

Introduction

Malgré les qualités remarquables des machines asynchrones, il est bien possible que ce type de machines présente des défaillances causées par un vieillissement prématuré dû à des contraintes de différentes origines. Si celles-ci ne sont pas décelées en amont de la panne totale, il sera difficile de prévoir les conséquences sur le rendement de l'installation. C'est pour cette raison que les méthodes et les stratégies de diagnostic et de détection des défauts ont connu un développement spectaculaire au même titre que l'industrie exploitante elle-même.

Le rôle de la maintenance préventive consiste à agir de telle sorte que la disponibilité des installations opérantes demeure maximale, car les arrêts non programmés peuvent étendre les temps de réparation et d'intervention ; par conséquent, une augmentation des pertes financières serait inévitable.

Les méthodes de diagnostic consistent en un ensemble d'actions destinées à identifier les causes probables de la défaillance. Les deux principales tâches de diagnostic sont : la détection et la localisation des défauts. Donc le diagnostic a pour objectif de détecter d'une manière précoce un défaut avant qu'il ne conduise à une défaillance totale dans l'installation industrielle

Après avoir présenté les différents défauts qui peuvent survenir sur la machine asynchrone dans le quatrième chapitre, nous allons présenter une surveillance et protection des organes mécaniques et les méthodes de diagnostic de la machine asynchrone .

IV.1.Surveillance des organes mécaniques:

La surveillance des organes mécaniques est basée beaucoup plus sur l'utilisation des capteurs de vibration qui détectent la présence d'un défaut.

- Capteurs de vibration : Le rôle des capteurs de vibration est de transformer l'énergie mécanique dispensée par la machine en un signal électrique proportionnel mesurable de manière reproductible.

Le capteur doit être positionné sur la partie fixe des organes, les mesures doit être effectuer en des point précis et toujours les mêmes.

La surveillance des organes mécaniques par l'analyse vibratoire permet de diminuer le niveau d'entretien préventif, cette surveillance se fait systématiquement selon le temps d'usage. [31]



Figure. IV.1 : Capteur de vibration.

➤ Le spectre : Le spectre est un signal fréquentiel obtenu par la transformée de Fourier du signal temporel, dans le quel on trouve des pics qui représentent les fréquences des signaux sinusoïdal dans le temporel, Si l'amplitude du grand pic dépasse un seuil définit, donc il y a un défaut.

La figure suivante nous montre un exemple d'un spectre.

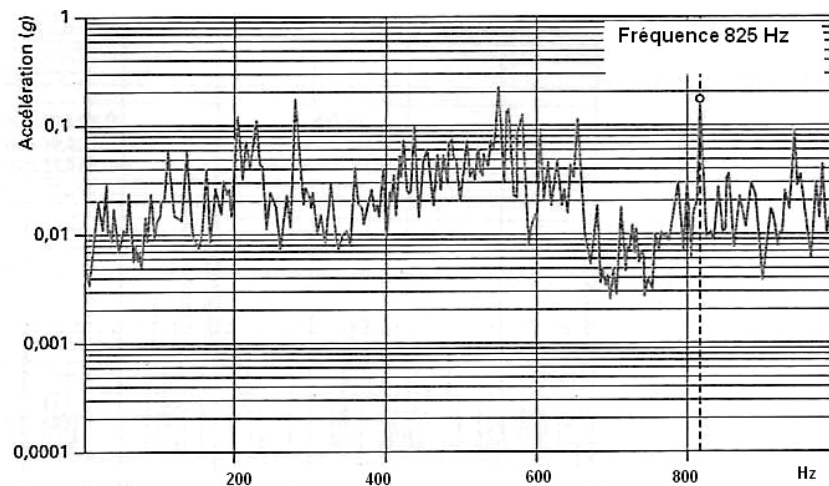


Figure. IV.2 : exemple d'un spectre.

IV.1.1. Surveillance et protection des roulements :

Lorsqu'un roulement tourne, les contacts métalliques entre les éléments roulants et les cages émettent des bruits de fond aléatoires. Ce bruit de fond crée un spectre plat. La plupart des usures de roulements commence par une fêlure qui se transforme en craquelure.

