

République Algérienne Démocratique et Populaire

**Ministère de l'Enseignement Supérieure et de la
Recherche Scientifique**



Université Echahid Hamma Lakhdar d'El-Oued

FACULTE DE TECHNOLOGIE

DEPARTEMENT DE GENIE MECANIQUE

Mémoire de fin d'étude

Présenté pour l'obtention du diplôme de

MASTER ACADEMIQUE

Domaine : Sciences et Technologies

Filière : Electromécanique

Spécialité : Electromécanique

Thème

**Etude de la vibration des machines à
induction sous un défaut de roulement**

Devant le jury composé de :

Présenté par :

Dr.NECIB Djilani

Président

BENINE Hamza

Mr.ZINE Bachir

Examineur

DERDOURI Mohammed Aymane

Dr. BESSOUS Noureddine

Encadreur

2017-2018

Remerciement

D'abord nous remercions le bon dieu qui nous a donné le courage et la volonté pour terminer notre mémoire.

Nous tiens à remercier Dr. BESSOUS Noureddine notre encadreur, pour avoir accepté de diriger notre travail, pour son esprit d'ouverture et sa disponibilité, pour son aide et ses chers conseils pour développer le présent mémoire avec succès.

Nous n'oublierons pas de remercier les membres du jury qui vont nous abonner en acceptant de juger ce travail.

Enfin nous tenons à remercier tous ceux qui nous ont aidés de près ou de loin pendant ce travail.

Benine Hamza

Derdouri Mohammed Aymane

Dédicaces

C'est avec un cœur plein de joie que je dédie ce modeste travail :

A ceux qui m'ont été une source d'inspiration et de volonté : mon exemple de vie mon très cher père que la grâce du dieu est à lui , ma très chère mère pour leurs sacrifices et encouragements durant toute la période de mes études , ma deuxième mère (ma chère sœur) et mon cher frère .

A tous mes frères et sœurs.

*A toute la famille **BENINE***

A mes amis.

A tous mes collègues et tous ceux dont les noms ne figurent pas sur cette liste.

BENINE HAMZA

Dédicaces

C'est avec un cœur plein de joie que je dédie ce modeste travail :

A ceux qui m'ont été une source d'inspiration et de volonté : mon exemple de vie mon très cher père et ma très chère mère pour leurs sacrifices et encouragements durant toute la période de mes études.

A tous mes frères et sœurs.

*A toute la famille **DERDOURI**.*

A mes amis.

A tous mes collègues et tous ceux dont les noms ne figurent pas sur cette liste.

DERDOURI MOHAMMED AYMANE

Liste des figures

Chapitre I: Généralité et synthèse sur la surveillance de machine asynchrone

Figure (I.1): Composants de base de la machine asynchrone.....2

Figure (I.2): Constitution de la machine asynchrone.....3

Figure (I.3): Photo du stator d’une machine asynchrone.....4

Figure (I.4): Rotor à cage.....4

Figure (I.5): Rotor bobiné.....5

Figure (I.6): Schéma de principe d’une machine asynchrone.....5

Figure(I.7) :une bobine de stator crée un champ magnétique \vec{B} 5

Figure(I.8) : deux bobine de stator crée un champ magnétique \vec{B}6

Figure(I.9) :trois bobine de stator crée un champ magnétique \vec{B}6

Figure (I.10): Champ magnétique tournant.....7

Figure (I.11): Composantes de la surveillance industrielle comme la (machine asynchrone).8

Figure (I.12): : Évolution du pourcentage des défauts pendant une décennie.....9

Figure (I.13): Causes externes de défauts de la machine asynchrone triphasée à cage.....10

Figure (I.14): Causes internes de défauts de la machine asynchrone triphasée à cage.....11

Figure (I.15): Représentation des différents défauts statoriques possibles.....12

Figure (I.16): Différents défauts au niveau de stator de la machine asynchrone.....14

Figure(I.17):Défaut d’un rotor à cage d’écureuil.....15

Figure (I.18): Photo d'une barre cassée.....15

Figure(I.19):Défauts d’excentricités.....16

Figure (I.20): Photo d'une cassée Les roulements.....17

Figure (I.21): Les points de mesures.....19

Figure (I.22): schéma synoptique du principe de la méthode du spectre du courant statorique.....20

Figure (I.23): Mesures vibratoires sur la machine asynchrone.....21

CHAPITRE II: analyse vibratoire pour les défauts de roulement

Figure (II.1) : Eléments d'un roulement.....24

Figure (II.2) : Cages de séparation des éléments tournants : moulées, agrafées, embouties...25

Figure(II.3) : Eléments tournants ; billes, rouleaux : cylindriques, coniques, sphériques...26

Figure (II.4) : Types de roulements.....27

Figure (II.5): types de charge deroulements.....28

Figure (II.6) : Photos Ecaillage de fatigue sur la d'un roulement dans la BE.....29

Figure (II.7) : Corrosion de contact sur la bague Intérieur d'un roulement à rouleaux sphérique.....29

Figure (II.8) : Déformation de cage d'un roulement à billes de contact angulaire.....29

Figure (II.9) : usure à billes.....30

Figure (II.10) : Jeu de roulement (axial et radial).....30

Figure (II.11) : Fréquences caractéristiques des défauts des éléments d'un roulement.....31

Figure (II.12) : Types de signaux vibratoires.....35

Figure (II.13) : Signal périodique.....35

Figure (II.14) : Représentation d'un signal non périodique.....36

Figure (II.15) : Signal aléatoires.....36

Figure (II.16) : Mouvement d'une masse suspendue a un ressort.....37

Figure (II.17): Système à un degré de liberté.....38

Figure (II.18) : Différentes méthodes d'analyse.....39

Figure (II.19): Représentation des différentes amplitudes41

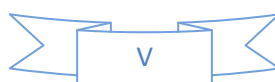


Figure (II.20) : Grandeurs associées à une vibration.....	42
Figure (II.21): Transformation signale harmonique temporelle au fréquentielle.....	45
Figure(II.22) : Spectre correspondant à la fonction $F(t)$	45
Figure (II.23): Schéma de principe d'un capteur de vibration.....	46
Figure (II.24); Capteur vibrotest.....	47
Figure (II.25): Les capteurs de vitesse	48
Figure (II.26): schéma de principe d'un accéléromètre piézoélectrique.....	49
Figure (II.27): Capteur de déplacement.....	49
Figure(II.29): points de mesure de vibrations.....	50

