



Université Mohamed Khider de Biskra
Faculté des Sciences et de la Technologie
Département de Génie Electrique

MÉMOIRE DE MASTER

Sciences et Technologies
Electrotechnique
Machines Electrique

Réf. :

Présenté et soutenu par :
LAMOURI Mohammed El haouari et ABDELKANI Fateh

Le : mercredi 30 septembre 2020

Réalisation d'un logiciel de diagnostic

Jury :

Pr.	BETKA Achour	MCA	Université de Biskra	Président
Dr.	KHALED Yahia	MAA	Université de Biskra	Examineur
Pr.	ZOUZOU Salah Eddine	MCA	Université de Biskra	Rapporteur

Remerciements

Je remercie avant tout mon dieu Allah, le tout-puissant, de m'avoir accordé parmi ses innombrables grâces, santé et courage pour accomplir ce travail.

Mes plus vifs remerciements vont à mon encadreur pour sa disponibilité et la qualité de son encadrement Pr. ZOUZOU Salah Eddine maître de conférences de classe A à l'université Mohamed Khider de Biskra.

Mes vifs remerciements vont également aux membres jury Pr. BETKA Achour maître de conférences de classe A, d'avoir accepté la présidence de jury de soutenance.

Dr. KHALED Yahia maître assistant de classe A, pour avoir accepté d'examiner mon travail et faire partie du jury.

Mes remerciements Dr. SAHRAOUI Mohammed pour l'aide à notre travail.

Je n'oublierai pas d'exprimer un profond respect à tous mes professeurs qui m'ont inculqué les fondements scientifiques tout au long des cursus de mon étude.

Dédicaces

Je dédie ce mémoire :

- *A mon père, à ma mère*
- *A mes frères et mes sœurs*
- *A tous mes amis (es)*
- *A tous mes maîtres et professeurs: du primaire au supérieur*

LAMOURI Mohammed El haouari.

Dédicaces

Je dédie ce mémoire:

- *Pour ma vie bougies maman et papa*
- *A tous mes amis*
- *A tous mes frères et mes sœurs*
- *Pour tous ma famille*
- *A mon professeur SAHRAOUI Mohammed*

ABDELKANI Fateh.

Liste des tableaux

Tableau III.1 Les harmoniques du courant statorique.....	28
---	----

Liste des figures

Figure .I.1. L'organigramme des différents types de maintenance	4
Figure .I.2. Choix d'une politique de maintenance	6
Figure .I.3. Fréquence des interventions de maintenance en fonction du coût	7
Figure. I. 4. Les différentes étapes de processus de diagnostic	12
Figure .II.1. Proportion des défauts dans les machines asynchrone a moyenne puissances.	14
Figure .II. 2. Répartition des pannes sur les machines de faibles et moyennes puissances .	14
Figure .II. 3. Répartition des pannes sur les machines de fortes puissances.....	15
Figure .II. 4. Différents types de court-circuit dans le stator	16
Figure .II. 5. Défauts d'un rotor à cage d'écureuil	17
Figure .II. 4. Types d'excentricité	18
Figure .II. 5. Un exemple réel d'un problème d'roulement	19
Figure .II. 6. Exemple de dégâts dus au défaut de court-circuit statorique d'un moteur asynchrone	21
Figure .III. 1. Transformation signale harmonique temporelle au fréquentielle	23
Figure .III. 2. Dimensions du roulement à bille	27
Figure .III. 3. A) spectre en mode sain, b) spectre en mode défailante commande.....	28
Figure .III. 3. Analyse spectrale du courant statorique de la MAS	29
Figure IV.1. Les composantes, autour du fondamental, caractérisant le défaut de barres ...	31
Figure IV.2. Les composantes, autour des TH, caractérisant le défaut de barres	32
Figure IV.3. Les composantes, autour des RSH, caractérisant le défaut de barres	32

Liste de symboles

Ne : Le nombre d'échantillons.

Δf : La résolution fréquentielle.

f_e : La fréquence d'échantillonnage.

FFT : Fast Fourier transform (Harmoniques de temps).

g : Glissement.

T : Temps.

F : Fréquence.

K : constant.

f_b : fréquence de cassure de barre.

Ta : Le temps d'acquisition.

N1 : vitesse du synchronisme (statorique).

N : vitesse de la rotation rotorique.

f_s : Fréquence fondamentale (Fréquence d'alimentation statorique).

f_r : Fréquence rotorique

f_{exe} : Fréquence d'excentricité.

p : Nombre de paires de pôles.

Nb : Nombre de barres rotoriques. : Ordre d'excentricité

δ_s : Degré d'excentricité statique

δ_d : Degré d'excentricité dynamique

ES : Excentricité statique

ED : Excentricité dynamique

j : Unité imaginaire

t : Temps

Table des matières

Liste des tableaux	I
Liste des figures... ..	II
Liste des symboles	III
Introduction générale	1

Partie I. Synthèse bibliographique

Chapitre 1. Diagnostic et maintenance industrielle

I-1 Introduction	3
I.2.Maintenance	3
I.3. Les différents types de maintenance	4
I.3.1. Maintenance préventive	4
I.3.1.1. La maintenance préventive systématique	4
I.3.1.2. La maintenance préventive conditionnelle	5
I.3.1.3. Les opérations de maintenance préventive	5
I.3.2. Maintenance Corrective	5
I.4. Objectifs de la maintenance	5
I.5. Le choix d'une stratégie de maintenance	5
I.6. La fonction maintenance	6
I.7. Les trois fonctions opérationnelles de la maintenance	6
I.7.1. Méthode	6
I.7.2. Ordonnancement	7
I.7.3. Réalisation des interventions	7
I.8. Les équilibres de la maintenance	7
I.9. Le diagnostic	8
I.9.1. La détection	8
I.9.2.Défauts et pannes	9
I.9.3. Définition de la défaillance	9
I.9.4. Dégradation	9
I.10. Techniques et méthodes de diagnostic	9
I.10.1. Classification des méthodes de diagnostic	9
I.10.1.1. Méthodes de diagnostic avec modèles	10

I.10.1.2. Les méthodes de diagnostic par modélisation fonctionnelle et matérielle	10
I.10.1.3. Les méthodes de diagnostic par modélisation physique	10
I.10.2.Méthodes de diagnostic sans modèles	11
I.11.2.1. La reconnaissance des formes	11
I.11. Les différentes étapes de diagnostic	12
I.12. Conclusion	12

Chapitre 2. Identification des défauts électrique courants

II.1 Introduction	13
II.2 Défauts des machines électriques tournantes.....	13
II.3. Quelques statistiques	13
II.4.Types de défauts dans les machines électriques	15
II.4.1 Défaillances au stator	15
II.4.2 Défaillance eau rotor	17
II.4.2.1 Excentricité	18
II.4.2.1.a Les causes	18
II.4.2.2 Défaillance au roulement mécanique	19
II.4.3 Défaillances d'autres origines	20
II.5 Des grandeurs mesurables dans la surveillance des machines électriques	20
II.6. conclusion	21

Partie II. Expérimentale

Chapitre 3. Matériel et méthodes

III-1 Introduction	22
III.2. Diagnostic par mesure du courant statorique	22
III.3. L'analyse spectrale	22
III.4. Signatures spectrales des défauts de la machine asynchrone	23
III.4.1. Signatures des harmoniques d'encoche rotoriques	23
III.4. 2. Signatures des défauts statoriques	24
III.4. 3. Signatures du défaut de barres rotoriques	24
III.4. 4. Signatures des défauts d'excentricité	25
III.4. 4. 2. Excentricité dynamique	25
III.4. 4. 3. Excentricité mixte	26

III.5. Signatures des défauts des roulements26
III.6. Analyse spectrale du courant statorique par la FFT29
III.7. Conclusion29

Chapitre 4. Résultats et discussion

IV.1. Introduction30
IV.4.Résultats à atteindre30
IV.5. Conclusion31
Conclusion générale32

Introduction générale

Introduction générale

Nous changeons le thème à cause nous n'avons pas une version installable de logiciel SPEED.

Dans tous les secteurs industriels, la sécurité des personnes, du matériel, de l'environnement du travail, la qualité de service et la rentabilité des installations imposent des contraintes sévères de fiabilité et de sûreté de fonctionnement.

La maintenance industrielle, qui a pour vocation d'assurer le bon fonctionnement des outils de production, est une fonction stratégique dans les entreprises. Intimement liée au remarquable développement technologique, à l'apparition de nouveaux modes de gestion, à la nécessité de réduire les coûts de production, elle est en constante évolution. Elle n'a plus aujourd'hui comme seul objectif de réparer l'outil de travail mais aussi de prévoir et éviter les dysfonctionnements [1].

La maintenance joue un rôle très important dans le domaine industriel, la plus part des industries appliquent la politique de maintenance pour réduire ou éliminer les réparations inutiles, empêcher les pannes des installations industrielles et minimiser l'impact négatif de l'opération de maintenance sur le rendement des entreprises.

L'activité de maintenance des installations industrielles fait appel depuis une vingtaine d'années à des techniques de diagnostic de plus en plus sophistiquées. Plusieurs techniques de détection de défauts sont aujourd'hui à la disposition des ingénieurs de maintenance .parmi celles-ci on peut citer la thermographie infrarouge, pour la détection de défauts d'origine électrique ou mécanique, l'analyse des huiles pour le suivi de dégradation et la contamination des fluides hydrauliques ainsi que l'évaluation du stade d'usure des pièces mécanique, la détection ultrasonore et l'analyse des vibrations mécanique [2].

Le monde de l'industrie et le monde des transports disposent de machines et d'installations de plus en plus performantes et complexes. Les exigences de haute sécurité, la réduction des coûts d'exploitation et la maîtrise de la disponibilité des équipements donnent à la maintenance des systèmes un rôle prépondérant. Elle doit permettre de n'intervenir qu'en présence d'éléments défectueux, de minimiser le temps de réparation, et de fournir un diagnostic fiable et facilement interprétable malgré la complexité des équipements[3].

Dans la compétition industrielle actuelle, le développement de l'automatisation a fait que les machines fonctionnent avec un minimum d'interventions humaines. La maintenance optimale des machines tournantes en fonctionnement a une importance vitale pour assurer une production permanente et augmenter la durée de vie de ces machines[4].

La surveillance est un moyen de garantir le bon fonctionnement des systèmes. Le diagnostic fait partie de la surveillance. Il a pour objectif de détecter d'une manière précoce un défaut avant qu'il ne conduise à une défaillance totale dans l'installation industrielle. Les deux principales tâches de diagnostic sont : la détection et la localisation des défauts. La détection consiste à signaler l'existence du défaut, tandis que la localisation a pour objet de trouver le type de défaut [5].

Ce travail a pour but d'appliquer le traitement de signal dans la maintenance industrielle, en faisant un diagnostic pour la détection et la caractérisation des défauts par la méthode d'analyse spectrale.

Les objectifs de notre travail sont :

- Une bonne compréhension de la maintenance et connaissance mathématique du diagnostic des défauts avec la méthode d'analyse spectrale.
- Réalisation d'un logiciel de diagnostic par le programme MATLAB avec l'application de traitement de signal.