La craquelure va produire des impacts énergétiques en haute fréquence. Au fur et à mesure que l'usure progresse:

- Les défauts tendent à se lisser ;
- Il y a moins d'impacts;
- Le bruit de fond de la bonne piste devient modulé;
- Dès que le défaut est significatif, les billes vont éroder la cage interne en sautant.

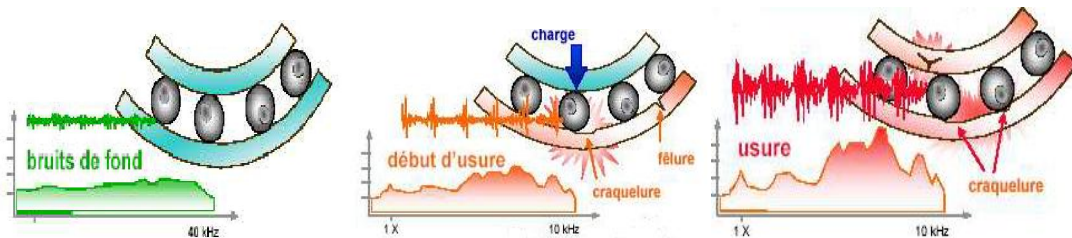


Figure. IV.3: dégradation d'un roulement.

La protection des roulements se fait généralement par le graissage et la lubrification dans les cas d'une température très élevée. [31]

La graisse utilisé doit être propre et ne doit pas comporter aucune impureté (poussière, eau,...).

IV.2. Types de diagnostic :

Le type de diagnostic le plus approprié à un système industriel donné ne peut se faire qu'après un recensement raffiné des besoins et des connaissances disponibles. Pour effectuer le diagnostic des machines d'une installation industrielle, les opérations de maintenance analysent un certain nombre de signaux issus de la machine. En effet, l'évolution temporelle et le contenu spectral de ces signaux peuvent être exploités pour détecter et localiser les anomalies qui affectent leurs bons fonctionnements.

De ce fait, le diagnostic peut être classé en deux grandes familles :

- Diagnostic inductif et déductif.
- Diagnostic invasif (interne) et non invasif (externe).

IV.2.1. Diagnostic inductif :

Ce type de diagnostic correspond à une approche de recherche montante (en amont). Il s'agit de trouver le défaut à partir de ses effets sur le système. Ce type utilise un mécanisme de raisonnement en avant qui a pour objectif d'interpréter les symptômes ainsi que leurs combinaisons afin de trouver le défaut.

IV.2.2. Diagnostic déductif :

Le raisonnement en arrière (en aval) est la principale caractéristique de ce type. Le diagnostic déductif doit trouver quels sont les effets dans les systèmes. Une vérification des "effets trouvés" par rapport aux "effets possibles" permet de confirmer et / ou d'informer l'existence du défaut.

Le diagnostic peut utiliser soit une seule méthode de raisonnement (avant ou arrière) soit une combinaison mixte. La connaissance "à priori" de la cause " défaut " implique la connaissance de certains effets.

IV.2.3. Diagnostic invasif :

Le diagnostic invasif dépendant de la connaissance obtenue à partir des modèles mathématiques du système.

Ce type de diagnostic est principalement dérivé des techniques utilisées primitivement par les automaticiens. A partir des techniques d'identification des paramètres, il devient possible de mettre en œuvre la méthode du problème inverse.

Le diagnostic de défaillance est possible en suivant en temps réel l'évolution des paramètres physiques ou bien en utilisant l'inversion des modèles de type « boîte noire ». Il implique une connaissance approfondie du fonctionnement sous la forme de modèles mathématiques qui devront être obligatoirement validés expérimentalement avant toute utilisation industrielle.

Les différents types de diagnostic invasif se regroupent en 04 grandes familles :

- Méthode à base de modèle.

- Méthodes d'identification des paramètres.
- Méthodes d'estimation du vecteur d'état.
- Méthodes analytiques.

IV.2.4 .Diagnostic non invasif :

Le diagnostic non invasif utilise la connaissance issue de l'expertise humaine. Ce diagnostic se base sur l'analyse spectrale des signaux que fournit la machine lors de son fonctionnement [24].