Chapitre III: analyse du défaut de roulement expérimentalement

Figure (III.1) : Photo du banc d'essai dédié à l'analyse vibratoire.....	51
Figure (III.2) : Photos d'un roulement défectueux dans la BE et BI.....	52
Figure (III.3) : Différentes plages des fréquences du spectre d'un signal vibratoire (BE, $g=0.004$	56
Figure (III.4): Différentes plages des fréquences du spectre d'un signal vibratoire (BE, $g=0.032$).....	58
Figure(III.5): Evolution d'amplitude en fonction des Harmonique de charge nominale (BE, $g=0.032$).....	58
Figure (III.6) : Spectre d'un signal vibratoire aux alentours de différentes plages fréquentielles (BI, $g=0.004$).....	62
Figure (III.7): Différentes plages des fréquences du spectre d'un signal vibratoire (BI, $g=0.032$).....	65
Figure(II.8): Evolution d'amplitude en fonction des Harmonique de charge nominale (BI, $g=0.032$).....	66

Liste des Tableaux

Tableau (III.1) : résume les bandes fréquentielles (BE: $g = 0.004; g = 0.032$) état vide et en charge.....	54
Tableau (III.2) : Récapitulation de quelques harmoniques théoriques et pratiques dans le spectre d'un signal vibratoire (BE, $g = 0.004$).....	56
Tableau (III.3) : Récapitulation de quelques harmoniques théoriques et pratiques dans le spectre d'un signal vibratoire (BE, $g = 0.032$).....	59
Tableau (III.4) : résume les bandes fréquentielles (BI $g = 0.004$ et $g = 0.032$) état vide. et en charge.....	60
Tableau (III.5) : Récapitulation de quelques harmoniques théoriques et pratiques dans le spectre d'un signal vibratoire (BI, $g = 0.004$).....	63
Tableau (III.6) : Récapitulation de quelques harmoniques théoriques et pratiques dans le spectre d'un signal vibratoire (BI, $g = 0.032$).....	66

Notations et symboles

C_0 :	Charge de base statique du roulement [N]
P_0 :	Charge statique équivalente [N]
S_0 :	Coefficient de sécurité statique [tr/min]
C :	Charge dynamique de base [N]
P :	Charge dynamique équivalente [N]
F_a :	Charge axiale du roulement [N]
F_r :	Charge radiale du roulement [N]
L_{10} :	Durée de vie pour une probabilité de défaillance de 10% [tours]
$d_m,$	D_m : Diamètre moyen du roulement [m]
d :	Diamètre entier du roulement [m]
D :	Diamètre extérieur du roulement [m]
α :	Angle de contact du roulement [rad]
f_e :	Fréquence de la bague externe [Hz]
f_i :	Fréquence de la bague interne [Hz]
f_c :	Fréquence de la cage [Hz]
f_b :	Fréquence de élément roulants [Hz]
f_s :	fréquence de glissement [Hz]
N_b :	nombre de billes de roulement
f_{exe} :	fréquence d'excentricité [Hz]
θ :	Position mécanique du rotor [rad]
φ :	Ouverture angulaire (position dans l'espace). Fonction d'enroulement.
ϕ_i :	Phase de la composante vibratoire
Dép :	Déplacement d'une vibration
Vit :	Vitesse vibratoire [m/S].
Acc :	accélération de la vibration. [m^2 / s]
A :	Amplitude moyenne.
P :	puissance de la vibration
R_b :	Résistance d'un barreau du rotor [Ω]
R_e :	résistance d'une portion d'anneau [Ω]
R_s :	Résistance d'une phase statorique [Ω]
L_a :	Inductance de fuite d'une portion d'anneau de court circuit du rotor[H].
N_s :	nombre de spires statoriques par phase

I_s :	courant d'une phase statorique [A]
θ :	position [rd]
e_0 :	épaisseur de l'entrefer [m]
C_e :	couple électromagnétique [N.m]
C_r :	couple mécanique résistant [N.m]
B_s :	induction magnétique créée dans l'entrefer par le courant statorique [T]
p :	Nombre de paires de pôles
Ω_r :	Vitesse mécanique du rotor [rd/s]
ω_s :	Pulsation statorique [rd/s]
t :	temps [s]
i :	Courant électrique[A]
g :	Glissement
B :	Induction magnétique [T]
ψ :	Flux magnétique [Wb]
H :	Champ magnétique [T]
C_e :	Couple électromagnétique [N.m]
C_r :	Couple mécanique résistant [N.m]
MAS :	Machine (Moteur) Asynchrone
TFR :	Transformée de Fourier rapide
TOD :	Transformée en ondelettes discrete
RBPF :	Rotor Bar Pass Frequency
DBE :	Défaut de la Bague Extérieure
DBI :	Défaut de la Bague Intérieure .
DB :	Défaut de la bille du roulement .
A_{eff} :	Valeur efficace d'une amplitude (RMS).
FC :	Facteur crete.
Akurt :	Kurtosis
TFR :	Transformée de Fourier rapide .
TOD :	Transformée en ondelettes discrete
TO :	Transformée en ondelettes

Sommaire

Remerciements	
Dédicaces	
Liste des figures	i
Listes des tableaux	iv
Notations et symboles	v
Sommaire	vii
Introduction générale	1
Chapitre I: Généralité et synthèse sur la surveillance de machine asynchrone	
I.1. Introduction.....	2
I.2. Présentation de la machine asynchrone.....	2
I.3. Constitution de la machine asynchrone à cage.....	2
I.3.1. le stator.....	3
I.3.2.Le rotor.....	4
a. rotor à cage(d'écureuil).....	4
b. rotor bobiné	4
I.4. Principe de fonctionnement d'une machine asynchrone.....	5
I.5. Définitions des termes de base utilisés en Surveillance.....	7
I.5.1. Surveillance.....	7
I.5.2.Détection.....	8
I.5.3. Diagnostic.....	8
I.6. Etude statistique des défauts de la machine asynchrone	8
I.7. la cause et la conséquence cas de défaut de machine asynchrone.....	10
I.7.1 Les causes des défauts internes et externes de machine asynchrone	10
I.7.2. Conséquences des défauts de la machine asynchrone	11

