Transformée de Fourier Rapide) (TFR)	*Bien adaptée aux signaux stationnaires. . . *Excellente résolution fréquentielle.	*Ne permet pas d'obtenir d'information temporelle. * Analyse globale.
Short Time Fourier Transform (STFT) Transformée de Fourier de courte durée	* Beaucoup de précision par rapport au FFT. * Analyser le spectre sur des morceaux du signal.	*Fenêtre d'analyse fixée a priori. *Compromis précision temporelle / fréquentielle.
Wavelets (Ondelettes)	* Les ondelettes permettent une décomposition multi-échelle. * Elle permet d'obtenir l'information fréquentielle et temporelle simultanément.	* Les ondelettes ne peuvent pas résoudre tous les problèmes et il reste beaucoup de limitation propre aux ondelettes. * Transformée en ondelettes discrète a une résolution de fréquence très limitée et parfois la fonction de recherche est étalé sur deux échelles et ne peut pas être clairement détecté. .

IV.5 Résultat de simulation de la machine asynchrone saine et avec court-circuit de 10% dans la phase A

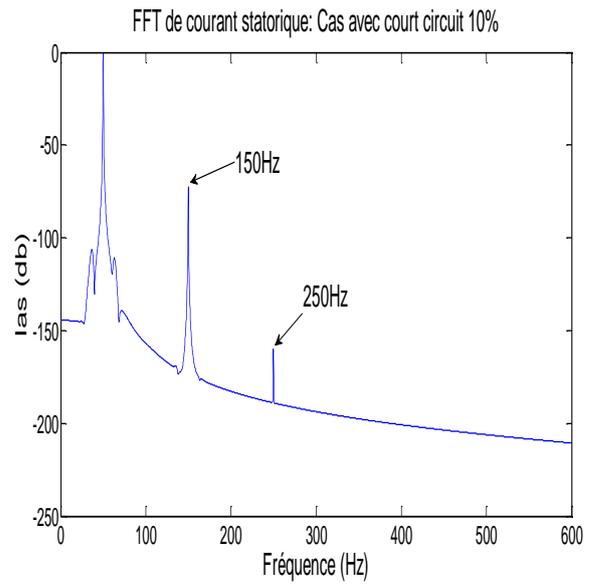
IV.5.1 Application de la technique FFT au diagnostic

Nous allons maintenant nous intéresser à ce même modèle mais lorsque le stator présente une défaillance électrique de court-circuit de 10% dans la phase A. Ainsi nous traduirons cela par l'augmentation de pourcentage de coefficient f_{sa} d'un facteur égal à 10 %. Cette défaillance sera créée à l'instant $t=1$ secondes.

D'après les figures II.1 (Chapitre II), en remarque que l'analyse directe de l'amplitude du courant dans le domaine temporel est difficile et par conséquent il est conseillé de traiter le signal afin d'en ressortir les données plus représentatives. C'est donc en utilisant la transformée de Fourier Rapide (FFT) que nous pouvons mettre en évidence des critères plus représentatifs telles que l'apparition de raies de fréquences $k.f_s$ à proximité du fondamental (avec $K=1,3,5,7\dots$) [32] et [37] sur le spectre de courant statorique (Fig. IV.4) et $2.k.f_s$ (avec $k=1, 2,3,\dots$) sur le spectre de vitesse(Fig. IV.5).

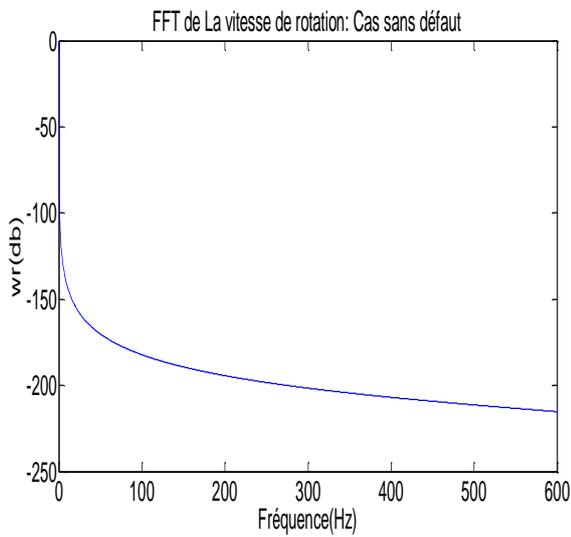


(a)

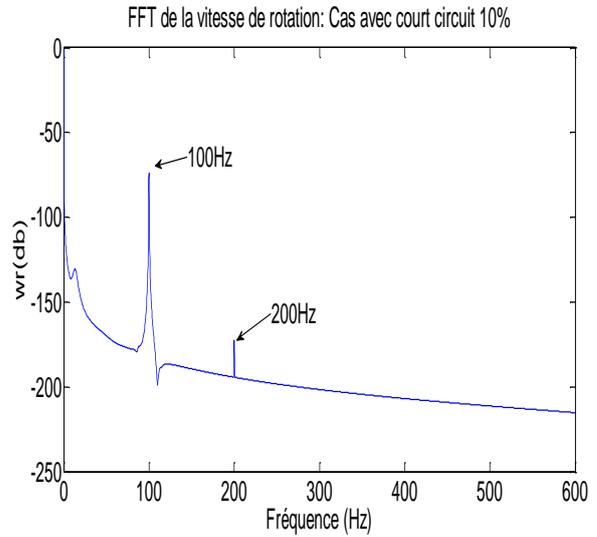


(b)