Dans le premier chapitre nous présenterons le diagnostic et la maintenance dans l'industrie en exacte dans le domaine des machines tournantes et les différentes méthodes utilisées pour la détection des défauts qui existent couramment dans les machines électrique (traitement signal).

Dans le deuxième chapitre se parle à l'identification des défauts courants sur les machines électrique et ses origines, quelques statistiques, types de défauts dans les machines électriques.

Dans le troisième chapitre la présentation d'une méthode de diagnostic, telles que les méthodes basées le traitement du signal (analyse spectrale).

Dans le quatrième chapitre est la réalisation de logiciel de diagnostic des machines électriques et la comparaison avec les résultats expérimentaux.

Partie I

Synthèse bibliographique

Chapitre 1

Diagnostic et maintenance industrielle

I.1. Introduction

Une entreprise doit exploiter ces équipements d'une manière efficace dans le but d'améliorer la qualité et le coût du produit et augmenter aussi la production. Une bonne gestion de la maintenance des équipements est le meilleur moyen qui permet d'atteindre cet objectif en prenant en considération les aspects techniques, économiques et financiers des différentes méthodes utilisées.

L'objectif principal de la maintenance est de réduire au minimum la défaillance des équipements pour éviter les arrêts de production. L'augmentation de la fiabilité des équipements et la maîtrise des défaillances et des pannes dépend du développement de la maintenance [2].

La surveillance et la détection des défauts améliorent la fiabilité et la disponibilité des systèmes existants. Comme la majorité des défauts évoluent lentement, son détection dès les premiers instants est possible évitant ainsi une totale défaillance avec ses conséquences néfastes.

Il est important dans le contexte de la surveillance des conditions de systèmes électriques de distinguer entre la détection et le diagnostic du défaut. La détection du défaut est la décision à prendre sur l'existence ou non du défaut, tandis que le diagnostic du défaut donne plus d'informations sur la nature et la localisation du défaut [6].

Dans ce chapitre, nous allons commencer par présenter certaines notions de base sur la maintenance et les activités de la maintenance et le diagnostic puis nous rentrons à des utilisations dans le domaine de la surveillance des machines tournantes.

I.2. Maintenance

La tâche principale d'un ingénieur est de garantir la disponibilité des systèmes industriels, c'est-à-dire, d'assurer que le système fonctionne lorsqu'on le sollicite. La responsabilité de cette tâche repose sur la maintenance. Selon l'association française de normalisation (*AFNOR*), la maintenance est « ensembles des activités destinées à maintenir ou à établir un bien dans un état pour accomplir une fonction requise ». Il y a deux grandes classes de la maintenance [7] :

- ✓ Maintenance corrective ;
- ✓ Maintenance préventive : - systématique. - conditionnelle.

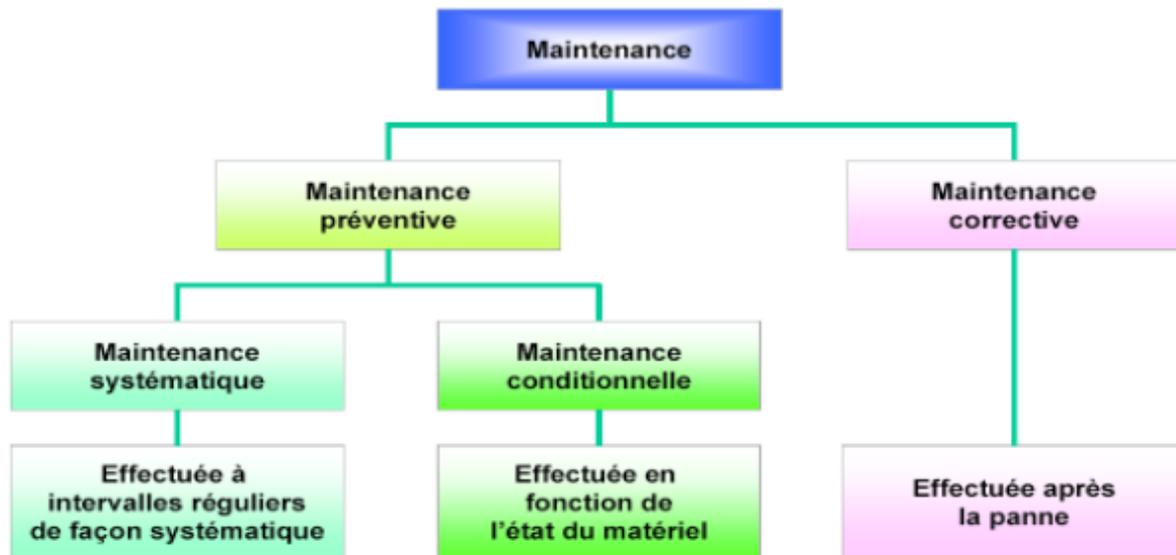


Figure .I.1. L'organigramme des différents types de maintenance [2].

I.3. Les différents types de maintenance

Dans la définition de la maintenance, nous trouvons deux mots-clés : maintenir et rétablir. Le premier fait référence à une action préventive. Le deuxième fait référence à l'aspect correctif [8]. (Voir figure I.1) en comprend les types de la maintenance dans les paragraphes suivants :

I.3.1. Maintenance préventive

«C'est une maintenance exécutée à des intervalles prédéterminés ou selon des critères prescrits et destinés à réduire la probabilité de défaillance ou la dégradation du fonctionnement d'un bien» [AFNOR, 2002]. Cette maintenance vise la prédiction de la date à laquelle une action de maintenance doit s'effectuer en se référant à un modèle de dégradation théorique des composants mécaniques de la machine. La maintenance prévisionnelle part des informations recueillies à partir de la surveillance de l'état du matériel et de la conduite d'analyses périodiques dans le but de déterminer l'évolution de la dégradation du matériel et la période d'intervention. La maintenance préventive peut être systématique, conditionnelle ou prévisionnelle.

I.3.1.1. La maintenance préventive systématique

«C'est une maintenance préventive exécutée à des intervalles de temps préétablis ou selon un nombre défini d'unités d'usage mais sans contrôle préalable de l'état du bien» [AFNOR, 2002].

I.3.1.2. La maintenance préventive conditionnelle

«C'est une maintenance préventive basée sur une surveillance du fonctionnement du bien et/ou des paramètres significatifs de ce fonctionnement intégrant les actions qui en découlent» [AFNOR, 2002].

I.3.1.3. Les opérations de maintenance préventive

Les opérations essentielles de la maintenance préventive sont : les inspections, les visites, les contrôles, et la révision.

I.3.2. Maintenance Corrective :

La maintenance corrective est définie par la norme AFNOR comme [AFNOR, 2002]: «C'est la maintenance exécutée après détection d'une panne et destinée à remettre un bien dans un état dans lequel il peut accomplir une fonction requise». L'intervention, étant curative, se fait après l'apparition de la défaillance. Les opérations de maintenance corrective sont essentiellement : le dépannage, la réparation, et la réparation [9].

I.4. Objectifs de la maintenance

Les principaux objectifs de la maintenance sont [8] :

- Maintenir l'équipement dans un bon état de marche, dans les meilleures conditions de qualité, de délai et de prix de revient.
- Remplacer l'équipement à des périodes prédéterminées.
- Assurer à l'équipement des performances de haute qualité.
- Améliorer la sécurité du travail.
- Former le personnel dans les spécialités spécifiques à la maintenance.
- Conseiller la direction d'usine et la fabrication.
- Maintenir l'installation dans un état de propreté absolue.

I.5. Le choix d'une stratégie de maintenance

Généralement la maintenance exige une combinaison permanente rationnelle des moyens, donc elle demande une politique d'entretien préalablement établie. La stratégie de maintenance, qui résulte de la politique de maintenance, impose des choix pour atteindre, voire dépassé, les objectifs fixés dans le domaine de maintenance, les recherches ont pour but de mettre une stratégie de maintenance préventive conditionnelle basée sur l'utilisation d'outils appropriés et adaptée à un système électromécanique. Cette stratégie de maintenance permettra au groupe de surveillance de localiser et d'identifier les défauts qui apparaissent sur

le système en fonctionnement, et d'établir les opérations de maintenance correctives soit le dépannage ou la réparation [02].

I.6. La fonction maintenance

La mission principale de la fonction maintenance est le maintien par des actions préventives et correctives de la disponibilité de l'outil de production; c'est-à-dire de son aptitude à accomplir une fonction requise, dans des conditions d'utilisation données, pendant une période donnée par les normes AFNOR. Autrement dit, la mission principale de la maintenance est la gestion optimisée des équipements de production en fonction des objectifs propres à l'entreprise [2].

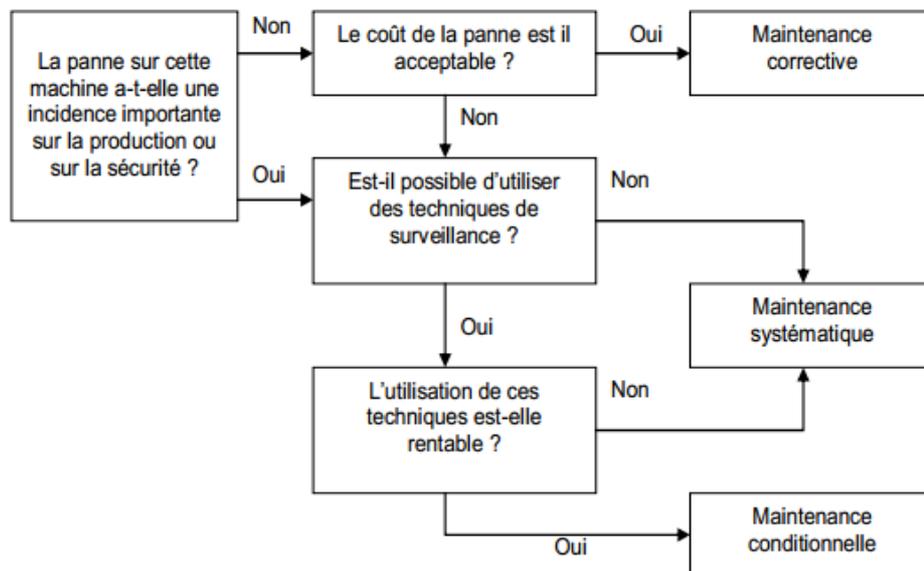


Figure .I.2. Choix d'une politique de maintenance [11].

I.7. Les trois fonctions opérationnelles de la maintenance

I.7.1. Méthode

La préparation est la vocation première des services méthodes. Pour la maintenance corrective, la préparation passe par l'anticipation des risques encourus, puis par une anticipation des problèmes qui peuvent freiner l'intervenant. Pour la maintenance préventive, elle consiste à définir le plan de maintenance d'un équipement, puis à évaluer son coût et son efficacité afin de les optimiser. D'autres activités sont généralement confiées au service méthode [2] :

- Propositions d'améliorations techniques et/ou organisationnelles,
- Assistance technique sur site - soutien aux intervenants sur site - aide au diagnostic.

I.7.2. Ordonnancement

La fonction ordonnancement est le chef d'orchestre de la maintenance. Elle a la responsabilité de la synchronisation des actions de maintenance. Les missions principales de l'ordonnancement sont la planification des travaux, l'optimisation des moyens en fonction des délais et chemins critiques, et le contrôle de l'avancement des travaux [2].