I.8. défaillances de la machine asynchrone	12
I.8. a. Défauts du stator.....	12
I.8.1. Défaut ouverture de phase.....	13
I.8.2. Défaut phase- terre.....	13
I.8.4. Court-circuit entre phases.....	13
I.8.b. Défauts du rotor.....	14
I.8.1. Défauts de rupture de barres et d’anneau de court-circuit:.....	15
I.8.2. Ruptures de barres par de court-circuit	15
I.8.3. Ruptures d’anneau par de court-circuit.....	15
I.8.4. Défauts d'excentricité.....	16
I.8.4.1. Excentricité statique.....	16
I.8.4. 2. Excentricité dynamique.....	16
I.8.4.3. Excentricité mixte	16
I.9. défaillances mécanique.....	17
I.9.1. défauts des roulement.....	17
I.10. défaillances d' autres origines	17
I.10.1. défauts de la charge.....	17
I.11. Principe du diagnostic des défauts dans la machine asynchrone.....	18
I.12. Techniques de détection des défauts dans les machines asynchrones.....	19
I.12.1. Diagnostic par l’analyse de puissance instantanée.....	19
I.12.2. Diagnostic par l’analyse couple électromagnétique.....	19
I.12.3. Diagnostic par l'analyse des tensions statorique induites	19
I.12.4. Diagnostic par l’analyse chimique.....	20

I.12.5. Diagnostic par l'analyse du courant statorique.....	20
I.12.6. Diagnostic par l'analyse de flux magnétique.....	20
12.7. Diagnostic par l'analyse des fluctuations de la vitesse	21
I.12.8. Diagnostic par l'analyse vibratoire de la machine.....	21
I.13. Techniques de traitement de signal utilisées dans le diagnostic.....	22
I.13.1. Transformée de Fourier Rapide (TFR).....	22
I.13.2. Transformée de Fourier à fenêtre glissante (TFFG).....	22
I. 13. 3. Transformée en ondelettes (TO)	22
I.14. Conclusion.....	23
CHAPITRE II: analyse vibratoire pour les défauts de roulement	
II.1. Introduction.....	24
II.2. Conception d'un roulement.....	24
a. La bague extérieure	25
b. La bague intérieure.....	25
C. La cage	25
d. Les éléments roulants	25
II.3. Caractéristiques des roulements	26
II.4. Types de roulement	26
II.5. Critères de choix d'un roulement.....	28
II.6. Les défauts de roulements.....	28
a. Ecaillage de fatigue	28
b. Corrosion	29
c. Déformation des cages	29
d. L'usure.....	29
e. Jeu de roulement.....	30
II.7. Fréquences caractéristiques des défauts de roulements.....	30
II.8. lubrification de roulements.....	32
a. Lubrification à la graisse	32
b. La lubrification à l'huile	33

II.9. Méthode de calcul de la durée de vie d'un roulement.....	33
II. 9.1. Durée de vie nominale L10.....	33
II.10. Avantages et inconvénients des roulements	34
a. Avantages	34
b. Inconvénients	34
II.11. Généralité sur les signaux	34
II.11.1. Qu'est ce qu'un signal ?.....	34
II.11.2. Signaux déterministes.....	35
a. Périodiques	35
b. Non périodiques	36
II.11.3 . Signaux aléatoires.....	36
a. Stationnaires.....	36
b. Non stationnaire.....	36
II.12. Analyse vibratoire.....	36
II.12.1. Définition d'une vibration	37
II.12.2. Principe Analyse vibratoire.....	37
II.12.3. Objectif de analyse vibratoire	38
II.12.4. Techniques d'analyse	39
II.12.4. Les avantages et inconvénients analyse vibratoire.....	40
a. Les avantages.....	40
b. Les inconvénients:.....	40
II.13. domaine d'applications analyse vibratoire.....	40
II.14.1 Caractéristiques d'une vibration.....	40
II.14. 1.1 Fréquence	40
II.14.1.a. Définition	40
II.14.1.2 Amplitude.....	41
II.14.1. Définitions.....	41
II.14.1.2. L'amplitude « crête (Ac) ».....	41
II.14.1.3. L'amplitude « crête à crête (Acc)	41
II.14.1.4. L'amplitude « efficace (Aeff) »	41
II.15. Nature des vibrations.....	41
II.15.1. Les grandeurs de mesure d'une vibration.....	41

1.a. Déplacement vibratoire	42
1.b.Vitesse vibratoire.....	42
1.c. Accélération vibratoire	42
II.15.2. Choix des grandeurs de mesure.....	42
II.16. Méthodes d'analyse.....	43
II.16.a. Méthodes temporelles.....	43
II.16.a.1. Valeur efficace ou valeur RMS (Root Mean Square).....	43
II.18.a.2. Facteur de crête.....	43
II.18.a.3. Le kurtosis.....	44
II.16.b. Analyse dans le domaine de fréquence.....	44
II.16.b.1. Analyse spectrale.....	45
II.16.b.2. Analyse cepstral.....	45
II.16.b. 3. Analyse d'enveloppe.....	46
II.17. Diagnostic vibratoire	46
II.18. Mesure des vibrations.....	46
II.18.1 .Capteurs et grandeurs mesurées	46
II.18.1.1 Les caractéristiques et type de capteurs.....	46
a. Capteurs de vitesse	47
a.1vélocimètres.....	47
b. Capteurs d'accélération	48
Accéléromètre piézoélectrique	49
c. Capteur de déplacement	49
c.1.Avantages.....	49
c.2.Inconvénient.....	49
II.19. Les points de mesure vibration.....	49
II.20.Conclusion	50
 Chapitre III: analyse du défaut de roulement expérimentalement 	
III.1. Introduction	51
III.2. Banc d'essai des roulements.....	51