Les signaux les plus utilisés sont :

- Électriques : analyse des grandeurs électriques aux bornes de la machine : (Tensions, courants, puissance instantanée partielle, puissance instantanée totale, analyse temporelle du module du vecteur de Park...).
- Mécaniques : analyse des vibrations acoustiques (accéléromètre...).
- Thermiques : analyse de la température de la machine :(sonde de température, mesure infrarouge...).
- Électromagnétiques : analyse des flux dans l'entrefer, (spire de mesure de flux), des flux de dispersion radial ou axial (bobines externes).
- Chimiques : analyse des huiles ou des gaz.

Dans les suivantes sections, nous présentons les méthodes basées sur l'approche ASS des grandeurs "mesurables " ce qui permet par la suite, à détecter et localiser les défauts des machine asynchrone .

Notons que ce type de diagnostic, objet du présent travail, a attiré notre attention vu ces avantages :

- Facile à mettre en œuvre technico-économiquement.
- Pas besoin de modèle (grandeurs issues directement des bancs d'essais).
- Signaux issus directement des installations.
- Connaissances sur le système sain (par mesure ou modèle).

IV.3. Méthodes de diagnostic basées sur l'Analyse Spectrale des Signaux (ASS) :

Comme nous l'avons déjà évoqué, la première étape est basée sur la connaissance du système sain (par mesures ou par modèles numériques).

La deuxième étape consiste en une création « artificielle » de défauts (à nouveau sur maquettes physiques ou par modèles numériques). La signature du défaut, c'est-à-dire sa répercussion sur certaines grandeurs, est alors identifiée.

Une observation est ensuite réalisée sur un convertisseur réel. Une analyse est portée sur les grandeurs de défauts déjà connues. Et pour commencer, nous pouvons donner d'après cette littérature les principales techniques du diagnostic utilisées pour obtenir des informations sur l'état de santé de la machine sont les suivantes [32]

IV.3.1 Diagnostic par mesure des vibrations mécaniques :

L'analyse spectrale des vibrations a été utilisée dans les machines tournantes pour le diagnostic pendant des décennies. Il est affirmé que la surveillance des vibrations est la méthode la plus fiable d'évaluer la santé globale d'un système rotor. Les forces radiales, créées par le champ d'entrefer, provoquent des vibrations dans la machine asynchrone. Ces forces sont proportionnelles au carré de l'induction magnétique.

$$F_{radial}(\theta, t) = B_s^2(\theta, t)/2\mu_0 \quad (IV.1)$$

Avec :

B_s : Induction magnétique de l'entrefer créée par le courant statorique

μ_0 : Perméabilité magnétique du vide (de l'air)

La distribution de l'induction magnétique dans l'entrefer, est le produit de la F.m.m (Fm) et de la perméance (P) [13].

$$B = Fm.p \quad (IV.2)$$

Avec :

Fm : La force magnétomotrice de la phase 'a'

P : Permeance de l'entrefer

La perméance dépend de la variation de l'entrefer (à cause des ouvertures des encoches statoriques et rotoriques, l'excentricité), ce qui influe sur La force magnétomotrice. Au même titre que les courants, l'ASS de vibrations fournit des informations pratiquement sur tous les défauts mécaniques fréquemment rencontrés, elle permet aussi la détection des défauts électriques.

Les spectres des signaux de vibrations, relevés du moteur actuel et en exploitation, sont comparés avec ceux enregistrés lorsque le moteur est sain. Une simple lecture comparative nous fait découvrir l'état et le type de défaut de notre moteur s'il y a lieu.

La perméance dépend de la variation de l'entrefer (à cause des ouvertures des encoches statoriques et rotoriques, l'excentricité), ce qui influe sur la force magnétomotrice. Au même titre que les courants, l'ASS de vibrations fournit des informations pratiques sur tous les défauts mécaniques fréquemment rencontrés, elle permet aussi la détection des défauts électriques.