I.7.3. Réalisation des interventions

La fonction réalisation a pour objet d'utiliser les moyens mis à disposition, suivant les Procédures imposées, dans les délais préconisés, pour réaliser dans les règles de l'art, une tâche définie et remettre le matériel dans un état spécifié. La réalisation peut nécessiter un diagnostic c'est-à-dire identifier et caractériser la défaillance [2].

I.1.8. Les équilibres de la maintenance

Dans le milieu industriel, en général, une maintenance mixte est appliquée aux systèmes. En effet, la maintenance préventive est destinée à réduire la probabilité de défaillance, mais il subsiste une part de maintenance corrective incompressible. Il est donc nécessaire de considérer des stratégies qui combinent les deux : maintenance corrective et maintenance préventive [16]. De plus, l'optimisation de la maintenance consiste à trouver la balance optimale entre maintenance préventive et corrective tout en respectant les objectifs fixés. L'entreprise doit rechercher un compromis afin d'optimiser les relations entre les coûts de maintenance [12].

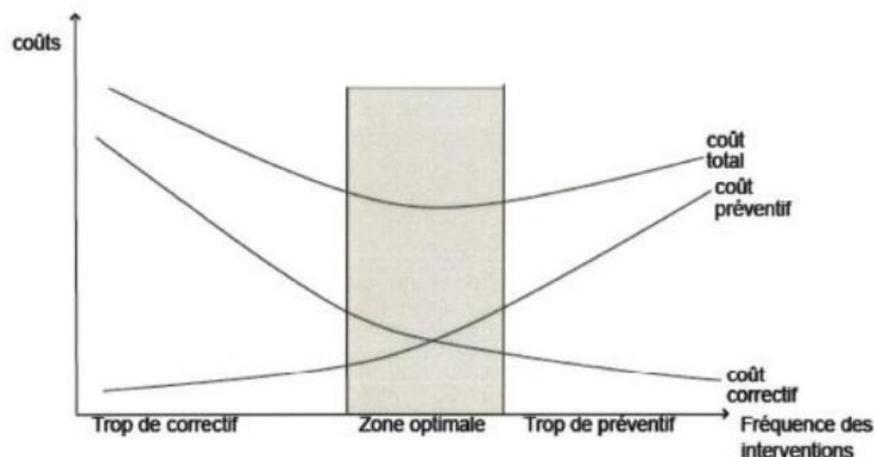


Figure I.3: Fréquence des interventions de maintenance en fonction du coût [12].

Les courbes représentent une illustration des effets de la fréquence des opérations de maintenance sur les coûts liés soit à la maintenance corrective, soit à la maintenance préventive. L'augmentation du nombre d'interventions sur le système permet de réduire les

effets indésirables engendrés par une panne mais pénalise le fonctionnement du système. Il peut donc entraîner une augmentation du coût global d'exploitation du système dans la mesure où chaque opération de maintenance engendre un coût [12].

I.9. Diagnostic

De nombreuses définitions sont proposées pour le terme de diagnostic, celle du dictionnaire robert est rigoureusement étymologique : « action de déterminer une maladie d'après ses symptômes ». L'origine de ce mot provient de deux mots grecs, « dia » qui signifie « par » et « gnossie » qui signifie « connaissance ». Dans l'industrie, le diagnostic est défini par l'ensemble d'actions visant à évaluer un procédé (système) et identifier la cause probable des défaillances à l'aide d'un raisonnement logique fondé sur un ensemble d'informations provenant d'une inspection, d'un contrôle ou d'un test de son fonctionnement. Le diagnostic est en principe défini comme un processus à trois phases : - détection du mode de fonctionnement. - qualification du mode de fonctionnement. - décision à partir de la reconnaissance du mode de fonctionnement. La mission pour laquelle le système a été conçu, peut être totalement remplie, partiellement remplie ou non remplie, cela dépend du mode de fonctionnement, un système est dit diagnostic able s'il est susceptible d'être soumis à un diagnostic, il doit alors être muni d'organes d'observation (capteurs) et d'un système d'analyse pour étudier les informations fournies. Le diagnosticabilité sera l'aptitude d'un système à être diagnostiqué. Le diagnostic permet de déterminer le type, la taille, l'endroit et l'instant de l'apparition de du défaut. L'opération de diagnostic incluse la localisation et l'identification d'un défaut, Deux tâches essentielles en diagnostic:

- **la localisation** : permet de déterminer les ou les éléments défaillants.
- **l'identification** : estime les caractéristiques statiques et dynamiques de défaut : l'instant d'apparition de la panne, sa durée et son importance.

I.9.1. détection

Pour détecter les défaillances d'un système, il faut être capable de classer les situations observables comme étant normales ou anormales. Cette classification n'est pas triviale, étant donné 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 [10].

I.9.2. Défaits et pannes

La diversité des activités du diagnostic industriel conduit très souvent à utiliser, sans trop les préciser, les termes des pannes et de défaut. Bien que les différences entre les concepts de défaillances, pannes et défauts soient souvent très subtiles et quelquefois subjectives. La panne est l'inaptitude d'un dispositif à accomplir une fonction requise, il est clair que dès l'apparition d'une défaillance, caractérisée par la cessation du dispositif à accomplir sa fonction, on déclarera le dispositif en panne, par conséquent, une panne résulte toujours d'une défaillance.

I.9.3. Définition de la défaillance

Une défaillance est l'altération ou la cessation de l'aptitude d'un ensemble à accomplir ses fonctions requises avec les performances définies dans les spécifications techniques. Les défaillances peuvent être classées selon différents critères [4]:

- Défaillance progressive ou soudaine, selon la rapidité de leur manifestation.
- Défaillance partielle ou complète ou intermédiaire, selon l'amplitude (la fonction est dégradée ou absente).
- Défaillance précoce, à taux constant ou d'usure, selon le moment d'apparition dans le cycle de vie du matériel.
- Défaillance mineure, significative, critique ou catastrophique, selon leur effet sur le système, l'environnement et l'homme.
- Défaillance première, seconde et de commande, selon les causes des défaillances.

I.9.4. Dégradation

Une dégradation représente une perte de performance d'une des fonctions assurées par un équipement, Si les performances sont au-dessous du seuil défini dans les spécifications fonctionnelles de cet équipement, Il n'y a plus dégradation mais défaillance [10].

I.11. Techniques et méthodes de diagnostic

I.11.1. Classification des méthodes de diagnostic

Les méthodes de diagnostic se distinguent selon différents critères [10]:

- la dynamique du procédé (discret, continu ou hybride).
- la complexité du procédé, l'implémentation du diagnostic en ligne et/ou hors ligne.

- la nature de l'information (qualitative et/ou quantitative).
- la profondeur de l'information (structurelle, fonctionnelle et/ou temporelle), sa distribution (centralisée, décentralisée ou distribuée).

L'existence d'un modèle formel ou mathématique de l'équipement détermine la méthode de surveillance utilisée. Le diagnostic avec modèle se compose essentiellement de deux techniques : Technique basée sur une modélisation fonctionnelle et matérielle, et la technique basée sur une modélisation physique. D'un autre côté, les méthodes qui ne se basent pas sur l'existence du modèle se divisent en trois catégories : méthodes utilisant des outils statistiques (méthodes de traitement de signal), et celles utilisant la reconnaissance des formes, et celles qui utilisent les systèmes experts [10].

I.11.1.1. Méthodes de diagnostic avec modèles

Les méthodes de diagnostic avec modèle ont pour principe de comparer les mesures effectuées sur le système aux informations fournies par le modèle. Tout écart est synonyme de défaillance. Ces méthodes peuvent être séparées en deux : Méthodes de diagnostic par modélisation fonctionnelle et matérielle, Les méthodes de diagnostic par modélisation physique [10].

I.11.1.2. Les méthodes de diagnostic par modélisation fonctionnelle et matérielle

Le principe de ces méthodes consiste à établir à priori et de la manière la plus complète possible, les liens entre les causes initiales des défaillances et leurs effets mesurables. Les méthodes les plus couramment rencontrées sont l'AMDEC (Analyse des Modes de Défaillance, de leurs Effets et de leur Criticité) et les ADD [10].

I.11.1.3. Les méthodes de diagnostic par modélisation physique

Les méthodes de surveillance avec modèle physique ont pour principe de comparer les mesures effectuées sur le système aux informations fournies par le modèle [16]. Tout écart est alors synonyme d'une défaillance, les outils de-là théorie de la décision sont ensuite utilisés pour déterminer si cet écart est dû à des aléas normaux, comme par exemple le bruit de mesure ou s'il traduit une défaillance du système. Ces méthodes utilisent un modèle décrit par des relations mathématiques représentant les différentes relations physiques du procédé. Généralement, ces relations physiques découlent de l'application de lois fondamentales de divers domaines (physique, chimie, électricité, thermodynamique, mécanique, etc.). Ainsi, il est possible de créer une modélisation du système qui, en lui appliquant les entrées similaires

au système réel (lois de commande, paramètres du procédé, etc.), fournit une réponse estimée du système. Il est alors possible de calculer l'écart entre la réponse réelle du système et sa réponse estimée [10].

I.11.2.Méthodes de diagnostic sans modèles

Nombreuses sont les applications industrielles dont le modèle est difficile, voire impossible à obtenir suite à une complexité accrue ou à de nombreuses reconfigurations intervenantes durant le processus de production. Pour ce type d'applications industrielles, les seules méthodes de diagnostic opérationnelles sont celles sans modèle. Deux techniques existent dans ce cas : technique par les outils de traitement de signal (approche signal) et celle par reconnaissance de formes, et la méthode des systèmes experts. Pour des raisons de simplicité le diagnostic par approche signal est la technique la plus utilisée actuellement en diagnostic industriel, c'est pour cela on essaiera de le détailler un peu dans ce qui suit [10].

I.11.2.1. La reconnaissance des formes

Ces méthodes reposent sur l'utilisation des algorithmes de classification des formes et des mesures (continues ou discrètes). Le fonctionnement d'un système de diagnostic par reconnaissance des formes se déroule en trois phases [10]:

- Une phase d'analyse qui consiste à déterminer et à réduire l'espace de représentation des données et à définir l'espace de décision permettant de spécifier l'ensemble des classes possibles.
- Une phase de choix d'une méthode de décision permettant de définir une règle de décision qui a pour fonction de classer les nouvelles observations dans les différentes classes de l'ensemble d'apprentissage.
- Une phase d'exploitation qui détermine, en appliquant la règle de décision, le mode de fonctionnement du système en fonction de chaque nouvelle observation recueillie sur le processus.

Ils existent trois techniques de reconnaissance des formes. La première technique est une technique classique de discrimination basée sur les outils de la probabilité. Cette technique peut se montrer insuffisante car elle suppose une connaissance à priori de tous les états de fonctionnement et ne prend pas en compte révolution du système. Les deux autres techniques reposent sur la théorie de l'intelligence artificielle. Ces techniques ont l'avantage de ne pas se baser sur les connaissances à priori des états de fonctionnement mais plutôt sur une phase

d'apprentissage. Ces deux techniques sont la reconnaissance des formes par la logique floue et la reconnaissance des formes par réseaux de neurones [10].