III.3. analyse du défaut dans la bague extérieure et la bague intérieure du roulements.....	51
III.4. Confirmation des règles et équations des fréquences.....	52
III.5. Fonctionnement a vide dans la machine asynchrone ($c_e=0$ Nm).....	53
III.6. Fonctionnement en charge dans la machine asynchrone ($c_e=15$ Nm).....	53
III.7. Mesure de vibration pour un défaut dans la bague externe.....	53
III.8. les bandes fréquentielles dans la bague externe.....	54
III.8. Mesure de vibration pour un défaut dans la bague interne.....	59
III .9. les bandes fréquentielles dans la bague interne.....	60
III.10. Conclusion.....	66
Conclusion générale	67
Annexe	68
Bibliographie	69
Résumé	

Introduction générale

Introduction générale

La machine à induction (machine asynchrone) est devenue très utilisée dans les différents domaines de l'industrie. La raison de ses utilisations dans le secteur industriel est à cause de sa simplicité, sa structure, sa robustesse, son faible achat et de l'absence de frais d'entretien. Mais ces machines peuvent affecter aux problèmes due aux plusieurs causes comme : mauvaise construction, charge excessive, facteurs humains, etc.

Notre travail se base sur l'analyse de la machine à induction sous un défaut du roulement en utilisant la technique de l'analyse vibratoire. L'objectif principal est de résoudre un problème ou de détecter des défaillances qui touche la machine à étudier.

Ce mémoire est organisé en trois chapitres répartis comme suit:

On commence par une introduction générale.

Dans le premier chapitre, on va mettre une synthèse sur la surveillance de la machine asynchrone.

Le deuxième chapitre sera consacré à une aperçue globale sur le roulement et la technique utilisée.

Le troisième chapitre sera concerné à une application et une analyse des données expérimentales afin de détecter le défaut du roulement.

On conclut les discussions des résultats dans une conclusion générale.

Chapitre I

Généralité et synthèse sur la surveillance de machine asynchrone

I.1. Introduction:

La machine à induction ou asynchrone est utilisée en mode moteur ou générateur. Toutefois, l'utilisation en moteur est plus fréquente et le plus utilisé dans l'industrie. On trouve, généralement, des moteurs. Dans ce chapitre, nous allons décrire la machine asynchrone triphasée et après, on va mentionner les différents défauts et leur causes des défauts qui peuvent affectés cette machine. En plus, nous essayerons de définir quelques méthodes utilisées de diagnostic des défauts dans les machines tournantes.

I.2. Présentation de la machine asynchrone:

La machine à induction, ou machine asynchrone, est une machine électrique à courant alternatif sans connexion entre le stator et le rotor. Les machines possédant un rotor « en cage d'écureuil » sont aussi connues sous le nom de machines à cage ou machines à cage d'écureuil. Le terme asynchrone provient du fait que la vitesse de ces machines n'est pas forcément proportionnelle à la fréquence des courants qui les traversent. On la retrouve aujourd'hui dans de nombreuses applications, notamment dans le transport (métro, trains, propulsion des navires), l'industrie (machines-outils), l'électroménager. Le choix de son utilisation est dû à son principal avantage qui réside et l'absence de contacts électriques glissants, ce qui conduit à une structure simple et robuste facile à construire [BOUB 10].

I.3. Constitution de la machine asynchrone à cage:

La machine asynchrone souvent, comporte deux parties essentielles, l'une fixe appelée stator portant un bobinage triphasé logé dans les encoches et relié à la source d'alimentation et l'autre mobile ou rotor qui peut être soit bobiné soit à cage d'écureuil. Pour cela, nous avons donné une image descriptive des seuls éléments de la machine asynchrone de base comme le montre la figure(I.1) suivante [CHE 14].

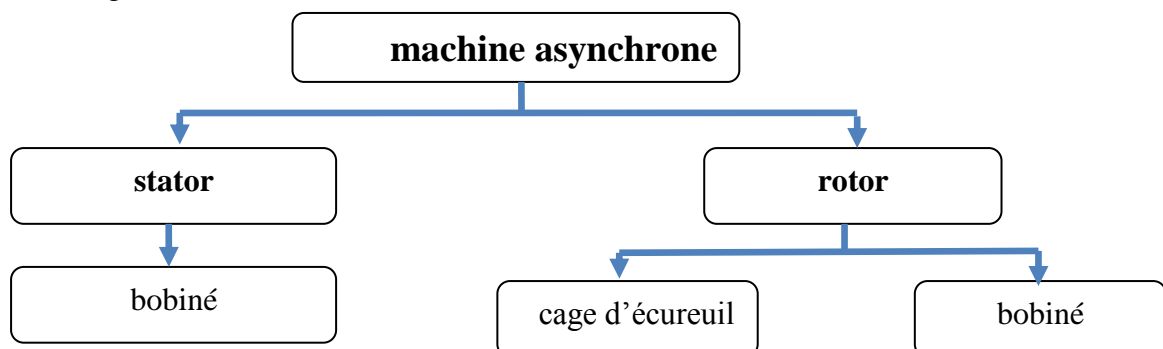


Figure (I. 1): Composants de base de la machine asynchrone.

Ces deux parties sont coaxiales et séparées par un entrefer (Figure. 1.2). Dans ce chapitre, on considère le cas d'une machine asynchrone à cage d'écureuil. Toutefois, on admette que sa structure est électriquement équivalente à celle d'un rotor bobiné dont les enroulements sont en court-circuit [CHE 14].