Fig.IV.4: FFT du courant en charge ($t=0.4s$; $C_r=3.5N.m$) en régime permanent
((a) : cas sain, (b) : avec défaut (Court-circuit de 10% à $t=1s$ dans la phase A)



(a)



(b)

Fig.IV.5: FFT de la vitesse en charge ($t=0.4s$; $C_r=3.5N.m$) en régime permanent
((a) : cas sain, (b) : avec défaut (Court-circuit de 10% à $t=1s$ dans la phase A)

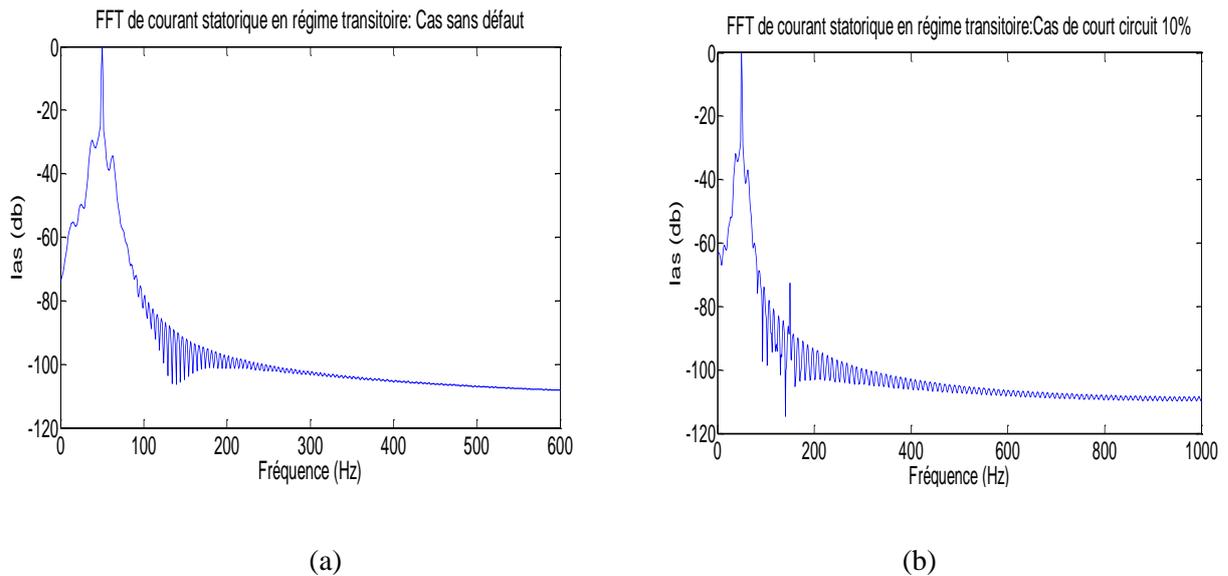


Fig.IV.6: FFT du courant en charge ($t=0.4s$; $C_r=3.5N.m$) en régime transitoire ((a) : cas sain, (b) : avec défaut (Court-circuit de 10% au démarrage dans la phase A)

Nous effectuons une analyse spectrale du courant d'une phase statorique et en même temps de la vitesse rotorique avec un fenêtrage de type Hanning en régime permanent. Le résultat de cette analyse pour un moteur sain est illustré sur la Figure IV.4 (a). Seul la raie due au fondamental (50Hz) apparaît sur le spectre du courant statorique. Cela est tout à fait normal étant donné que le moteur asynchrone son modèle ne présente aucun défaut et que le fondamental de la force magnétomotrice est considéré sinusoïdale le long de l'entrefer.

Une analyse spectrale du courant statorique d'un moteur défaillant fait apparaître trois pics, le premier correspond à la fréquence fondamentale 50Hz et les autres à 150Hz (donc $K=3$) et 250Hz (donc $K=5$) qui signifie les fréquences de court-circuit (Figure IV.4 (b)). Mais il y a d'autres fréquences qu'on ne peut pas localiser sur le spectre de courant statorique avec un défaut de court-circuit.

Les résultats de simulation montrent l'influence du défaut de court-circuit sur le comportement mécanique et électrique de la machine et la possibilité de d'extraire des signatures pour détecter et localiser les anomalies.