I.10. Les différentes étapes de diagnostic

Effectuer un diagnostic nécessite un certain nombre d'étapes qui s'enchaînent :

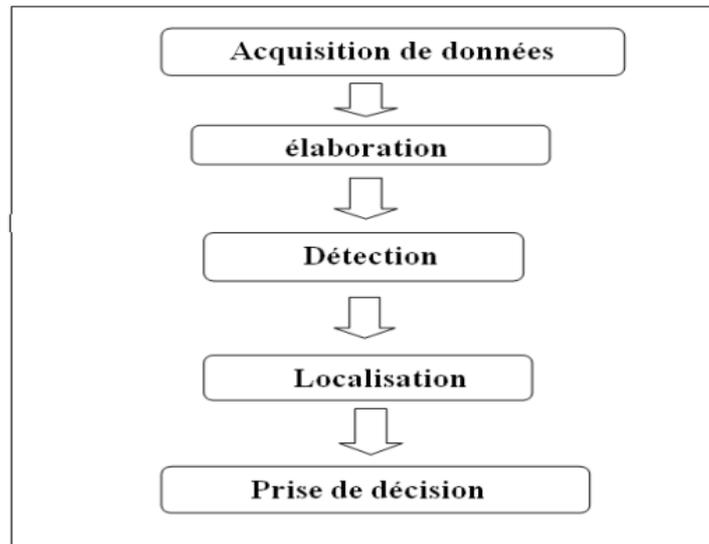


Figure. I. 4 : les différentes étapes de processus de diagnostic [10].

I.12. Conclusion

Le présent chapitre, nous a permis d'exprimer quelques notions de la maintenance industrielle telle que les types de maintenance, les différents types de conséquences sur le fonctionnement et les coûts de la maintenance, les techniques et les méthodes de la maintenance, les différentes étapes de diagnostic, les équilibres de la maintenance, les trois fonctions opérationnelles de la maintenance.

Chapitre 2

Identification des défauts électrique courants

II.1. Introduction

Ce chapitre présente dans un premier lieu un aperçu des différents défauts dans les machines électriques tournantes, leur classification et leurs origines et causes. L'accent est ensuite mis sur la méthode de diagnostic basée sur l'analyse spectrale de courant statorique.

Les aspects diagnostic et détection de défaut des organes de conversion électromécanique en font partie intégrante et requièrent la mise au point de techniques de mesure, d'acquisition, d'analyse et d'aide à la décision. Le succès de ces techniques passe nécessairement par une bonne connaissance de la machine ainsi que de son comportement en présence d'un défaut interne. La détection des défauts dans une machine électrique est bien sûr une thématique ancienne, des techniques telles que celles qui sont basées sur l'analyse des vibrations, ou bien des courants ont déjà fait leurs preuves au-delà du cadre des laboratoires de recherche pour trouver leur place dans le milieu industriel.

II.2. Défauts des machines électriques tournantes

Une défaillance de machine électrique représente tout incident donnant lieu à un comportement anormal de la machine et qui peut à court ou long terme provoquer son endommagement. Les raisons de défaillances dans les machines tournantes électriques ont leur origine dans la conception, la tolérance de fabrication, l'assemblage, l'installation, l'environnement de travail, nature de la charge et le calendrier de maintenance. Les défauts peuvent être classés selon leurs origines en deux catégories : interne et externe. Les défauts internes sont provoqués par les constituants de la machine (bobinages du stator et du rotor, circuits magnétiques, cage rotorique, entrefer mécanique, etc.). Les défauts externes sont causés par le type d'alimentation, la charge mécanique ainsi que par l'environnement d'utilisation de la machine [11].

II.3. Quelques statistiques

Une étude statistique, effectuée en 1988 par une compagnie d'assurance allemande de systèmes industriels sur les pannes des machines asynchrones de moyenne puissance (de 50kW à 200kW) a montré que 60% des pannes se situent au stator, 22% au rotor et le reste (18% dans les autres régions de la machine telles que les roulements, les borniers,...etc. (figure II.1) [14].

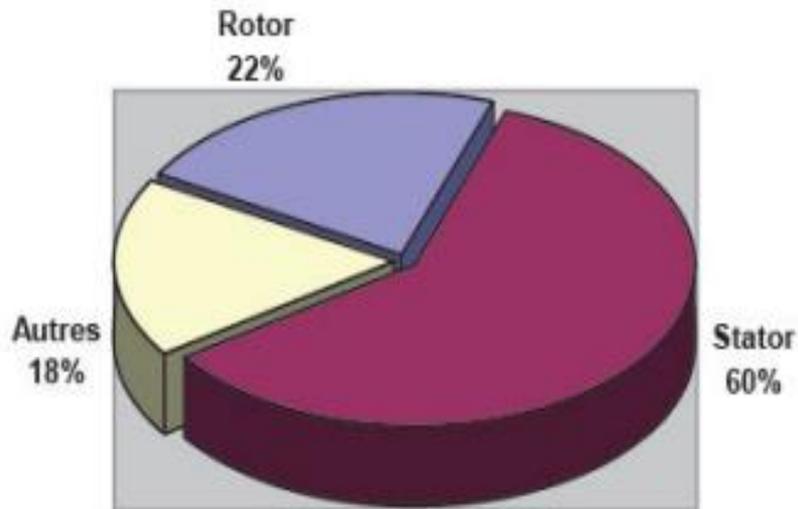


Figure .II.1. Proportion des défauts dans les machines asynchrone a moyenne puissances [14].

D'autre part, les mêmes études montrent qu'entre 1973 et 1988, les pannes au stator sont passées de 78% à 60% et les pannes au rotor sont passées de 12% à 22%. Ces variations sont dues à l'amélioration des isolants sur cette période. La répartition des pannes dans les différentes parties du moteur est donnée sur la figure suivante [14] :

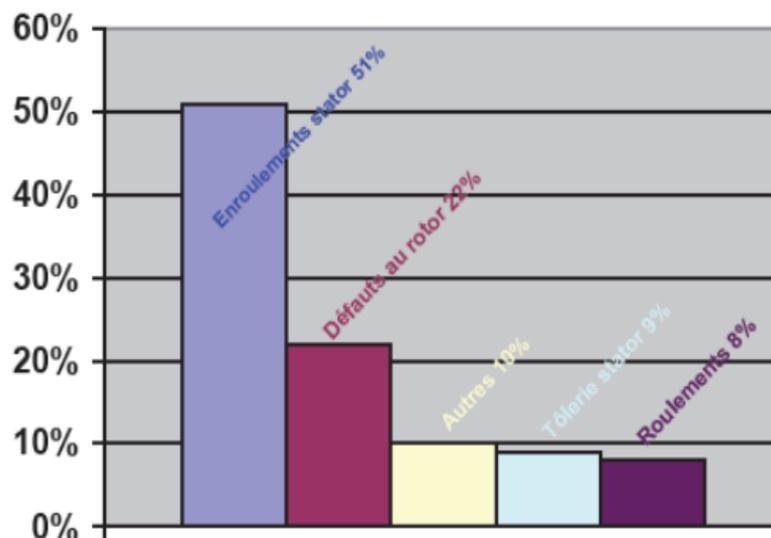


Figure II. 2. Répartition des pannes sur les machines de faibles et moyennes puissances [14].

Une autre étude statistique faite sur des machines de grande puissance (de 100 kW à 1 MW) a montré que pour cette gamme de puissance, les pannes les plus fréquentes se situent sur les roulements. Le stator et le rotor sont le siège de 12% et 8% des pannes respectivement (Figure II-3). Les contraintes mécaniques sont plus grandes pour ces types de machines ce qui

explique le taux élevé des pannes dues aux roulements. Celles-ci exigent une maintenance mécanique accrue [14].

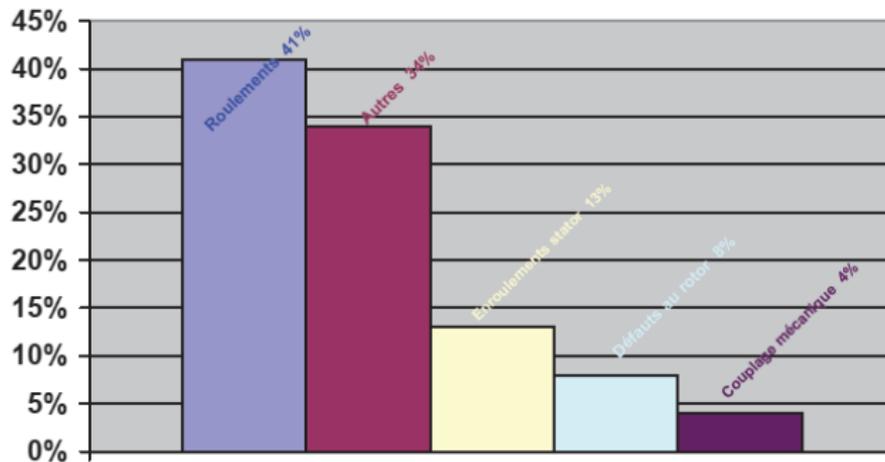


Figure .II. 3. Répartition des pannes sur les machines de fortes puissances [14].

II.4. Types de défauts dans les machines électriques

Cette section présente une description complète des défauts les plus courants dans les machines électriques. Pour chaque défaut, les causes possibles et les mécanismes des défaillances sont brièvement décrit, les défauts majeurs survenant dans les machines électrique peuvent être généralement classés comme [15]:

- défauts du stator entraînant l'ouverture ou le court-circuit de l'enroulement.
- connexion anormale des enroulements du stator.
- les défauts de la terre.
- une barre de rotor cassée ou des anneaux d'extrémité de rotor fissurés.
- irrégularités de l'entrefer statique ou dynamique.
- un arbre plié qui entraîne un frottement entre le stator et le rotor, causant de graves dommages.
- enroulement de champ de rotor court-circuité.
- démagnétisation des aimants permanents.
- défauts de roulement et de boîte de vitesses.

II.4.1 Défaillances au stator

Ces défauts sont généralement liés à une dégradation de l'isolement. A un stade avancé, ces défauts pourront provoquer un court-circuit entre spires qui peut s'aggraver et évoluer vers un court-circuit entre deux phases ou une phase et la terre (carcasse). Les courts-circuits

entre phases apparaissent dans les têtes de bobines, puisque c'est dans celles-ci que les conducteurs de phases se côtoient. Ce court-circuit entre phases provoquerait un arrêt net de la machine. Cependant, les courts-circuits entre spires de la même phase qui peuvent apparaître soit au niveau des têtes de bobines soit dans les encoches entraînent une diminution du nombre de spires effectives de l'enroulement et contribuent ainsi à un déséquilibre des courants des trois phases et par conséquent à une dégradation du couple moteur [16].

Ce type de défauts perturbe aussi sensiblement les commandes développées sur la base du modèle de Park. Par rapport à la topologie des stators, les défauts pouvant survenir au sein du bobinage statorique sont mentionnés sur (la figure II.4).