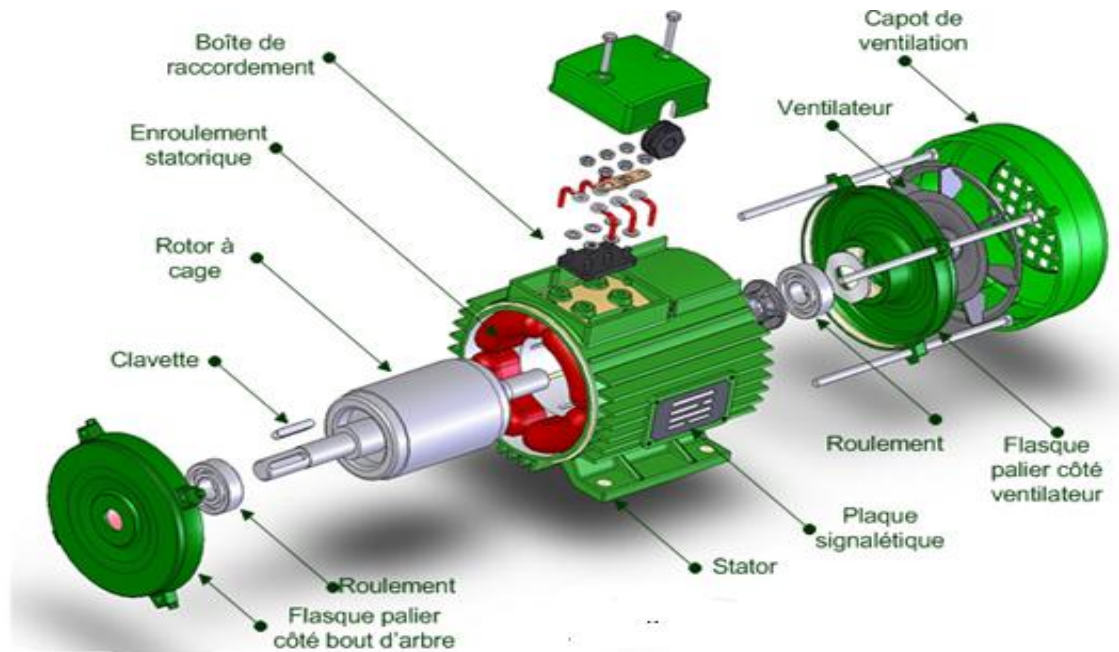


Figure (I.2): Constitution de la machine asynchrone[Aderiano 06].

I.3.1. le stator :

Le circuit magnétique est un empilement de tôles d'acier découpées, faisant apparaître les différentes encoches statoriques, on isole habituellement les tôles d'une mince couche de vernis ou de silicate de soude (figure I.3). Le bobinage statorique est constitué de deux parties: les conducteurs d'encoches et les têtes de bobines. Les conducteurs d'encoches permettent de créer dans l'entrefer le champ magnétique à l'origine de la conversion électromagnétique. Quant aux têtes de bobines elles permettent la fermeture des courants en organisant leur circulation, l'objectif étant d'obtenir une répartition des forces magnétomotrices et du flux la plus sinusoïdale possible dans l'entrefer, pour limiter les oscillations du couple électromagnétique [BOUS 07].

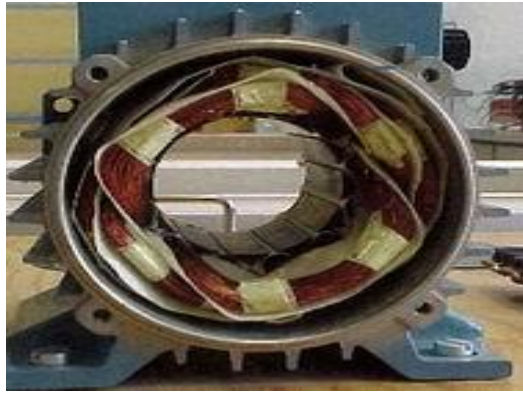


Figure (I.3) : Photo du stator d'une machine asynchrone[ELE].

I.3.2. Le rotor:

Secondaire, où est la partie mobile autour de l'axe de symétrie de la machine, qui peut être soit bobiné (fermé sur lui-même), soit à cage d'écureuil ; voir figure (I.4). Dans le rotor à cage, les anneaux de court-circuit permettent la circulation des courants d'une barre rotorique à l'autre. Ces barres conductrices sont régulièrement réparties, et constituent le circuit du rotor. Elles sont réalisées, généralement, de l'alliage de l'aluminium ou du cuivre. Cette cage est insérée à l'intérieur d'un circuit magnétique constitué de disques en tôles empilés sur l'arbre de la machine analogue à celui du moteur à rotor bobiné.

Le moteur à cage d'écureuil est plus simple à construire que son homologue à rotor bobiné et, de plus, il dispose d'une plus grande robustesse. Il constitue la plus grande partie du parc des moteurs asynchrones actuellement en service [BAZ 16].

a. rotor à cage (d'écureuil):

L'ensemble à l'aspect d'une cage cylindrique dont à chaque bout une couronne métallique est raccordée dans laquelle se trouve un empilement de tôles dont l'axe du moteur passe au centre [BOUB 10].

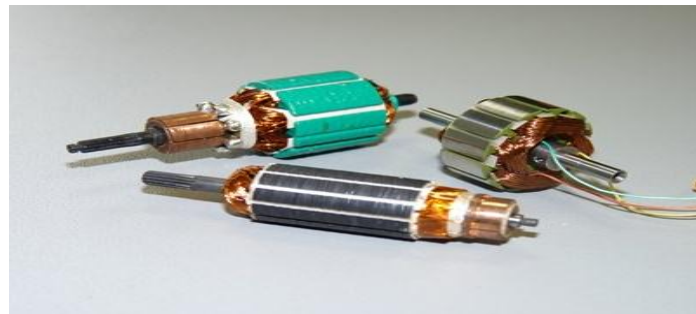


Figure (I.4) : Rotor à cage[ELE].

b. rotor bobiné :

Comme pour le rotor à cage il est constitué de tôles empilées, mais des encoches sont pratiquées pour le passage du bobinage qui lui même est raccordé en une extrémité en bout d'arbre sur des bagues l'autre extrémité du bobinage est connecté ensemble (point milieu du

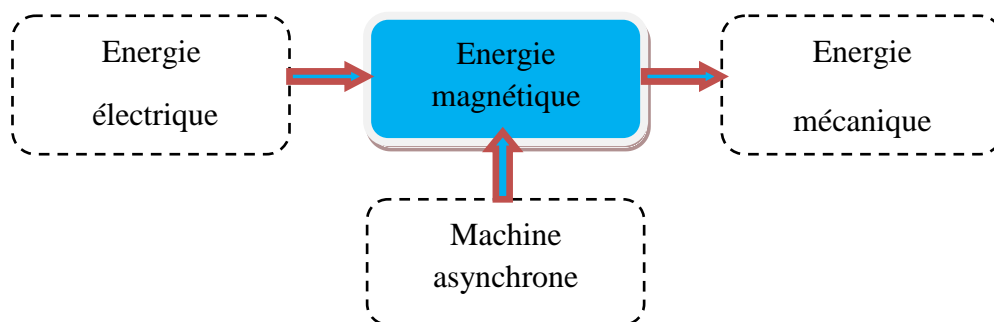
couplage étoile). Sur les bagues viennent frotter les balais (aussi appelé les collecteurs) qui sont raccordés au dispositif de démarrage (résistance) [BOUB 10].