En remarquant aussi, dans ce travail, qu'on peut identifier le défaut de court-circuit sur le spectre de la vitesse rotorique sans commande (Figure IV.5 (a)). Dans le cas contraire [50], l'identification de présence du défaut dans la machine asynchrone par l'analyse du spectre de vitesse est très difficile si la machine est commandée par un observateur de type Luenberger en raison des

actions de boucle de contrôle sur la vitesse rotorique. C'est-à-dire la pulsation de la vitesse du rotor est compensée toujours par le système de commande.

L'approche de la FFT est une méthode très efficace et largement utilisé dans le traitement du signal stationnaire ou en régime permanent puis que dans le domaine temporel ce signal peut perdre certaines informations. Par contre le signal du courant statorique en régime transitoire est riche en information fréquentielle mais à cause de sa faible durée, il limite le nombre de points d'acquisition, ce qui rend l'analyse difficile et moins précise par l'analyse FFT (Figure IV.6 (a) et (b)). Cependant notre signal est non stationnaire cela rend cette méthode inefficace et mène à l'introduction des techniques d'analyse temps – fréquence.

IV.5.2 Application de la technique des ondelettes au diagnostic

La deuxième approche, est concentrée sur l'analyse des signaux à un niveau élevé de détail résultant de la décomposition en ondelettes, dont les bandes de fréquence associées sont incluses de 0 jusqu'à la fréquence d'alimentation. Pour analyser la non-stationnarité qui se produit dans le courant statorique lors d'un court-circuit dans la phase A ou dans le régime transitoire[51]. Nous avons procédé à la décomposition du signal de courant statorique de la phase A en multi-niveaux par la transformée en ondelettes discrète en utilisant l'ondelette mère «Daubechies (by40db) ». Le niveau n de décomposition nécessaire dépend de la fréquence d'échantillonnage f_e et la fréquence f_s d'alimentation et peut être calculé d'après la relation (IV.18) [38][39] :

$$n > \frac{\log(\frac{f_e}{f_s})}{\log(2)} + 1 \quad (\text{IV.18})$$

Avec :

Fréquence d'échantillonnage $f_e=2000$ échantillons / s ;

Fréquence d'alimentation $f_s=50\text{Hz}$. La Figure IV.7 montre la bande de fréquence pour chaque niveau.

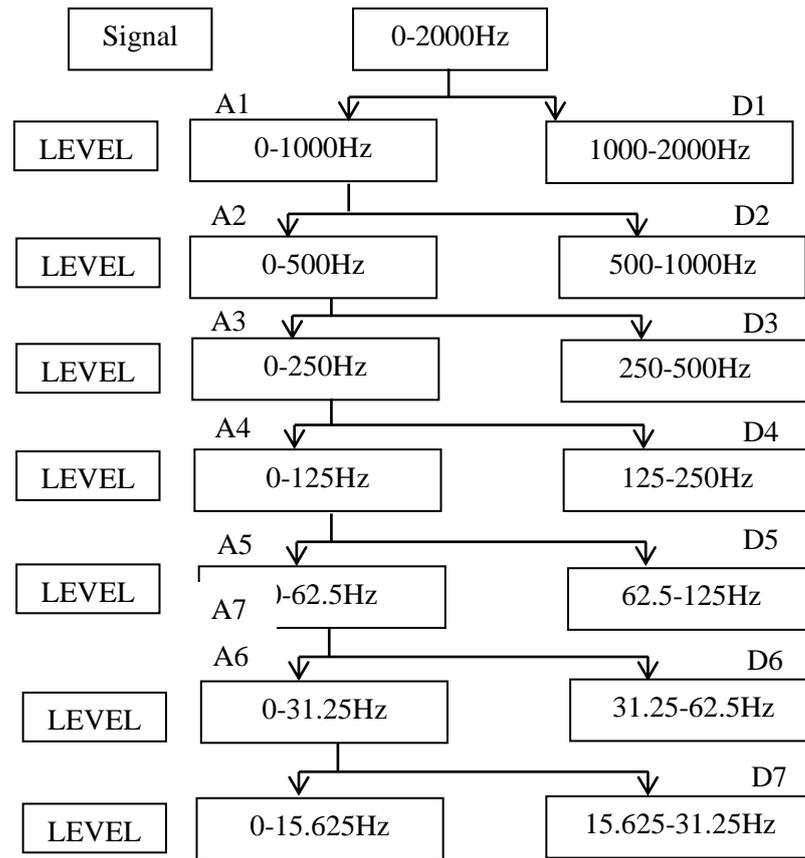


Fig.IV.7 :Arbre de décomposition de signal avec une fréquence d'échantionnage 2000Hz[51]

Les Figures (IV.8, IV.9 et IV.10) représentent les signaux de détail et d'approximation ($D3$, $D4$, $D5$, $D6$, $D7$ et $A7$) obtenus par la décomposition en multi-niveaux dans les trois cas suivants : machine saine, machine avec un court-circuit de 10% dans le régime permanent et aussi un court-circuit de 10% pendant le démarrage.