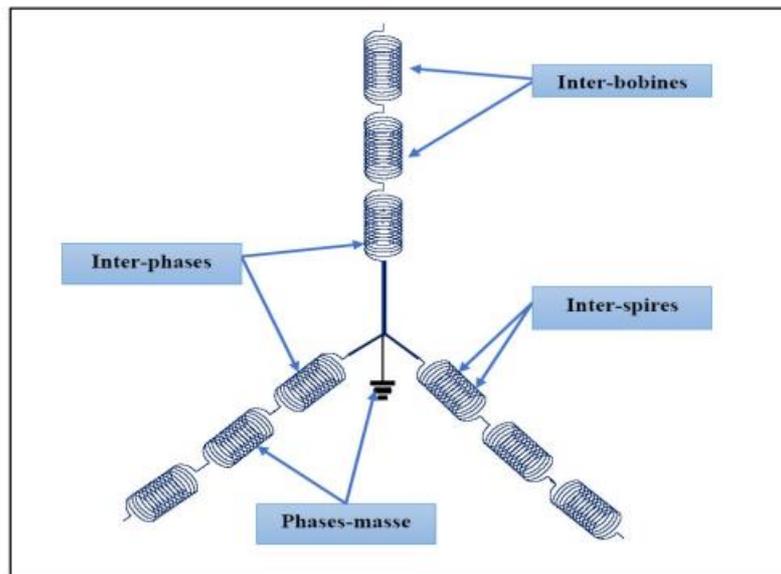


Figure .II. 4. Différents types de court-circuit dans le stator [16].

II.4.1.1 Cause des défauts statorique :

- court-circuit entre spires : surtension, température excessive, vibration, humidité.
- Court-circuit entre phases : haute température, alimentation déséquilibré, défaut d'installation.
- Défaut d'isolation : démarrage fréquent, décharge partielle, condition, température et humidité extrême.
- Défaut entre le stator et carcasse : cycle thermique, abrasion de l'isolant, encrassement des spires par la carcasse, présence des points anguleux dans les encoches, choc.
- Déplacement des conducteurs : démarrages fréquent, vibration de tête de bobine.
- Défaillance des connecteurs : vibration excessive.

- Vibration de la carcasse : mauvaise installation, déséquilibre magnétique, déséquilibre d'alimentation, surcharge, mouvement des enroulements, contact avec le rotor [16].

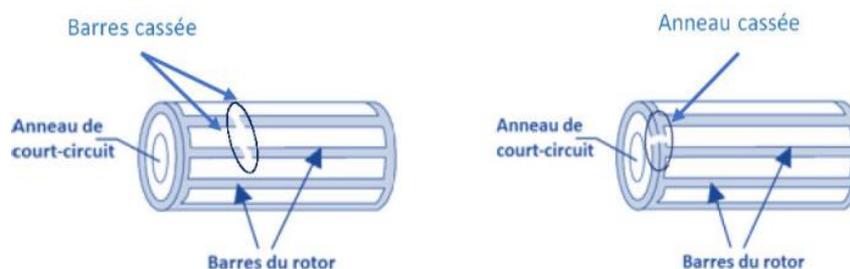
II.4.2 Défaillance au rotor

En raison de différentes constructions de rotor, consistant en:

- barres de rotor - pour machines à induction à cage.
- enroulements de rotor pour machines synchrones conventionnelles et machines à induction à bagues collectrices.
- rotor à aimant permanent pour machines à aimants permanents, et matériaux constitutifs :
 - aluminium (cuivre, acier) pour barres de rotor à cage.
 - aimants permanents pour rotors de machines à aimants permanents.
 - des fils de cuivre pour le rotor bobiné de machines synchrones [15].

Les défauts du rotor peuvent être considérés comme plus complexes et plus variés que ceux liés au stator. Suite à la description précédente des configurations du rotor et des matériaux constitutifs, les défauts de rotor les plus courants qu'une machine électrique peut rencontrer peuvent être classés comme suit:

- fractures (rupture) de la barre de rotor et / ou de la bague d'extrémité des moteurs asynchrones à cage.
- les courts-circuits dans le bobinage de champ se produisant dans les machines synchrones conventionnelles avec un rotor bobiné.
- démagnétisation des aimants permanents dans les machines à aimants permanents.
- les déplacements des pôles du rotor dans les machines à aimant permanent et les machines synchrones [14,15].



a) Cassure de barres

b) cassure d'anneau de court-circuit

Figure .II. 5. Défaillances d'un rotor à cage d'écureuil [16].

II.4.2.1 Excentricité

L'excentricité de la machine est définie comme une asymétrie dans l'entrefer du vide qui existe entre le stator et le rotor. La présence d'un certain niveau d'excentricité est normale dans les machines électriques. Des fabricants et utilisateurs spécifient un niveau admissible maximum de 5%, tandis que dans d'autres cas, un niveau maximum de 10% de la largeur d'entrefer est permis par d'autre utilisateur. Cependant, les fabricants essaient d'avoir un niveau d'excentricité très faible afin de réduire les vibrations et le bruit et de minimiser les forces radiales résultantes qui peuvent créer une bande de frottement entre le stator et le rotor qui endommage la machine. Par conception, l'entrefer d'une machine à induction est considérablement plus petit que dans d'autres types de machines ayant les mêmes grandeurs et performances, la machine asynchrone sera la plus sensible aux excentricités [17].

L'excentricité se répartie en trois cas. Excentricité statique et excentricité dynamique et excentricité mixte. L'excentricité statique le rotor est déplacée du centre de l'alésage stator mais tourne toujours autour de son axe. L'excentricité Le rotor est positionnée au centre de l'alésage mais ne tourne plus autour de son axe. L'excentricité mixte Il caractérise les 2 cas, précédemment [18].

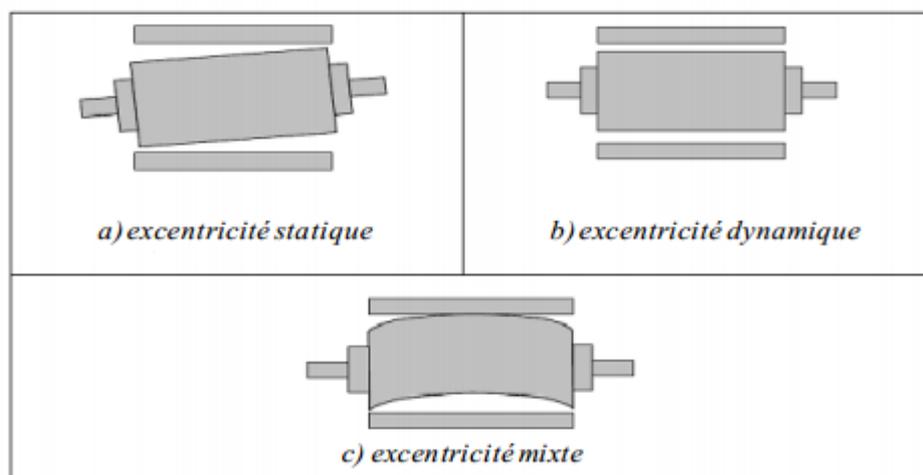


Figure .II. 4 Types d'excentricité [19].

II.4.2.1.a Les causes :

L'excentricité statique peut être causée par l'ovalité du noyau du stator ou par un positionnement du rotor ou du stator lors de la mise en service. En supposant que l'arbre du rotor l'assemblage est suffisamment rigide, le niveau d'excentricité statique ne change pas.

L'excentricité dynamique peut être causée par plusieurs facteurs, tels que la fabrication tolérances, usure des roulements ou désalignement, résonance mécanique à vitesse critique, et fabrication incorrecte des composants de la machine. Le «tourbillon» du rotor à une vitesse critique est une autre source d'excentricité dynamique et est une considération importante dans les plus grandes, machines à arbre flexible [15].

II.4.2.2 Défaillance au roulement mécanique

Les roulements à billes jouent le rôle d'interface électromécanique entre le stator et le rotor. En outre, ils représentent l'élément de maintien de l'axe de la machine permettant d'assurer une bonne rotation du rotor. Ce type de défaut est le plus fréquent sur les machines de fortes puissances. Il est, généralement, lié à l'usure du roulement et plus précisément une dégradation des billes, ou de la bande de roulement. Les causes possibles sont [15,18] :

- La surcharge thermique.
- désalignement de l'arbre.
- charge excessive (statique et / ou dynamique), (axiale / radiale combinée).
- surcharge mécanique
- chocs et vibrations excessifs
- ajustement de l'arbre inapproprié.
- défauts d'usinage.
- une mauvaise manipulation et / ou montage.
- une mauvaise application.
- une mauvaise installation.
- problèmes environnementaux / externes.
- contrainte de cisaillement.



Figure .II. 5 Un exemple réel d'un problème d' roulement [15].

II.4.3 Défaillances d'autres origines

Les travaux menés dans ce domaine ont surtout concerné l'influence de la dynamique de la charge sur la détection et le diagnostic d'autres défauts tels que la rupture d'une barre ou l'excentricité du rotor. Ces études ont montré que l'introduction de perturbations ou d'oscillations par la charge pouvait masquer l'apparition des défauts du moteur [20].

Pour maîtriser l'étude des défauts de la charge, une connaissance parfaite de cet élément s'avère nécessaire. Pour ce faire, on peut procéder tout d'abord à une classification des différents types de charge les plus rencontrés [20]:

- charge à couple constant : le couple n'est pas fonction de la vitesse (Ex : traction, convoyeur, tapis roulant,...).
- Charge à couple variable : le couple varie en fonction de la vitesse (ex : pompe centrifuge, ventilateur,...).
- Charge à puissance constante : tels que les broyeuses, les affûteuses, les bobineurs,.....

La charge peut donc être le siège de mauvaises conditions de fonctionnement qui aboutissent à l'apparition de défauts tels que :

- Surcouples accidentels.
- à-coups de couple accidentels.
- Perturbations mécaniques dues aux vibrations et phénomènes de résonance mécanique liés à la construction de la machine ou introduites par l'environnement extérieur.

II.5 Des grandeurs mesurables dans la surveillance des machines électriques

A ce jour, c'est l'analyse des grandeurs mesurables et les signaux de défaut qui est la démarche la plus souvent utilisée pour le diagnostic de défauts sur les machines électriques. Les grandeurs et signaux de défauts les plus fréquemment utilisés sont [14] :

- Les courants statoriques.
- Le flux rayonnant de dispersion.
- La tension d'alimentation.
- La tension de neutre.
- Le couple électromagnétique
- La vitesse de rotation.

- La puissance instantanée.
- Les courants dans les repère de Park i_α, i_β .
- La vibration mécanique.



Figure .II. 6 Exemple de dégâts dus au défaut de court-circuit statorique d'un moteur asynchrone [19].

II.6. Conclusion

Ce chapitre est un prétexte à la présentation des notions très importantes sur les défauts dans les machines et leurs origines, Quelques statistiques, leurs causes. Les grandeurs mesurables dans la surveillance des machines électriques.

Partie II

Expérimentale

Chapitre 3

Matériel et méthodes

III.1. Introduction

Le diagnostic consiste à mesurer les signaux de la machine électrique. L'analyse de la signature du courant de moteur sous l'abréviation MCSA (*Motor Current Signature Analysis*), a pour rôle d'investir l'apparition des informations caractérisant les défauts. Une comparaison entre les mesures est effectuée sur un signal de référence (sain) avec un autre signal du défaut (défectueux). Aussi, nous proposons une méthode d'analyse du signal du courant par la transformé de Fourier rapide (FFT), qui sera appliquée aux défauts d'excentricité.