Figure(I.5): Rotor bobiné [AES].

I.4. Principe de fonctionnement d’une machine asynchrone :

Le fonctionnement d’une machine asynchrone à courants alternatifs repose sur l’utilisation d’un champ magnétique tournant produit par des tensions alternatives. Donc, nous lui donnons une tension de courant ou alternatif dans le dernier nous donner la rotation comme décrit dans la figure (I.6) suivante:



Figure(I.6) : Schéma de principe d’une machine asynchrone.

La circulation d’un courant alternatif dans une bobine crée un champ magnétique \vec{B} alternatif (même sens et fréquence que le courant) dans l’axe de la bobine (grandeur vectorielle Comme dans figure suivante :



Figure(I.7) :une bobine de stator crée un champ magnétique \vec{B} [DAH 16].

$$\vec{B} 1 = KI1 \cos p\theta \tag{I.1}$$

$$I1=I\sqrt{2} \cos\omega t \tag{I.2}$$

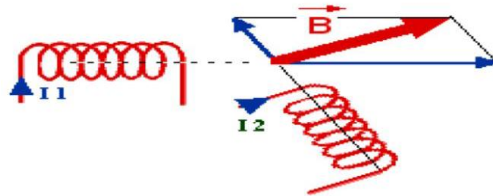
Avec:

K : nombre de spire.

I : courant.

P: nombre de pair de pole.

Si plusieurs bobines sont placées à proximité les unes des autres, le champ magnétique résultant est la somme vectorielle (dans le cas des 3 bobines, elles sont disposées dans le stator à 120° les unes des autres on verra un champ magnétique tournant).



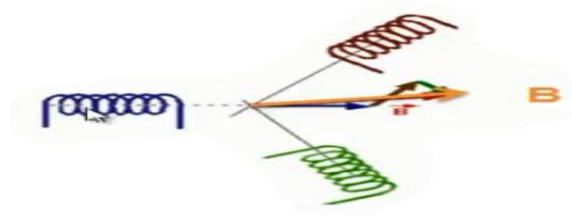
Figure(I.8) : deux bobine de stator créées un champ magnétique \vec{B} [DAH 16].

$$\vec{B}_2 = k I_2 \cos p\theta \tag{I.3}$$

$$I_2 = I\sqrt{2} \cos \omega t \tag{I.4}$$

Les 3 enroulements statoriques créent donc un champ magnétique tournant, sa fréquence est nommée fréquence de synchronisme (une boussole placée au centre tournerait à cette vitesse de synchronisme).

Champ totale: $\vec{B}_{\text{totale}} = \vec{B}_1 + \vec{B}_2 + \vec{B}_3$



Figure(I.10) :trois bobine de stator créées un champ magnétique \vec{B} [DAH 16].

Les courants de Foucault \wedge induits des courant (I) circulent dans les anneaux formes par la cage les fores (\vec{F}) de la place qui en résultent exercent un couple sur le rotor d'après la loi de Lenz les courants induits s'opposent par leurs effets a la cause qui leurs a donne naissance le rotor tourne alors dans le même sens que le champ mais avec une vitesse légèrement inferieure a la vitesse de synchronisme de ce dernier. Le rotor ne peut pas tourner a la même vitesse que le champ magnétique sinon la cage ne serait plus balayée par le champ tournant et il y aurait disparition des courants induits et donc d ou le nom moteur asynchrone, comme le présenté dans la figure (I.7).

Avec :

$$\vec{F} = \vec{B} \wedge \vec{I}$$

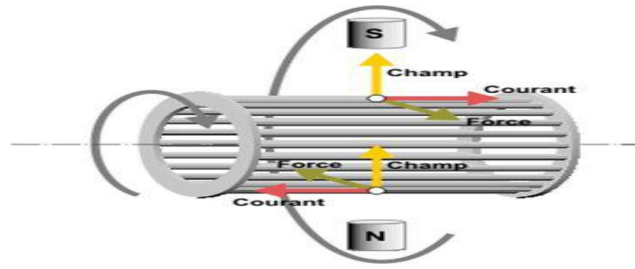


Figure (I.11) : Champ magnétique tournant[DAH 16].

L'interaction électromagnétique des deux parties d'une machine asynchrone (sans collecteur) n'est possible que lorsque la vitesse du champ tournant n_1 diffère de celle du rotor n , c'est-à-dire, lorsque $n \neq n_1$, car dans le cas contraire, c'est-à-dire lorsque $n = n_1$, le champ serait immobile par rapport au rotor et aucun courant ne serait induit dans l'enroulement rotorique [DAH 16].

Le rapport :

$$g = \frac{n_1 - n}{n_1} = \frac{\Omega_s - \Omega}{\Omega_s}$$

A l'arrêt : $g = 1$ car $n = 0$

g : glissement d'une machine asynchrone.

Remarque:

Pour une vitesse de rotation Ω du rotor, la pulsation des courants induits est égale à $g\omega$, soit Dans le repère du rotor, le champ créé par ces courants tourne à la vitesse $\left(1 - \frac{\Omega}{\Omega_s}\right)\omega$ Dans le repère du rotor, le champ créé par ces courants tourne à la vitesse $\frac{g}{p}\omega$ dans le même sens que le champ statorique.