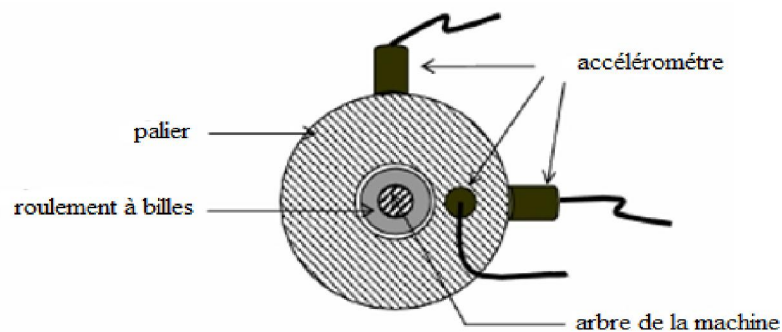


Figure. IV.04: Mesures vibratoire de la machine asynchrone

IV.3.2 Diagnostic par mesure du Flux magnétique axial de fuite :

Dans le cas idéal de fonctionnement, les courants et les tensions statoriques de la machine sont équilibrés. Mais lors d'un défaut quelconque, il entraîne un déséquilibre électrique et magnétique dans la partie statorique, ce qui provoque l'apparition des flux de fuite axial de valeurs liées au degré de sévérité du défaut.

Pour analyser ce flux axial, on place à l'extrémité de la machine ou autour de l'arbre une bobine. Elle sera le siège d'une force électromotrice induite.

Le flux de mesure peut être utilisé dans l'analyse spectrale pour le suivi de l'état électrique et détecter le type de défauts d'une machine asynchrone à cage.



Figure. IV.05: Mesure du flux axial

IV.3.3 Diagnostic par mesure du Flux magnétique radial de fuite :

La mesure du flux magnétique extérieur s'effectue à l'aide d'un capteur bobiné. Celui-ci est placé sur le côté de la machine, à égale distance des extrémités de la culasse et à une distance x de l'axe, comme indiqué sur la (Figure. IV.06).

Le contenu spectral du flux axial, concernant les fréquences de ses composantes, sera similaire à celui du flux radial. En fait il sera moins riche, car il existe plusieurs conditions pour qu'un harmonique d'induction génère une composante de courant associée.

D'autre part, le fait de placer le capteur à mi-distance des extrémités de la culasse minimise l'influence de la composante axiale. C'est pourquoi la caractérisation du flux mesuré résultera uniquement de l'induction d'entrefer, qui nous offre une image plus réelle sur l'état de santé de notre machine. [33].

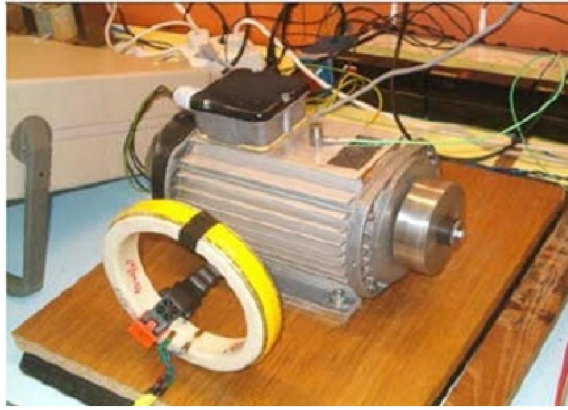


Figure. IV.06: Mesure du flux radial.

IV.3.4 Diagnostic par l'analyse des tensions statoriques induites :

La rupture d'une barre va affecter directement la tension induite dans les enroulements statoriques. En utilisant cette technique pour exploiter le contenu fréquentiel de la tension induite, par le flux rotorique, directement dans les enroulements statoriques pendant la déconnexion du moteur de réseau, en éliminant ainsi toutes les asymétries de la source d'alimentation (déséquilibres, harmoniques) ou la non linéarité des caractéristiques magnétiques de la machine .

IV.3.5 Diagnostic par mesure du couple électromagnétique et de la vitesse rotorique :

Lorsqu'une rupture de barre apparaît, les spectres fréquentiels de la vitesse rotorique et du couple électromagnétique laissent paraître des composantes supplémentaires situées aux fréquences $2k\text{gfs}$.

Cependant, il s'est avéré que l'analyse de ses composantes ne nous renseigne pas aussi bien sur le défaut rotorique que celles présentes dans le spectre du courant statorique (augmentation des amplitudes moins significatives). De plus, l'acquisition de ces deux signaux nécessite un équipement assez coûteux par rapport à un simple capteur de courant, ce qui limite leur utilisation pour le diagnostic de défauts des machines asynchrones.