Ce chapitre expose une présentation sur la méthode de traitement de signal appliqué pour la détection des défauts des machines tournantes.

III.2. Diagnostic par mesure du courant statorique

Parmi tous les signaux utilisables, le courant statorique s'est avéré être l'un des plus intéressants, car il est très facile d'accès et nous permet de détecter aussi bien les défauts électriques que les défauts purement mécaniques. Cette technique est dénommée "*Motor Current Signature Analysis*" (MCSA). Les défauts de la machine asynchrone se traduisent dans le spectre du courant statorique soit par [21] :

- L'apparition des raies spectrales dont les fréquences sont directement liée à la fréquence de rotation de la machine, aux fréquences des champs tournants et aux paramètres physiques de la machine (nombre d'encoche rotorique et nombre de paires de pôles).
- La modification de l'amplitude des raies spectrales, déjà présentés dans le spectre du courant. La surveillance via le courant statorique nécessite une bonne connaissance des défauts et leurs signatures. Elles sont utilisées pour le moment dans le contexte de machines alimentées par le réseau et pour la recherche de fréquence caractéristique de défauts.

III.3. L'analyse spectrale

L'analyse spectrale ou l'analyse de fréquence, c'est la technique la plus ancienne. Ses bases mathématiques remontent au dix-septième siècle suite aux travaux de Sir Isac Newton, le premier qui a introduit le mot spectre comme terme scientifique. Ce n'est qu'en 1822 que l'ingénieur et le physicien Français Jean Baptiste Joseph Fourier introduisit sa célèbre transformée appliquée aux signaux non-périodiques, cette transformée est la généralisation de

la série de Fourier appliquée aux signaux périodique discrets, et elle permet le passage du domaine temporel au domaine fréquentiel. Le développement en 1965 par les deux Américains J.W. Cooley et J.W. Tukey d'un algorithme célèbre appelé transformée de Fourier rapide (FFT) a rendu la transformée de Fourier discrète très attractive. Mathématiquement, la transformée de Fourier rapide est donnée par [21] :

$$x(f) = \int_{-\infty}^{+\infty} x(t)e^{-j\omega t} dt$$

Généralement, pour analyser un signal par la technique FFT, on doit prendre en compte les paramètres suivants [22]:

- La fréquence d'échantillonnage.
- Le temps d'acquisition.
- Le nombre des échantillons.
- La résolution fréquentielle.

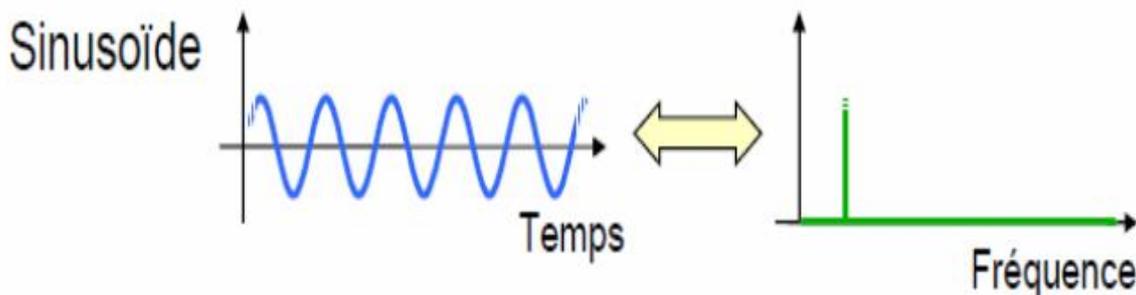


Figure .III. 1. Transformation signal harmonique temporelle au fréquentielle [22].

III.4. Signatures spectrales des défauts de la machine asynchrone

III.4.1. Signatures des harmoniques d'encoches rotoriques

En réalité, l'induction magnétique dans l'entrefer n'est pas sinusoidale, elle est fonction de différents paramètres, tel que la disposition du bobinage statorique et de la structure de la cage rotorique dans le cas des moteurs à cage. A cause de cette structure, Il a été démontré qu'en plus de l'harmonique fondamental, apparaissent dans le spectre du courant statorique des harmoniques dite d'encoches rotoriques ayant pour fréquences [06]:

$$f_{he} = \left[\frac{kN_b}{p} (1-g) \pm n_{os} \right] f \quad (\text{III .2})$$

Avec ($n_{os} = \pm 1, \pm 3, \pm 5, \dots$), p le nombre de paires de pôles, N_b le nombre de barres rotoriques, n_{os} l'ordre des harmoniques de temps de la force magnétomotrice (F_{mm}), et k un entier positif. Pour $k=1$ et $n_{os}=1$, on définit les harmoniques d'encoches principales (*Principal Slots Harmonics 'PSH' en anglais*).

I.4. 2. Signatures des défauts statoriques

Les défauts statoriques regroupent principalement les défauts de court-circuit d'une phase à la terre, court-circuit entre phases, ou court-circuit entre spires. Ils commencent généralement par un court-circuit entre spires, avant d'évoluer vers des défauts plus graves. Une des principales causes de ces défauts est la dégradation de l'isolation qui peut être une dégradation fonctionnelle (liée à la durée de vie de l'enroulement) ou bien due aux conditions d'exploitation et aux contraintes mécaniques, thermiques, électriques et environnementales.

Ce type de défauts entraîne l'apparition d'une série d'harmoniques dans le spectre du flux axial donnée par [06] :

$$f_{st} = \left(k \pm \frac{n(1-g)}{p} \right) f \quad (\text{III .3})$$

Avec $k = 1, 3$ et $n = 1, 2, 3, \dots (2p-1)$.

Le diagnostic des courts-circuits est basé sur la détection des composantes fréquentielles données par l'expression (I.2), du fait que cette onde de flux tournant sera l'origine des composantes de courant équivalentes dans l'enroulement statorique. Les harmoniques 150 Hz, 250 Hz...apparaissent aussi en cas de court-circuit entre spires, mais sont aussi souvent présents à cause de la saturation et de n'importe quel défaut susceptible d'entraîner un déséquilibre d'impédance, tel que le déséquilibre de tension.

I.4. 3. Signatures du défaut de barres rotoriques

Un défaut dans le rotor va engendrer une sorte d'asymétrie qui, dans le cas d'une alimentation par un système de tensions triphasé symétrique, va être à l'origine d'un champ

magnétique inverse de fréquence $-gf$ dans le circuit rotorique. Cela va engendrer des courants circulant dans le circuit statorique à une fréquence $f_{g,bc} = (1-2g)f$. Une autre composante apparaît aussi dans le spectre du courant statorique à une fréquence $f_{d,bc} = (1+2g)f$. Cette composante est due aux fluctuations de la vitesse provoquées par les oscillations du couple. Il a été démontré qu'un processus répétitif donne naissance à une série d'harmoniques dont les fréquences sont données par [06] :

$$f_{bc} = (1 \pm 2kg) f \quad (\text{III .4})$$

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

D'autres composantes spectrales peuvent apparaître dans le spectre du courant statorique à des fréquences données par l'expression suivante :

$$f_{bc} = \left[\frac{k}{p/2} (1-g) \pm g \right] f \quad (\text{III .5})$$

Avec $\frac{k}{p/2} = 1, 3, 5, 7, \dots$

Les défauts de cassure de barres génèrent également dans les signaux du couple et de la vitesse des composantes de fréquences $2kgf$ avec $k = 1, 2, 3, \dots$.

III.4. 4. Signatures des défauts d'excentricité

L'excentricité de la machine est le résultat du non uniformité d'entrefer. Ce défaut peut être la cause d'une flexion de l'arbre, d'un mauvais positionnement du rotor par rapport au stator, de l'usure du roulement ou encore d'un déplacement du noyau statorique. Il existe trois types d'excentricité [06]:

III.4. 4. 1. Excentricité statique

Dans ce type d'excentricité, la position de l'épaisseur minimale de l'entrefer est fixe dans l'espace. Elle peut être causée par l'ovalité de la partie intérieure du stator ou encore par le mauvais positionnement du rotor ou du stator durant la phase de construction. Si cependant l'assemblage entre le rotor et l'arbre est suffisamment rigide, le niveau d'excentricité statique ne change pas.

III.4. 4. 2. Excentricité dynamique

L'excentricité dynamique apparaît lorsque le centre du rotor n'est pas en son centre de rotation et de ce fait la position d'épaisseur minimale d'entrefer tourne avec le rotor. Les causes de ce type d'excentricité sont, la flexion de l'arbre du rotor, l'usure ou le défaut d'alignement du roulement et la résonance mécanique à la vitesse critique.

III.4. 4. 3. Excentricité mixte

En réalité, les excentricités statique et dynamique ont tendance à coexister. Même à l'état sain, la machine présente toujours un certain degré d'excentricité statique résiduelle dû aux inévitables erreurs de fabrication.

La présence de l'excentricité se manifeste par la création d'harmoniques dans le spectre du courant à des fréquences données par [06] :

$$f_{exe} = \left[\left(\frac{kN_b \pm n_d}{p} \right) (1-g) \pm n_{os} \right] f \quad (\text{III .6})$$

avec k un entier, $n_{os} = 1, 2, 3, \dots$ et n_d l'ordre de l'excentricité. n_d égal à 0 pour l'excentricité statique et 1, 2, 3, ... pour l'excentricité dynamique.

Une autre série d'harmoniques liés à l'excentricité mixte, apparaît de part et d'autre de la fondamentale à des fréquences données par :

$$f_{exc-mix} = |f \pm kf_r| \quad (\text{III .7})$$

Tel que k est un entier positif.

III.4.5. Signatures des défauts des roulements

Puisque les éléments roulants du roulement supportent le rotor, quelque soient les défauts dans les roulements, ils vont produire des mouvements radiales entre le rotor et le stator dans la machine. Par conséquent, des variations d'entrefer génèrent dans le courant statorique des raies spectrales de fréquence [05]:

$$f_{roul} = |f_s \mp kf_v| \quad (\text{III .8})$$

D'où : $k = 1, 2, \dots$, et f_v est l'une des fréquences caractéristiques des vibrations (f_b , f_{b-int} ou f_{b-ext})

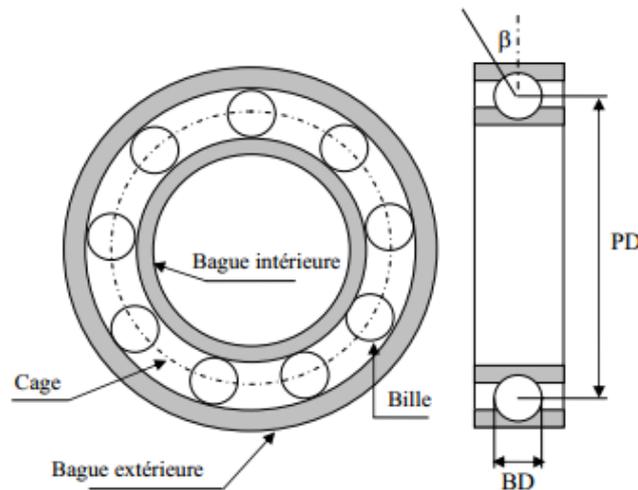


Figure .III. 2. Dimensions du roulement à bille [05].