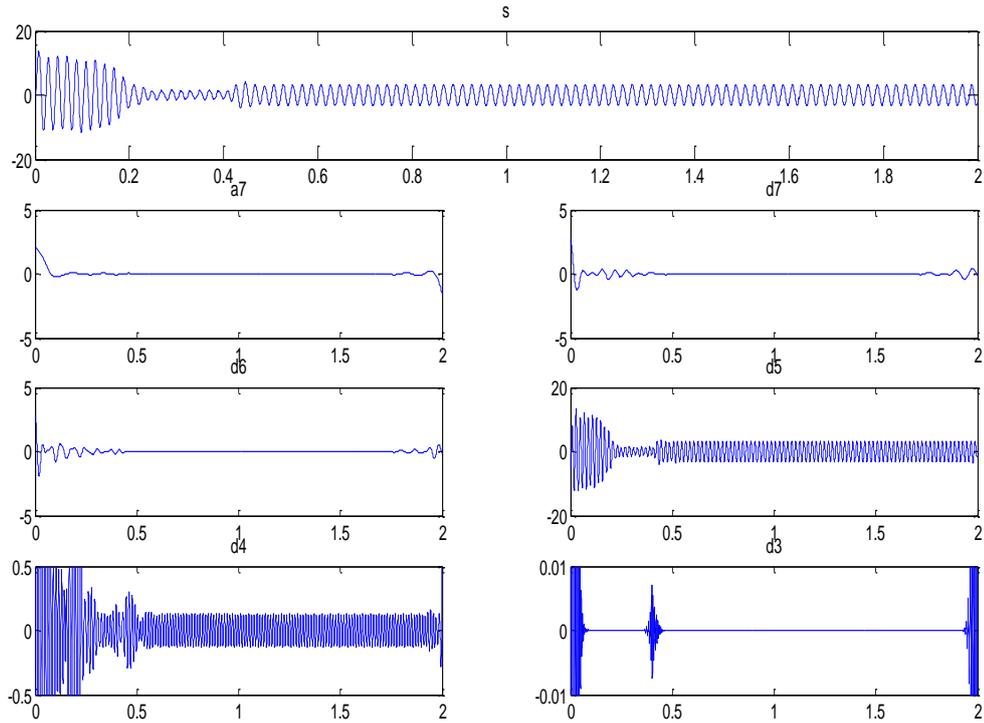


Fig.IV.8 : La DWT du Courant d'une phase statorique en charge ($t=0.4s$; $Cr=3.5N.m$) (cas non défaillant)

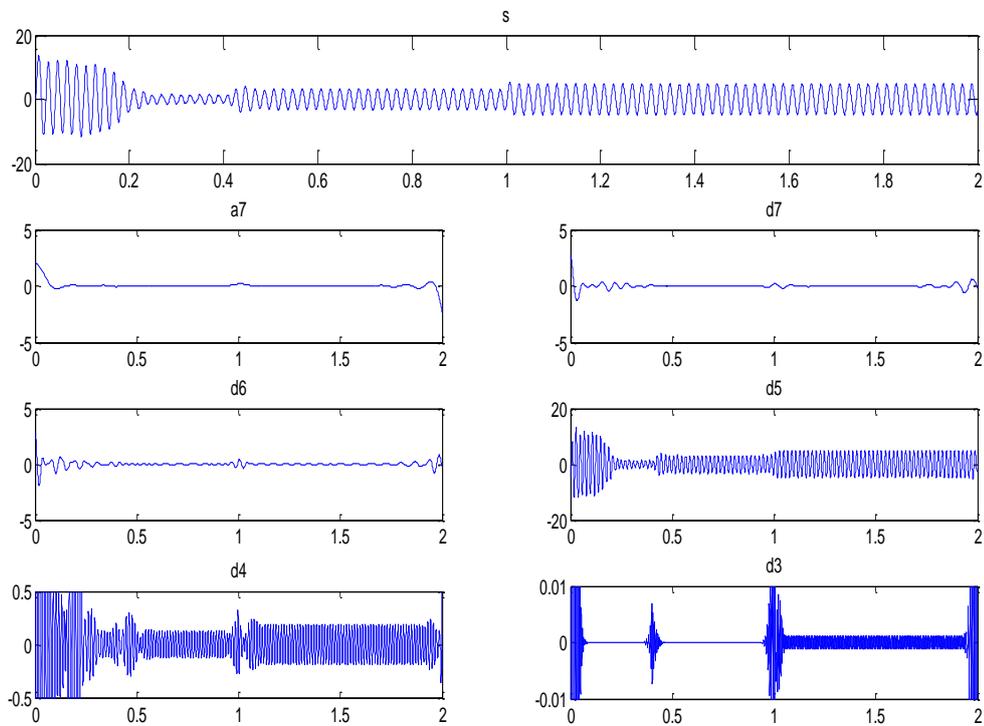


Fig.IV.9: La DWT du Courant d'une phase statorique en charge ($t=0.4s$; $Cr=3.5N.m$) (cas défaillant : court-circuit de 10% à $t=1s$ dans la phase A)(régime permanent)