Certains systèmes reconstruisent une image du couple électromagnétique à partir des tensions et des courants mesurés sur la machine, mais cette approche reste moins efficace que les méthodes précédemment citées [34].

La Figure (IV.07) (b) montre les oscillations de couple qui augmentent avec le nombre de barres cassées.

Le glissement pour le fonctionnement de la machine saine est 2.5%, mais dans les conditions défectueuses avec la même charge, le glissement augmente légèrement conduisant à l'oscillation de couple légèrement supérieur à celui de 2.5 Hz.

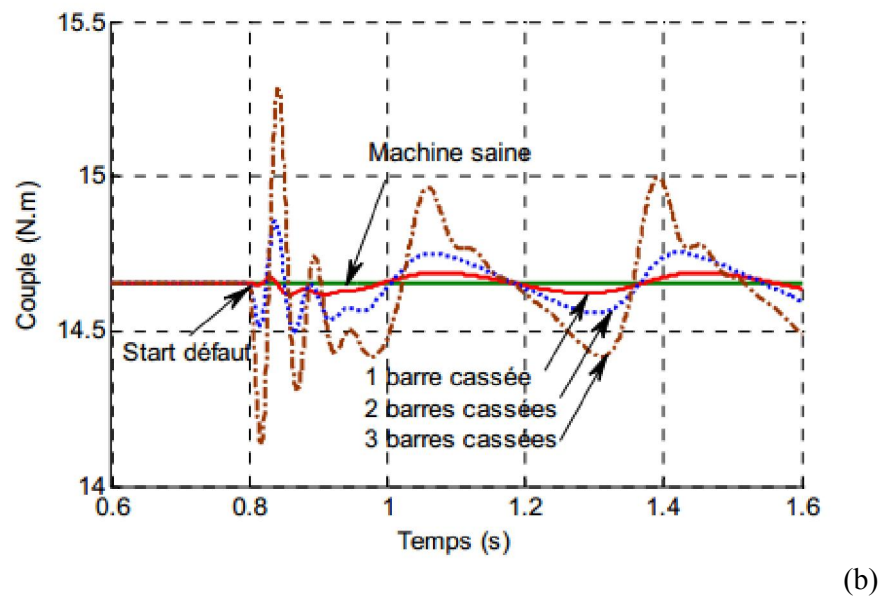
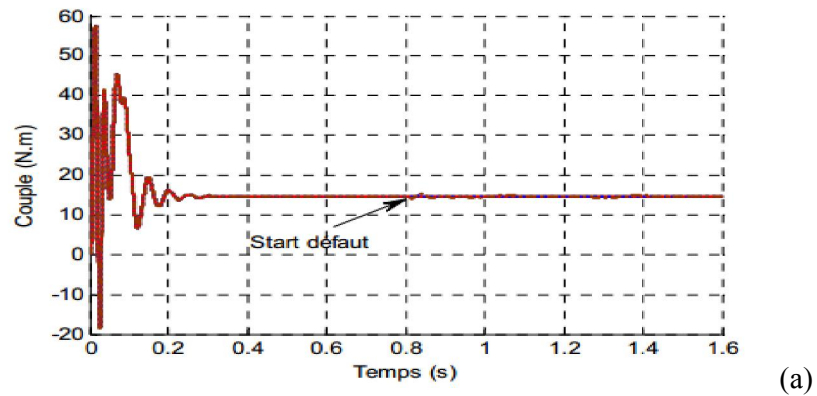


Figure. IV.07 : Couple électromagnétique pour la machine saine et défectueuse (avec barres cassées)

La Figure .IV.08. montre la vitesse du rotor d'une machine saine et d'une machine avec 1, 2 et 3 barres rotoriques cassées (le défaut est simulé à partir de $t=0.8s$).[35]