I .5. Définitions des termes de base utilisés en Surveillance:

Dans ce paragraphe, on présente la définition des termes principaux utilisés dans le domaine du surveillance ainsi que dans cette thèse. Ces définitions ont été extraites à partir des références suivantes:

I.5.1. Surveillance:

La surveillance consiste notamment à détecter et classer les défaillances en observant l'évolution du système .puis à les diagnostiquer en localisant les éléments défaillants et en identifiant les causes premières.

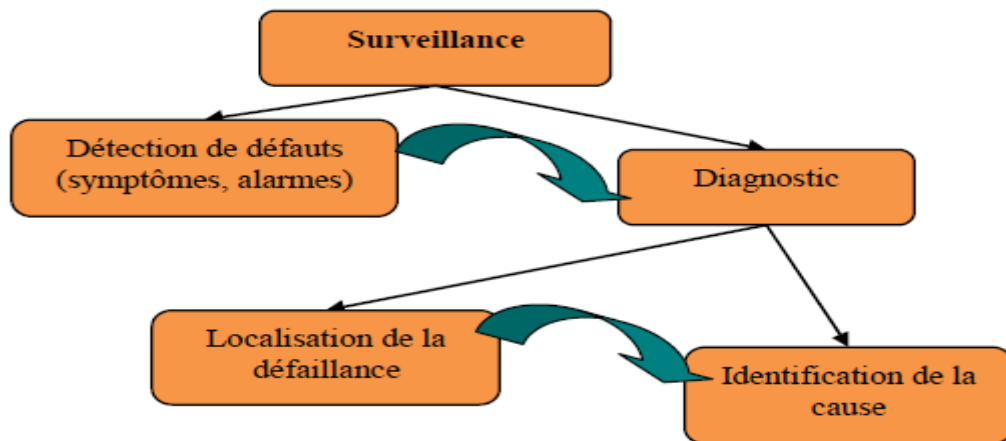


Figure (I.12): Composantes de la surveillance industrielle comme la machine asynchrone.

La surveillance se compose donc de deux fonctions principales qui sont la détection et le diagnostic.

I.5.2. Détection:

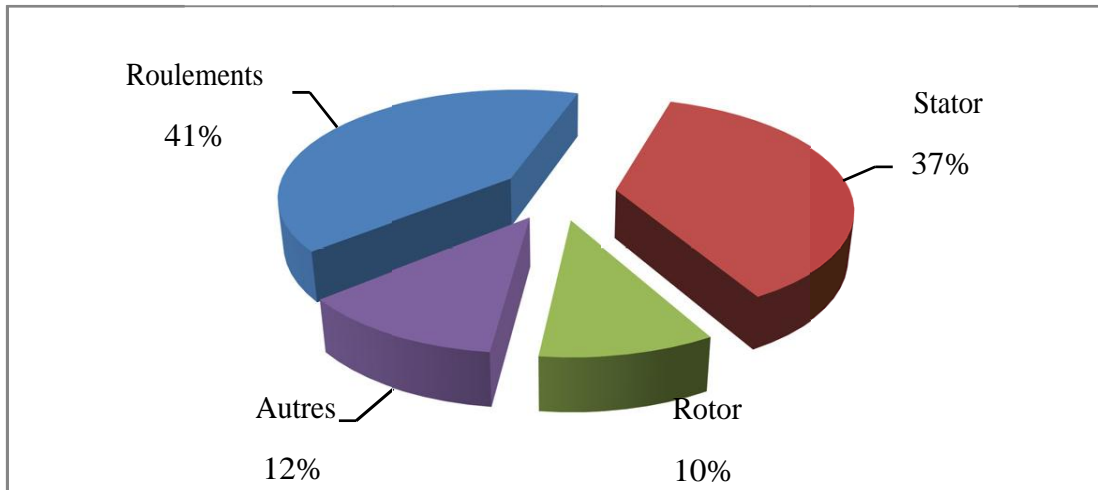
Pour détecter les défaillances du système, il faut être capable de classer les situations observables comme étant normales ou anormales. Cette classification n'est pas triviale, étant donnée le manque d'information qui caractérise généralement les situations anormales. Une simplification communément adoptée consiste à considérer comme anormale toute situation qui n'est pas normale [BESS 16].

I.5.3. Diagnostic:

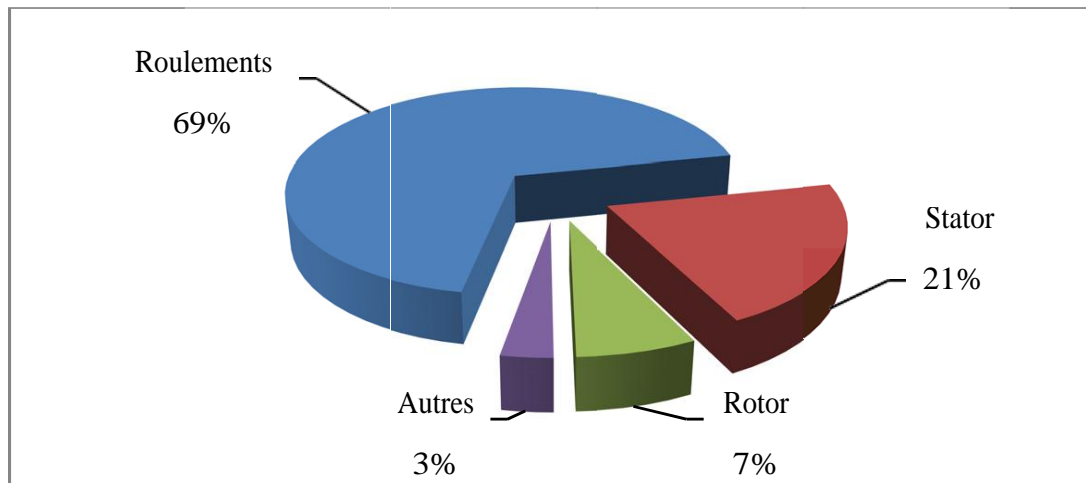
Le diagnostic des procédés industriels a pour objet de trouver la cause d'une défaillance ou d'un défaut. La définition de ce dernier adoptée par les instances internationales de normalisation « AFNOR » (association française de normalisation) est la suivante: le diagnostic est l'identification de la cause probable de là (ou des) défaillance(s) à l'aide d'un raisonnement logique fondé sur un ensemble d'informations provenant d'une inspection, d'un contrôle ou d'un test [TAL 16].