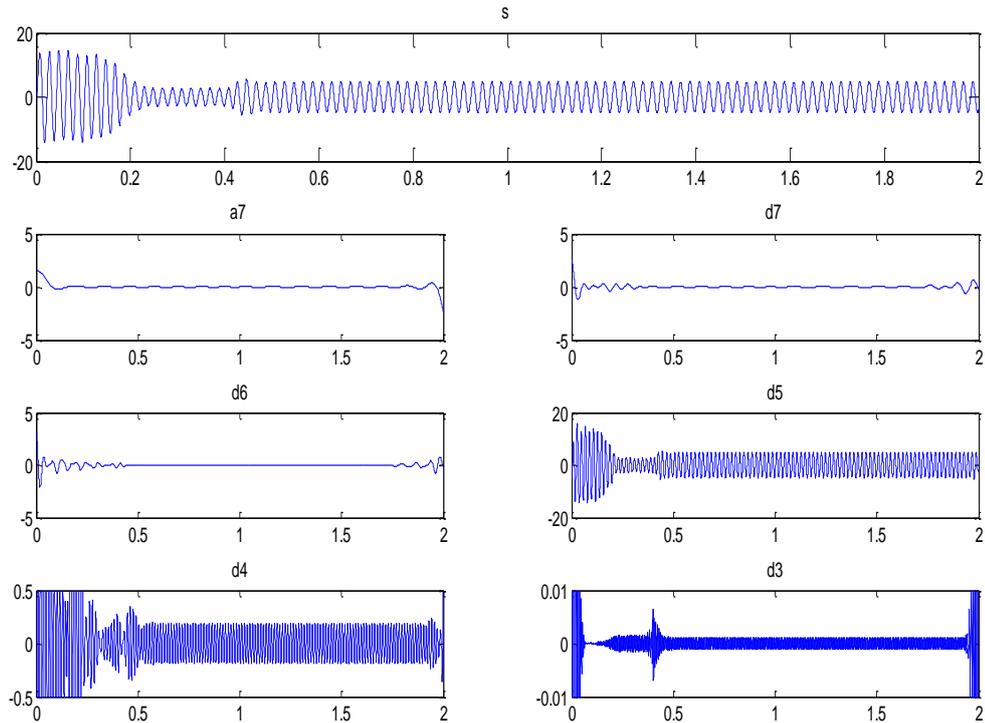


Fig.IV.10 : La DWT du Courant d'une phase statorique en charge ($t=0.4s$; $Cr=3.5N.m$) (cas défaillant : court-circuit de 10% au démarrage dans la phase A) (régime transitoire)

Comparons les signaux de détail et d'approximation obtenus des machines avec défauts dans les deux régimes (Figure IV.9 et IV.10), l'amplitude des coefficients $D3$, $D4$, $D5$ et $A7$ est augmentée par rapport à la machine saine (Figure IV.8). Cette augmentation de l'amplitude dans les signaux $D3$, $D4$, $D5$ et $A7$ est due à l'effet que les bandes de fréquences correspondantes sont affectées par le défaut de court-circuit dans les différents types de régime de fonctionnement. Cet effet est interprété par la variation de l'énergie relative associée à chaque niveau de décomposition dans les bandes des signaux $D3$, $D4$, $D5$ et $A7$ dans le cas de défaut par rapport au cas sain, qui nous permet de différencier également la machine saine de celles défectueuses .

On constate que l'utilisation de la technique des ondelettes permet d'extraire et de localiser le point de la non-stationnarité dans les signaux non stationnaires. La non-stationnarité qui accompagne le court-circuit d'une phase statorique est extraite beaucoup plus dans les deux signaux de détail $D3$ et $D4$.

Cette configuration caractéristique des signaux à niveau élevé $D5$ (la bande de fréquence : 62.5-125Hz), $D4$ (la bande de fréquence : 125-250Hz) et $D3$ (la bande de fréquence : 250-500Hz) dans le courant de démarrage tiennent compte d'un diagnostic fiable de court-circuit.

IV.6 Conclusion

Un aperçu sur les techniques de diagnostic par ondelette soit en continues ou en discrètes appliqués aux signaux a été bien détaillé dans ce chapitre. Etant donné que les méthodes de diagnostic de défaut basées sur l'approche FFT pour les signaux stationnaires ou dans le régime permanent est très efficace et largement utilisé pour détecter et localiser les défauts sur le comportement de la machine, Malheureusement la FFT est une méthode inefficace dans le cas d'un signal non stationnaire. Cela nous oblige à utiliser la technique d'ondelette (DWT en anglais Discret Wavelets Transform) non seulement pour détecter et localiser les défauts (par exemple un court-circuit) au niveau du stator mais aussi pour localiser leur fréquence par la décomposition du signal de courant statorique en multi-niveaux.

Cette technique propose une analyse très fine des signaux qui permettra par la suite de construire un outil très efficace dans le domaine de traitement du signal en vue de diagnostiquer les machines asynchrones.