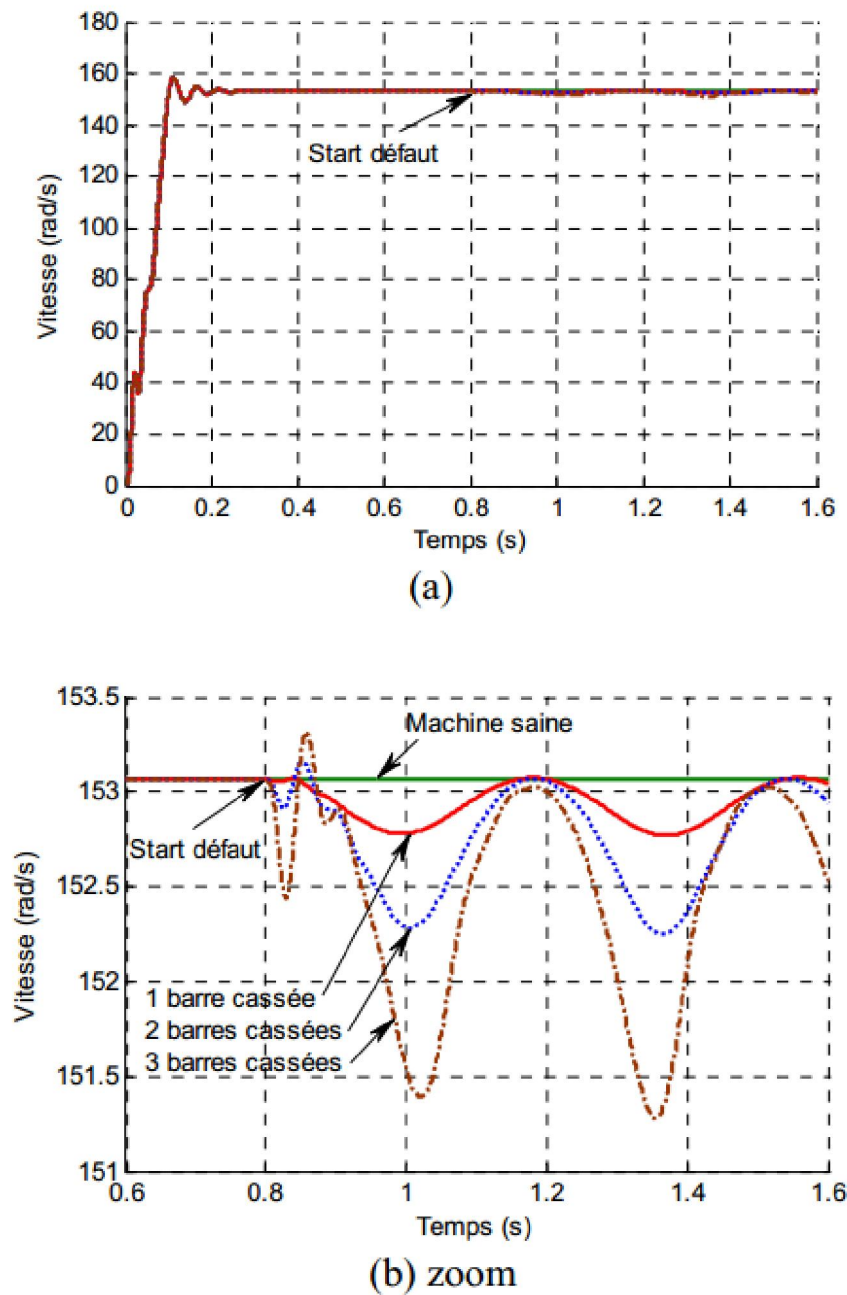


Figure .IV.08 : Vitesse rotorique pour une machine saine et défectueuse (avec barres cassées)

IV.3.6 Analyse fréquentielle de la tension de neutre :

En 1998, Cash a utilisé la tension présente entre le neutre de la source d'alimentation et le neutre de la machine asynchrone pour détecter des courts-circuits entre spires dans le bobinage statorique.

Une analyse similaire a été effectuée dans le but de détecter un défaut rotorique dans les machines asynchrones.

On montre que l'information donnée par la tension présente entre les deux neutres était pertinente pour le diagnostic des défauts rotoriques. Cette technique a tout d'abord été testée sur différents essais de simulation.