Les fréquences caractéristiques des vibrations dépendent de l'élément du roulement affecté par un défaut et sont liées aux paramètres physiques du roulement. Selon, les fréquences de vibration qui caractérisent les défauts des roulements à bille sont :

- Défaut au niveau d'une bille :

$$f_b = \frac{PD}{BD} f_{rot} \left[1 - \left(\frac{BD}{PD} \cos \beta \right)^2 \right] \quad (\text{III .9})$$

- Défaut sur la bague intérieure :

$$f_{b-int} = \frac{n_b}{2} f_{rot} \left[1 + \frac{BD}{PD} \cos \beta \right] \quad (\text{III .10})$$

- Défaut sur la bague extérieure :

$$f_{b-ext} = \frac{n_b}{2} f_{rot} \left[1 - \frac{BD}{PD} \cos \beta \right] \quad (\text{III .11})$$

Où n_b est le nombre d'éléments roulants, BD le diamètre d'un élément roulant, PD la distance entre les centres des billes diamétralement opposées, β l'angle du contact des billes avec les bagues du roulement et f_{rot} est la fréquence de rotation du rotor [05].

Pour des dimensions courantes, c'est-à-dire que le nombre de billes est de 6 à 12, les fréquences de vibrations peuvent être approximés par :

- $f_{b-int} = 0.6n_b f_{rot}$ (III .12)

- $f_{b-ext} = 0.4n_b f_{rot}$ (III .13)

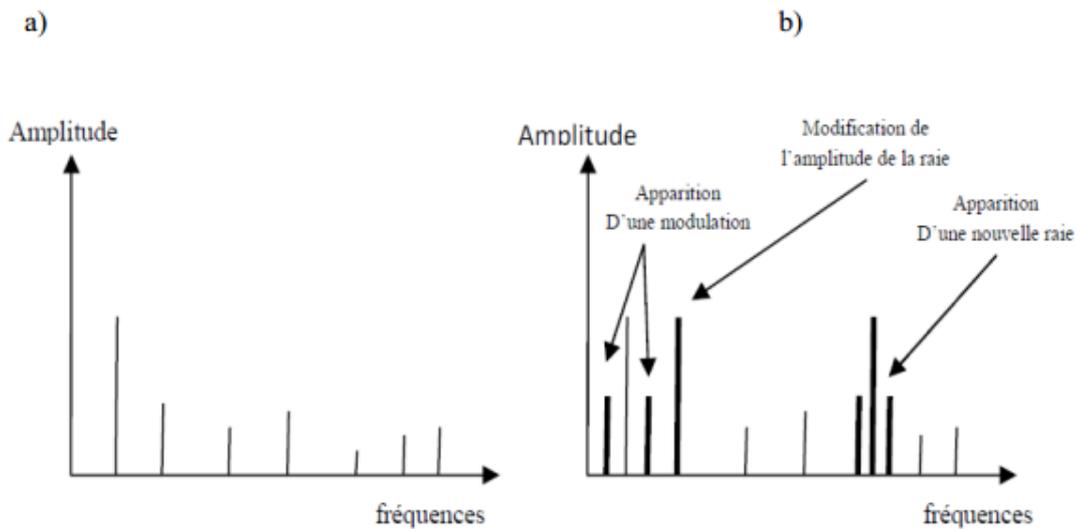


Figure .III. 3. A) spectre en mode sain, b) spectre en mode défaillant [10].

Les différents harmoniques	Les formules globales	Les causes principales
Les harmoniques du temps (TH)	$f_{TH} = (2k + 1)f_s$	Ce type d'harmonique est imposé par la source .
Les harmoniques d'encoches rotoriques (RSH)	$f_{RSH} = (2k + 1)f_s \pm \lambda_{br} \cdot f_r$	De la structure naturelle de la machine asynchrone à cage (la distribution discrète des encoches rotoriques).
Harmonique d'excentricité (EFH)	$f_{EFH} = (2k \pm 1)f_s + f_r$	Excentricité mixte
Harmonique cassure de barre (RBFH)	$f_{RBFH} = ((2k \pm 1) + 2s)f_s$	L'asymétrie résiduelle du moteur au niveau du rotor.

Tableau III.1 Les harmoniques du courant statorique. [22].

III.5. Analyse spectrale du courant statorique par la FFT

L'apparition du défaut se manifestera dans le courant statorique par la modulation de son amplitude à la fréquence $2gfs$. Nous avons visualisé le courant statorique en régime permanent dans l'état sain, puis avec une barre cassée.

D'après ces figures, on constate qu'il est difficile d'analyser directement le courant statorique. Car, il est clair que l'ordre des grandeurs de la modulation est relativement faible. Seule la représentation fréquentielle du signal du courant statorique, donne des renseignements précieux sur sa composition [05].

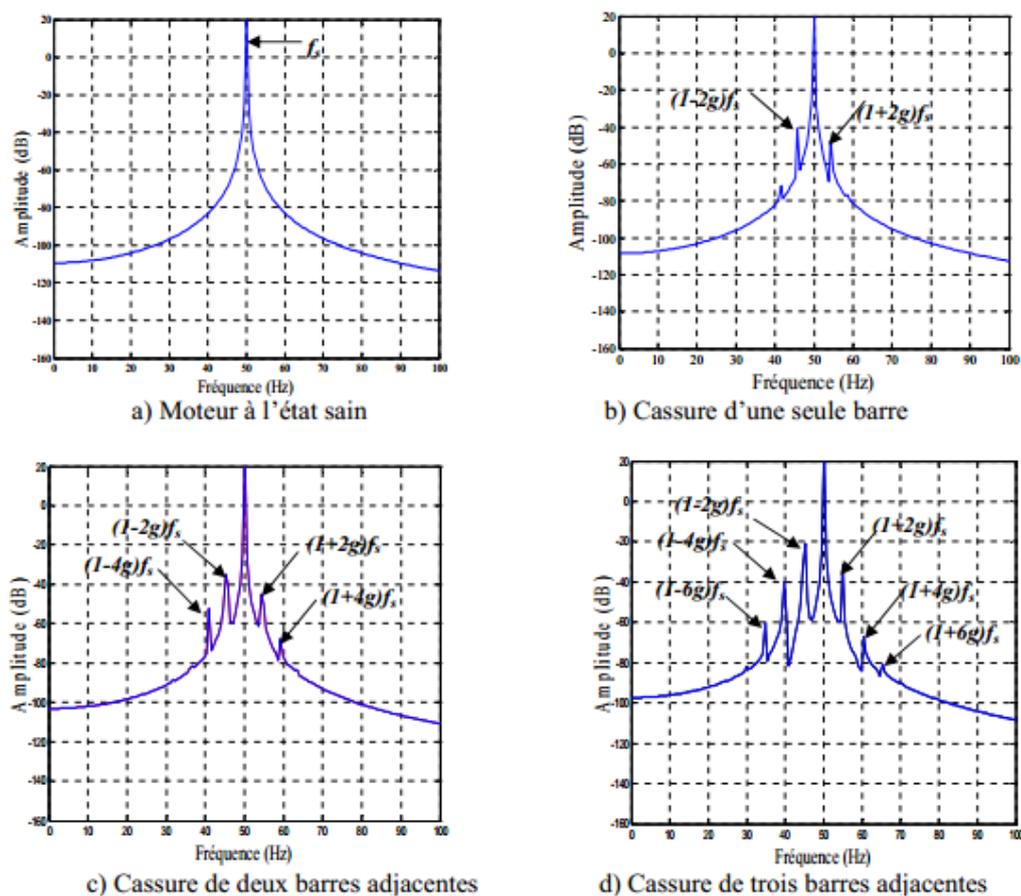


Figure III. 3. Analyse spectrale du courant statorique de la MAS [16].

III.6. Conclusion

Ce chapitre est un prétexte à la présentation d'une méthode de diagnostic, telles que les méthodes basées sur le traitement du signal (analyse spectrale). Le chapitre suivant sera consacré au développement des méthodes de diagnostic des machines asynchrones (approche signal). On a présenté aussi la différence entre le spectre réel et linéaire dans le diagnostic.

Chapitre 4

Résultats et discussion

IV.1. Introduction

L'objectif dans ce chapitre est développer un logiciel qui exploite toutes les méthodes et les informations, d'une manière simple et interactive, à toutes les informations concernant l'état de la machine et son régime de fonctionnement. Il est important de noter que ce logiciel, qu'on va présenter, n'est qu'une première tentative vers le développement d'un logiciel complet et fiable dédié à la détection des défauts dans les machines électriques

- **Remarque**

Nous avons problème dans la programmation sur le MATLAB qui empêche les résultats de sortir et d'atteindre des résultats satisfaisants.

IV.4. Résultats à atteindre

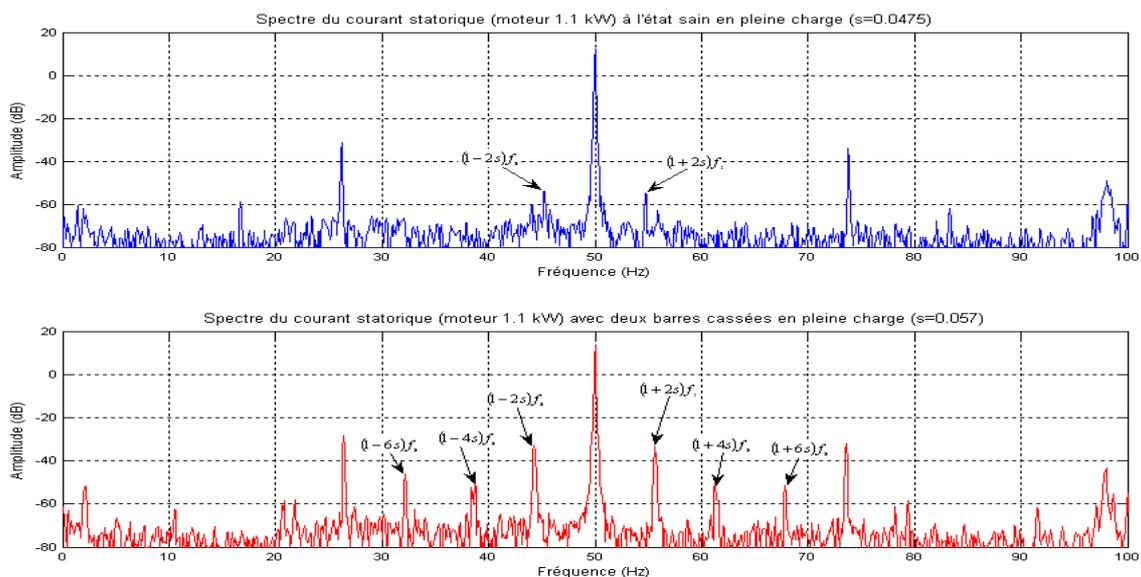


Figure IV.1. Les composantes, autour du fondamental, caractérisant le défaut de barres [07].