L'application de la transformée en ondelettes discrète a menée à des résultats très significatifs en terme de défauts. La décomposition directe du courant statorique en multi-niveaux a donné une image réelle sur le défaut statorique de la machine asynchrone. La détection du non stationnarité engendrée par le courant statorique lors du court-circuit est obtenue par la décomposition en multi-niveaux.

CONCLUSION GENERALE

Conclusion générale

Dans ce travail, on a choisi comme modèle d'état de la machine asynchrone, le modèle triphasé de X Chang parce qu'il prend en considération le cas de déséquilibre dans l'enroulement statorique. Ce choix est basé sur la nature de défaut à étudier (court-circuit) et en plus la facilité d'utilisation de ce modèle pour le diagnostic et la surveillance. Certains paramètres du modèle triphasé de la machine asynchrone sous sa forme classique varient en fonction de la position relative entre le stator et le rotor. Cette position étant inconnue lorsque le rotor est en rotation.

En conséquence ce travail a été consacré à la modélisation en présence de défaut statorique et à l'utilisation des méthodes de diagnostic en vue de la surveillance des entraînements électriques, et plus particulièrement la machine asynchrone à cage d'écureuil.

Cette étude a deux objectifs principaux, le premier est la modélisation et la simulation des défauts statorique (court-circuit). Tandis que le second est l'utilisation de deux méthodes d'analyses du signal en vue de diagnostiquer et de détecter les défauts dans la machine, l'une à base de la transformation de Fourier rapide(FFT) et l'autre à base de la transformation d'ondelette (DWT).

Pour mener cette étude, une modélisation et une simulation du défaut de court-circuit entre spires de la phase A_s est présentée. Un modèle simple basé sur l'association de modèles réellement représentatifs des défauts avec le mode commun (sain) et le mode différentiel (avec défaut) est employé. Deux techniques de détections sont utilisées où l'effet du défaut se manifeste par l'analyse FFT du courant statorique à travers l'apparition des raies de défaut à la fréquence de 150Hz et 250Hz pour ce types de défauts cela rend le diagnostic délicat (ressemblance).

Les résultats obtenus montrent que la FFT peut indiquer la présence du défaut de court-circuit par la présence des raies. Les résultats obtenus aussi par l'analyse du courant statorique par l'ondelette est acceptable et motivante surtout en régime variable (régime non stationnaire).

En ce qui concerne le moteur asynchrone, il est évident qu'il y a beaucoup de points à traiter, d'autres défauts plus complexes comme un court-circuit entre les spires et les défauts d'excentricité devront être bien traités.

Les approches proposées, basées sur la transformée en ondelettes discrète du signal, peuvent être prolongées pour le diagnostic et la discrimination entre d'autres types de défauts dans les machines électriques.

Dans ce travail, toutes les applications récentes ont été divisées en trois aspects principaux, y compris l'analyse de temps-fréquence des signaux, l'extraction de défaut, la détection de singularité pour des signaux et l'extraction des signaux faibles ainsi que la décomposition des signaux et l'identification du défaut. Une particularité de la technique des ondelettes, la détection de la non-stationnarité dans un signal est exploitée à travers une décomposition du courant statorique lors de court-circuit d'une phase. Les résultats montrent l'efficacité de la technique dans ce type de défauts et peut être plusieurs défauts similaires tels que les régimes transitoires.

Finalement comme perspective, on propose d'utiliser ce modèle pour la commande robuste des défauts de court-circuit ou bien les commandes tolérants aux défauts ainsi que l'application d'autre méthodes de diagnostic comme l'espace de parité ou les méthodes de redondance analytique en général.

Annexe

Paramètre de la machine :

P	La puissance utile	1.1Kw
P	Le nombre de paires de pôles	2
R _r	Résistance rotorique	3.58Ω
R _s	Résistance statorique	10.4Ω
M	Inductance mutuelle	0.44H
L _{sσ}	Inductance cyclique du Stator	0.0566H
L _{rσ}	Inductance cyclique du rotor	0.017H