L'information la plus significative pour permettre un diagnostic fiable de la cage rotorique se situe au niveau des composantes harmoniques de fréquence [34].

$$f_{bt} = f_s\{3(1 - g) \pm g\} \quad (\text{III.3})$$

g : Epaisseur de l'entrefer ou fonction d'entrefer.

IV.3.7 Diagnostic par mesure de la puissance instantanée :

La quantité d'information donnée par la puissance instantanée d'une phase, qui n'est autre que le produit de la tension d'alimentation et du courant absorbé par le moteur, est plus importante que l'analyse du courant seul.

En effet, en plus de la composante fondamentale et des deux composantes latérales, le spectre de la puissance instantanée contient une composante additionnelle située à la fréquence de défaut. Ceci présente l'avantage de cette méthode par rapport aux autres.

IV.3.8 Diagnostic par mesure du courant statorique :

L'analyse des courants statoriques dans le domaine fréquentiel reste la méthode la plus couramment utilisée car le spectre résultant contient une source de renseignement sur la majorité des défauts électriques et magnétiques pouvant apparaître au sein d'une machine asynchrone.

Nous savons que le suivi de l'amplitude des composantes caractéristiques de dans le spectre du courant permet de se renseigner sur l'état de la cage rotorique.

$$f_s\{(1 \pm 2gk)\} \quad (\text{IV.4})$$

Cette technique est dénommée dans la littérature "Motors Current Signature Analysis" (MCSA). Les défauts de la machine asynchrone se traduisent dans le spectre du courant statorique soit par :

- ❖ Les raies spectrales qui apparaissent avec des fréquences qui sont directement liées à la vitesse de rotation de la machine, aux vitesses des champs tournants et aux paramètres physiques de la machine.
- ❖ Les raies spectrales ont une modification de leurs amplitudes, dans le spectre du courant.

Le technicien de la surveillance doit avoir une bonne connaissance des défauts et leurs signatures à partir du courant statorique.

La figure IV.09. nous pouvons affirmer que la manifestation des raies $(1 \pm 2k)f_s$ est un signe de l'existence de cassures de barres, de plus leur amplitude est une indication du degré de sévérité du défaut.[36]

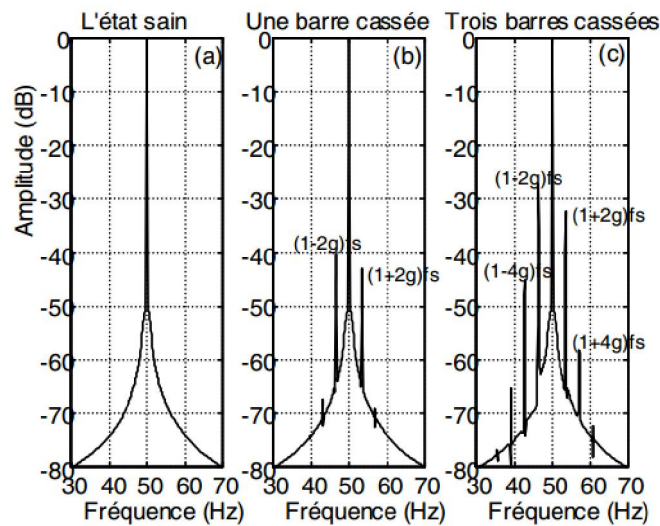


Figure .IV.09 : Spectre du courant statorique

IV.3.9 Diagnostic des défauts par analyse du vecteur de Park :

Une représentation en deux dimensions peut être utilisée pour décrire le phénomène des moteurs asynchrones triphasés. Une des plus connues et des plus appropriées repose sur le calcul des courants dits de Park.

En fonction des courants de phase $i_{sa}(t)$, $i_{sb}(t)$ et $i_{sc}(t)$, les courants de Park $i_d(t)$ et $i_q(t)$ peuvent être calculés pour l'obtention de la courbe de Lissajous : $i_{qs} = f(i_{ds})$. Le changement de l'épaisseur et de la forme de cette courbe donne une information sur le défaut .

Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons mis l'accent sur une surveillance et protection des organes mécaniques et les différentes méthodes du diagnostic notre travail sera consacré à l'étude et la détection, Diagnostic par mesure des vibrations mécaniques et mesure de la puissance instantanée.