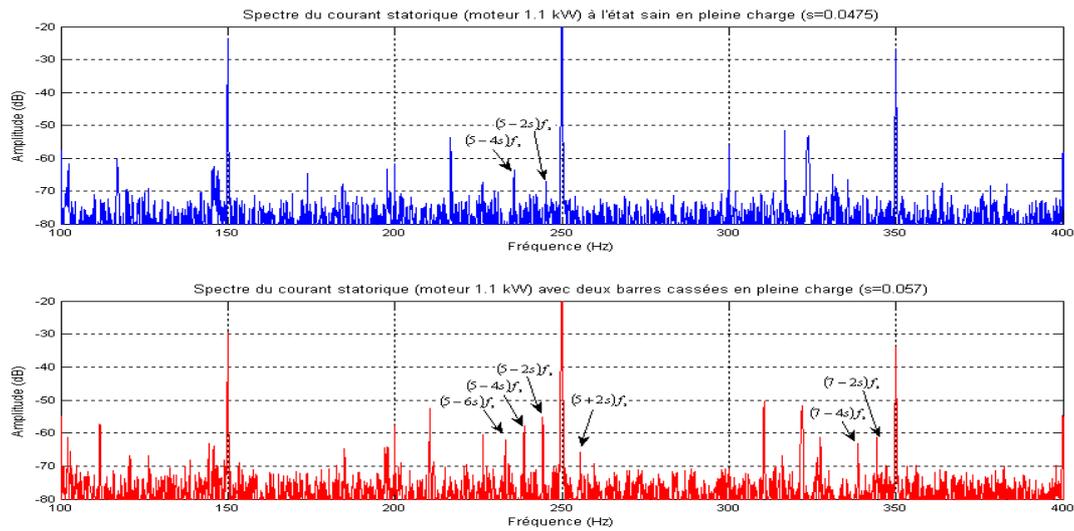


Figure IV.2. Les composantes, autour des TH, caractérisant le défaut de barres [07].

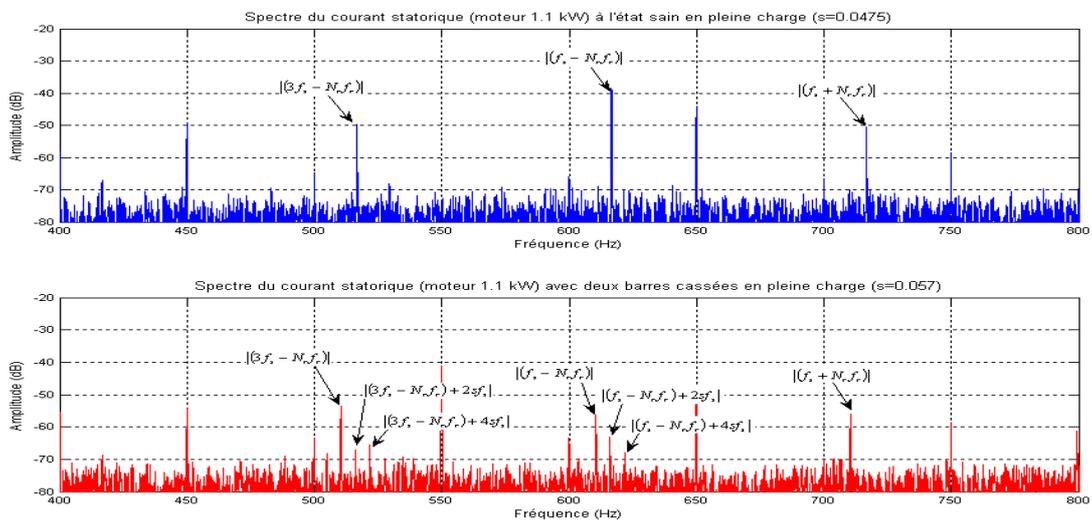


Figure IV.3. Les composantes, autour des RSH, caractérisant le défaut de barres [07].

III.5. Conclusion

Cette partie explique la réalisation d'un programme de maintenance des machines électrique, le programme vise à définir les amplitudes et les fréquences des certains défauts.

Conclusion générale

Conclusion générale

L'intérêt grandissant des industriels pour la maintenance des entraînements électriques justifie les efforts déployés pour le diagnostic des machines asynchrones. Mais la complexité des systèmes mis en jeu et le besoin d'une maintenance préventive nécessitent aujourd'hui un travail préalable de modélisation et de simulation ainsi qu'une détection précoce du défaut.

Nous avons rappelé la constitution de la machine asynchrone et ses défaillances les plus fréquentes. Les ruptures de barres font l'objet de notre étude. Nous avons ensuite présenté les différentes approches de la modélisation des machines électriques asynchrone. Compte tenu de leur fréquence d'utilisation des machines asynchrones dans l'industrie, la détection précoce des défauts dans ces machines est devenue un enjeu économique important.

Pour aborder l'étude, nous avons cité les différents défauts pouvant intervenir dans la machine asynchrone et leurs causes.

Nous avons examiné les points suivants tout au long de ce travail:

Dans le premier chapitre, nous avons mené une expérience théorique sur le diagnostic et la maintenance des défauts dans les machines électriques.

Dans le deuxième chapitre, nous avons présenté des définitions très importantes sur les défauts des machines et leurs origines, quelques statistiques et leurs causes. Grandeurs mesurables dans la surveillance des machines électriques.

Dans le troisième chapitre, nous avons représenté le modèle utilisable et l'idée de notre travail et des explications sur l'analyse spectrale.

Enfin, dans le quatrième chapitre, nous avons rencontré un problème avec le programme, mais nous avons transféré des courbes explique les résultats qui nous voulons atteindre.

Liste des références

Liste des références

- [01] **K. Samia**, «Modélisation des machines asynchrones en vue du diagnostic prise en compte adéquate du circuit magnétique» thèse de magister, Université de Biskra 2012.
- [02] **B. Bader-Eddine et Z. El- Haddi**, «Analyse des défauts du ventilateur DK1 four1 N°525 par l’application d’une méthode de maintenance conditionnelle cas de djebel Onk Bir El Ater» thème de master, Université de Tebessa 2016.
- [03] **C. Breneur**, «éléments de maintenance préventive de machines tournantes dans le cas de défauts combinés d’engrenages et de roulements» thèse de doctorat, école doctorale des sciences pour l’ingénieur de Lyon 2002.
- [04] **B. Tahar**, «La maintenance des équipements par l’analyse vibratoire» thème de master, Université de Ouargla 2016.
- [05] **S. Mohammed**, «Contribution au diagnostic d’une Machine Asynchrone Triphasée à cage» thèse de magister, Université de Biskra 2003.
- [06] **Y. Khaled**, «Contribution au diagnostic de la Machine Asynchrone Triphasée par une approche modèle » thèse de doctorat, Université de Biskra 2012.
- [07] **S. Mohammed**, «Etude comparative des méthodes de diagnostic des machines asynchrone» thèse de doctorat, Université de Biskra 2010.
- [08] **D. Saïd**, «Etude et optimisation de la transformée ondelettes pour la détection des défauts dans les roulements» thèse de magister, Université de Souk-Ahras.
- [09] **M. Ayad**, «recherche de signature robustes des défauts dans une machine tournante à travers l’analyse de signaux vibratoire» thèse de doctorat, Université de Sétif 2015.
- [10] **M. Yaakoub**, «Diagnostic des défauts mécanique du moteur asynchrone par l’analyse vibratoire» thème de master, Université de Biskra 2019.
- [11] **H. Djamel**, «Contribution à l’amélioration de la maintenance préventive des machines dynamiques dans l’industrie des hydrocarbures», thèse de doctorat, Université de Boumerdes 2014
- [12] **B. Halima**, «Analyse des stratégies de maintenance des systèmes de production industrielle», thèse de doctorat, Université d’Oran 2015.
- [13] **A. CEBAN**, «Méthode globale de diagnostic des machines électriques», thèse de doctorat, Université Lille de Nord de France – École doctorale SPI 2012.
- [14] **B. Vaseghi**, «Contribution à l’étude des machines électrique en présence de défaut entre-spikes. Modélisation – Réduction de courant de défaut », thèse de doctorat, Nancy université-institut national Polytechnique de Lorraine-école doctorale 2009.

- [15] **M. Dumitru Negrea**, «electromagnetic flux monitoring for detecting faults in electrical machines», thèse de doctorat, UNIV of technology (Espoo,finland) 2006
- [16] **Y. Laamari** , «diagnostic des défaillances dans les systèmes électromécanique », thèse de doctorat, UNIVERSIT Badji Mokhtar Annaba 2016.
- [17] **A.Ibrahimi**, « contribution au diagnostic de machines électromécaniques : exploitation des signaux électriques et de la vitesse instantanée», thèse de doctorat, UNIVERSITÉ DE SAINT ETIENNE 2009.
- [18] **A. Medoued** , «surveillance et diagnostic des défauts des machines électriques : application aux moteur asynchrones », thèse de doctorat, UNIVERSITÉ DE Skikda 2012.
- [19] **H. cherif** , «détection des défauts statorique et rotorique dans la machine asynchrone en utilisant l'analyse par FFT et ondelette », thèse de magister, UNIVERSITÉ DE Biskra 2014.
- [20] **C. Abdelghani**, «Identification paramétrique de la machine asynchrone dédiée au diagnostic », thèse de doctorat, UNIVERSITÉ DE ORAN 2017.
- [21] **I. Moumen**, «Identification des défauts mixtes d'engrenage et de roulement par l'analyse vibratoire», thèse de magister, UNIVERSITÉ DE Guelma 2010.
- [22] **A, Yacine** «Diagnostic de l'excentricité dans la machine asynchrone», thème de master, UNIVERSITÉ DE Biskra 2017.

ملخص:

يركز هذا العمل على تشخيص وصيانة الأعطال في المحركات الكهربائية، قمنا بدراسة المحركات الغير متزامنة للتأكد من اكتمالها و سهولة صيانتها و استخدامها على نطاق واسع و متعدد. في هذه المذكرة قمنا بشرح كيفية التشخيص وطرق الصيانة المختلفة للالة الكهربائية من خلال الصيانة الوقائية والتصحيحية كما ناقشنا استخدام برنامج تشخيص الأعطال الكهربائية.

كلمات مفتاحية: تشخيص صيانة - آلة غير متزامنة

Abstract:

This work focuses on the diagnosis and maintenance of faults in electric motors, for example, we have studied asynchronous motors for completeness, ease of maintenance and wide and multiple uses. In this thesis presented Explain how and how to diagnose and different maintenance methods for the electric machine through preventive and corrective maintenance. We also discussed the use of electrical malfunction diagnostic software.

Keywords: Diagnose, rotor eccentricity, Asynchronous machine.

Résumé :

Ce travail se concentre sur le diagnostic et la maintenance des défauts dans les moteurs électriques, par exemple, nous avons étudié les moteurs asynchrones pour l'exhaustivité, la facilité de maintenance et une utilisation large et multiple. Dans cette mémoire présentée Expliquez comment et comment diagnostiquer et différentes méthodes de maintenance pour la machine électrique grâce à la maintenance préventive et corrective. Nous avons également discuté de l'utilisation d'un logiciel de diagnostic des dysfonctionnements électriques.

Mots clés: diagnostic, excentricité du rotor, Machine asynchrone.