Bibliographie

- [1] Medoued Ammar « Surveillance et diagnostic des défauts des Machines électriques : applications aux moteurs asynchrones » thèse de Docteur en Sciences, Université du 20 Août 1955-Skikda, le 08 / 03 / 2012.
- [2] Makara KHOV « Surveillance et diagnostic des machines synchrones à aimants permanents : Détection des courts-circuits par suivi paramétrique » doctorat de l'université de Toulouse, le 17/12/2009.
- [3] DilekDü, stegör. Vincent Cocquempot. Marcel Staroswiecki et Erik Frisk « Isolabilité structurelle des défaillances Application à un modèle de vanne » RS, JESA. Volume 38 – n° 1-2/2004, pages 103 à 123.
- [4] S.Bachir, S Tnani, J.C.Trigeassou, et G.Champenois « Diagnosis by parameter estimation of stator and rotor faults occurring in induction machines ».EPE'01, Graz, Autriche, Août 2001.
- [5] T. Boumegoura. « Recherche de signature électromagnétique des défauts dans une machine asynchrone et synthèse d'observateurs en vue de diagnostic ». Thèse Doctorat Ecole centrale de Lyon. Mars 2001.
- [6] E.Schaeffer « Diagnostic des machines asynchrones: modèles et outils paramétriques dédiés à la simulation et à la détection de défauts ». PhD thèses, Université de Nantes 6, France, Décembre 1999.
- [7] Hubert Razik, Green-Uhp « Le contenu spectral du courant absorbe par la Machine asynchrone en cas de défaillance : Un état de l'art ». La revue 3EI n°29, pages 48-52, juin 2002.
- [8] Xianrong Chang, Vincent Cocquempot, and Cyrille Christophe « A Model of Asynchronous Machines for Stator Fault Detection and Isolation » IEEE transactions on industrial electronics, vol.50N°3, June 2003.
- [9] X.Chang, V.Conquempot, C. Christophe, « Modélisation de la machine asynchrone en présence de pannes du stator », CEEI-France 23-25 Oct. 2002.
- [10] Youcef Soufi « Modélisation et diagnostic d'une association convertisseur machine électrique » Thèse de Doctorat en Sciences ; Université de Annaba 2012 Algérie.
- [11] Green-Uhp, Hubert Razik « Sur la détection d'un défaut au rotor des moteurs asynchrones ». La revue 3EI n°27, juin 2001.
- [12] Roland Casimir « Diagnostic des défauts des machines asynchrones par reconnaissance des formes » Thèse de Doctorat, Ecole Centrale de Lyon, France 2003
- [13] ChinmayaKar, A.R. Mohanty « Monitoring gear vibrations through motor current signature analysis and wavelet transform » Mechanical Systems and Signal Processing 20 (2006) 158–187.

-
- [14] M. Benkaci, "Surveillance des systèmes mécatronique d'automobile par des méthodes d'apprentissage." Université de Toulouse, Université Toulouse III-Paul Sabatier, 2011.
 - [15] khenfer Riad « Détection et isolation de défauts combinant des méthodes à base de données appliquées aux systèmes électro-énergétiques » thèse de Docteur en Sciences Université Ferhat Abbes - Setif-1.le 05 Mars 2015.
 - [16] H. Hacene, "Identification et surveillance de processus dynamiques complexes par logique floue. Application à un échangeur de chaleur." Université M'hamed Bougara de Boumerdès, 2007.
 - [17] D. Berdjag, "Méthodes algébriques pour la décomposition de modèles comportementaux: Application à la détection et à la localisation de défaillances." Université des Sciences et Technologie de Lille-Lille I, 2007.
 - [18] R. Fellouah, "Contribution au diagnostic de pannes pour les systèmes différentiellement plats." INSA de Toulouse, 2007.
 - [19] F. Castang, "Synthèse robuste de filtres de diagnostic pour la surveillance à base de modèle des systèmes multivariables et incertains." Bordeaux 1, 2003
 - [20] C. Christophe, "Surveillance des systèmes non linéaires: Application aux machines électriques." 2001.
 - [21] R. J. Patton, "Fault detection and diagnosis in aerospace systems using analytical redundancy," *Comput. Control Eng. J.*, vol. 2, no. 3, pp. 127–136, 1991.
 - [22] R. Mrani Alaoui, "Conception d'un module de diagnostic à base de suites de bandes temporelles en vue de la supervision des procédés énergétiques: application en ligne à un générateur de vapeur." Lille 1, 2004.
 - [23] H. Derbel, "Diagnostic à base de modèles des systèmes temporisés et d'une sous-classe de systèmes dynamiques hybrides." Université Joseph-Fourier-Grenoble I, 2009.
 - [24] Leila Nacib , Salah Saad, Saadi Sakhara, "A Comparative Study of Various Methods of Gear Faults Diagnosis", *Journal of Failure Analysis and Prevention*; October 2014, Volume 14, Issue 5, pp 645-656.
 - [25] G. Didier, "Modélisation et diagnostic de la machine asynchrone en présence de défaillances," These Dr. l'université Henri Poincaré, Nancy-I, 2004
 - [26] R. Bensaadi and H. Mouss, "Diagnostic de défaillances par Reconnaissance de Formes."
 - [27] O. Ondel, "Diagnostic par reconnaissance des formes: Application à un ensemble convertisseur-machine asynchrone." Ecole Centrale de Lyon, 2006.
 - [28] A. O. Molina, "Methodologie pour le placement des capteurs à base de méthodes de classification en vue du diagnostic." INSA de Toulouse, 2005.

-
- [29] J.-P. Haton and M.-C. Haton, L'intelligence artificielle. Presses universitaires de France, 1989.
 - [30] S. Guillaume and B. Charnomordic, "Systèmes d'inférence floue: collaboration expertise et données dans un environnement de modélisation intégrée à l'aide de FisPro," *Rev. d'intelligence Artif.*, vol. 1, p. 26, 2013.
 - [31] R. Mrani Alaoui, "Conception d'un module de diagnostic à base de suites de bandes temporelles en vue de la supervision des procédés énergétiques: application en ligne à un générateur de vapeur." Lille 1, 2004.
 - [32] S. Bachir, I. B. A. Bazine, T. Poinot, K. Jellassi, and J.-C. Trigeassou, "Estimation paramétrique pour le diagnostic des processus: Application à la bobine à noyau de fer," *J. Eur. des Systèmes Autom.*, vol. 42, no. 5, pp. 509–539, 2008.
 - [33] R. Fellouah, "Contribution au diagnostic de pannes pour les systèmes différentiellement plats." INSA de Toulouse, 2007.
 - [34] V. Cocquempot, "Contribution à la surveillance des systèmes industriels complexes." Université des Sciences et Technologie de Lille-Lille I, 2004.
 - [35] R. E. Kalman and R. S. Bucy, "New results in linear filtering and prediction theory," *J. Fluids Eng.*, vol. 83, no. 1, pp. 95–108, 1961.
 - [36] Nicolas Retiere « Étude des défauts dans les associations onduleur - machine asynchrone exemple d'une chaîne de traction » Thèse de doctorat, Institut National Polytechnique de Grenoble le 18/11/1997.
 - [37] Sakhara Saadi « Diagnostic dans un entraînement électrique : Composé d'un onduleur et un moteur à cage » Mémoire de magister, Université de Badji Mokhtar Annaba 2006.
 - [38] Aïcha ABED, "Contribution à l'étude et au diagnostic de la machine asynchrone", Thèse de Doctorat, l'Université Henri Poincaré, Nancy-I en Génie Electrique, le 28 mars 2002.
 - [39] Mohamed El Kamel Oumaamar « Surveillance et diagnostic des défauts rotoriques et mécaniques de la machine asynchrone avec alimentation équilibrée ou déséquilibrée » ; Thèse de doctorat ; Université de Lorraine 2012 France.
 - [40] Abdelmalek Khezzar, Member, IEEE, Mohamed YazidKaikaa, Mohamed El Kamel Oumaamar, Mohamed Boucherma, And Hubert Razik, Senior Member, IEEE, "On The Use Of Slot Harmonics As A Potential Indicator Of Rotor Bar Breakage In The Induction Machine", *IEEE Transactions On Industrial Electronics*, Vol. 56, No. 11, November 2009, pp. 4592–4605.
 - [41] Adrian Ceban, " Méthode Globale De Diagnostic Des Machines Electriques", Thèse de Doctorat, l'Université Discipline : Génie Électrique, Université Lille de Nord de France – École doctorale SPI Université d'Artois – Laboratoire Systèmes Électrotechniques et Environnement, présentée et soutenue publiquement le 2 février 2012.

-
- [42] K.Konan, and all « A new stator model to study induction machine winding short-circuits» ICEM'98, Istanbul, Turkey, 3:1516-1521, September 1988;
 - [43] H.Henao and all « A circuit-oriented model of induction machine for diagnostics », IEEE SDEMPED, Carry-le-Rouet, France, pages 185-190, September 1997.
 - [44] Leila Nacib « Diagnostic Des Défauts Dans Les Machines Tournantes Par L'analyse Vibratoire » thèse de Docteur en Sciences, Université Badji Mokhtar- Annaba le 04 / 10 / 2015.
 - [45]: ChinmayaKar, A.R. Mohanty « Monitoring gear vibrations through motor current signature analysis and wavelet transform » Mechanical Systems and Signal Processing 20 (2006) 158–187.
 - [46]: RidhaKechida, ArezkiMenacer, Hicham Talhaoui « Approach Signal for Rotor Fault Detection in Induction Motors» J Fail. Anal. andPreven. (2013) 13:346–352.
 - [47]: P Shakya, A K Darpe and M S Kulkarni « Vibration-based fault diagnosis in rolling element bearings: ranking of various time, frequency and time-frequency domain data-based damage identification parameters »The International Journal of Condition Monitoring | Volume 3, Issue 2, October 2013.
 - [48] Gilles Houdouin, Georges Barakat, BrayimaDakyo, Eric Destobbeleer « A Method for the Simulation of Inter-Turn Short Circuits in Squirrel Cage Induction Machines »EPE-PEMC 2002 Dubrovnik, Cavtat.
 - [49] S. E. Zouzou, M. Sahraoui, A. Ghoggal, and S. Guedidi « Detection of Inter-Turn Short-Circuit and broken Rotor Bars in Induction Motors Using the Partial Relative Indexes: Application on the MCSA» ICEM 2010, Rome, 2010 IEEE.
 - [50] Hicham Talhaoui, ArezkiMenacer, AbdelhalimKessal, RidhaKechida « Fast Fourier and discrete wavelet transforms applied to sensorless vector control induction motor for rotor bar faults diagnosis»; ISA Transactions, ELSEVIER,2014.
 - [51] Saadi Sakhara, Salah Saad, Leila Nacib, “Diagnosis and detection of short circuit in asynchronous motor using three-phase model”, Int J Syst Assur EngManag, DOI 10.1007/s13198-016-0435-1