I.6. Etude statistique des défauts de la machine asynchrone:

Les études effectuées sur des machines asynchrones de grande puissance (de 100 kW à 1 MW) dans les années 90 mentionnées par Thomson, ont montré que sur cette gamme de puissance certaines pannes sont plus fréquentes que d'autres et les pannes les plus fréquentes sont du type mécanique voir Figure (I.9(a)). La majorité d'entre elles se situent sur les roulements (41 %) et le stator (37 %). Les moins fréquentes sont les pannes au rotor (10 %) et les autres types constituent 12 %.



(a) Thomson 1999.



(b) Bonnett 2008.

Figure (I.13): Évolution du pourcentage des défauts pendant une décennie[AND 12].

Une étude statistique faite par Bonnett sur les machines asynchrones de grande puissance, exploitées dans l'industrie pétrochimique, montre que 69 % de défauts se situent sur les roulements, 21 % au stator, 7 % au rotor et 3 % dans les autres régions de la machine (voir Figure I.9(b)). Comme cela a été déjà mentionné dans l'étude la répartition présentée confirme que les défauts des machines de grande puissance proviennent principalement de roulements et du bobinage statorique (voir Figure I.9 (a), (b)). D'autre part, ces études montrent que pendant une décennie la répartition du pourcentage de ces défauts a changé, les défauts de roulements sont passés de 41% à 9%, les défauts au stator sont passés de 37% à 21% et celles au rotor de 10% à 7%. On constate que les défauts dans le stator et le rotor sont de moins en moins fréquents. Cela est dû à l'amélioration de la technique de fabrication de machines électriques (par exemple, l'amélioration des isolants). La principale source de défaillance reste les roulements [AND 12].

I.7. Les causes et les conséquences des défauts dans les machines asynchrones:

Il existe deux types de causes qui provoquent un défaut dans la machine asynchrone:

I.7.1 Les causes des défauts internes et externes de machine asynchrone :

Il existe deux types de défauts principaux : internes et externes. Nous pouvons ainsi remarquer que les défauts internes de la machine sont causés par les constituants de la machine (circuits magnétiques rotorique et statorique, bobinages statoriques, entrefer mécanique, cage rotorique,...). Alors que les défauts externes sont provoqués, soit par les tensions d'alimentation et la charge mécanique, soit par l'environnement de l'utilisation de la machine. D'après les organigrammes des figure (I.10) et figure (I.11), les origines des défauts sont diverses; nous citerons à titre indicatif des origines de type :

- Mécaniques: mauvaise fabrication, vibrations de la machine, force électromagnétiques déséquilibrées, force centrifuge, fluctuations de la charge.
- Electriques: dégradations d'isolement, décharges partielles, étincelles.
- Thermiques: pertes dans le cuivre, manque de refroidissement général ou localisé.
- Environnementales: humidité, ozone, poussière [CHA 17].

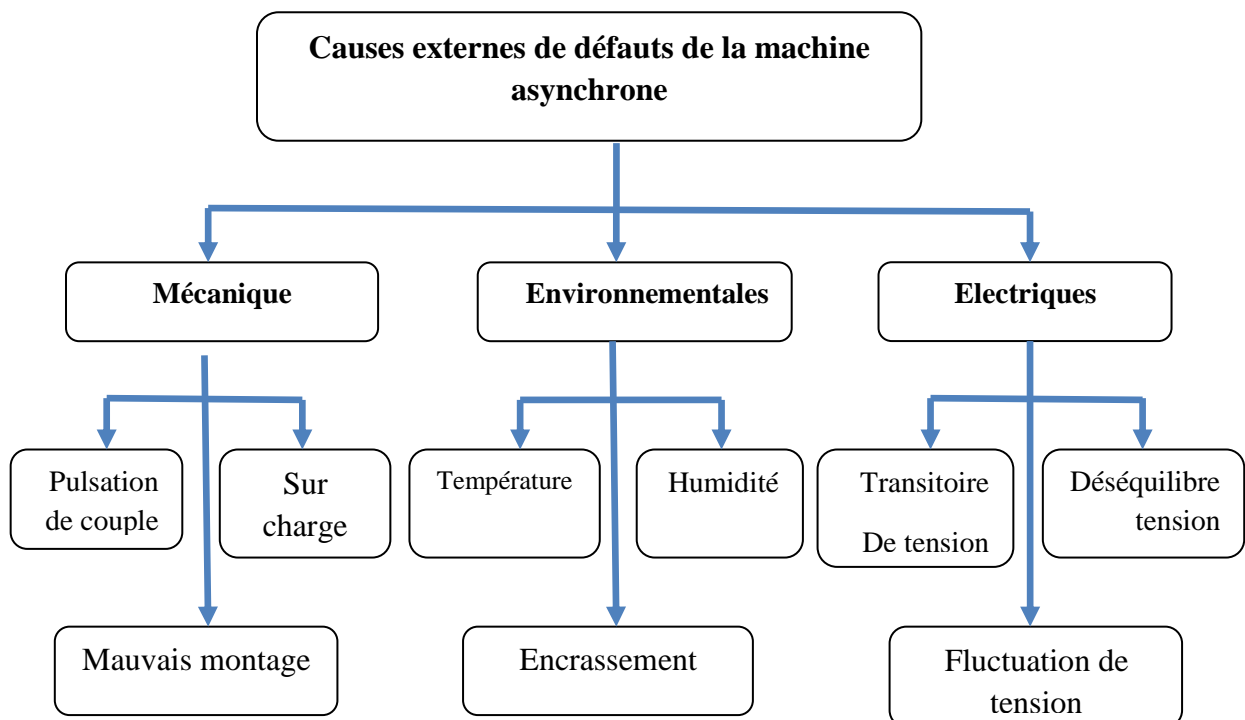


Figure (I.14): Causes externes de défauts dans la machine asynchrone triphasée à cage [CHA 17].

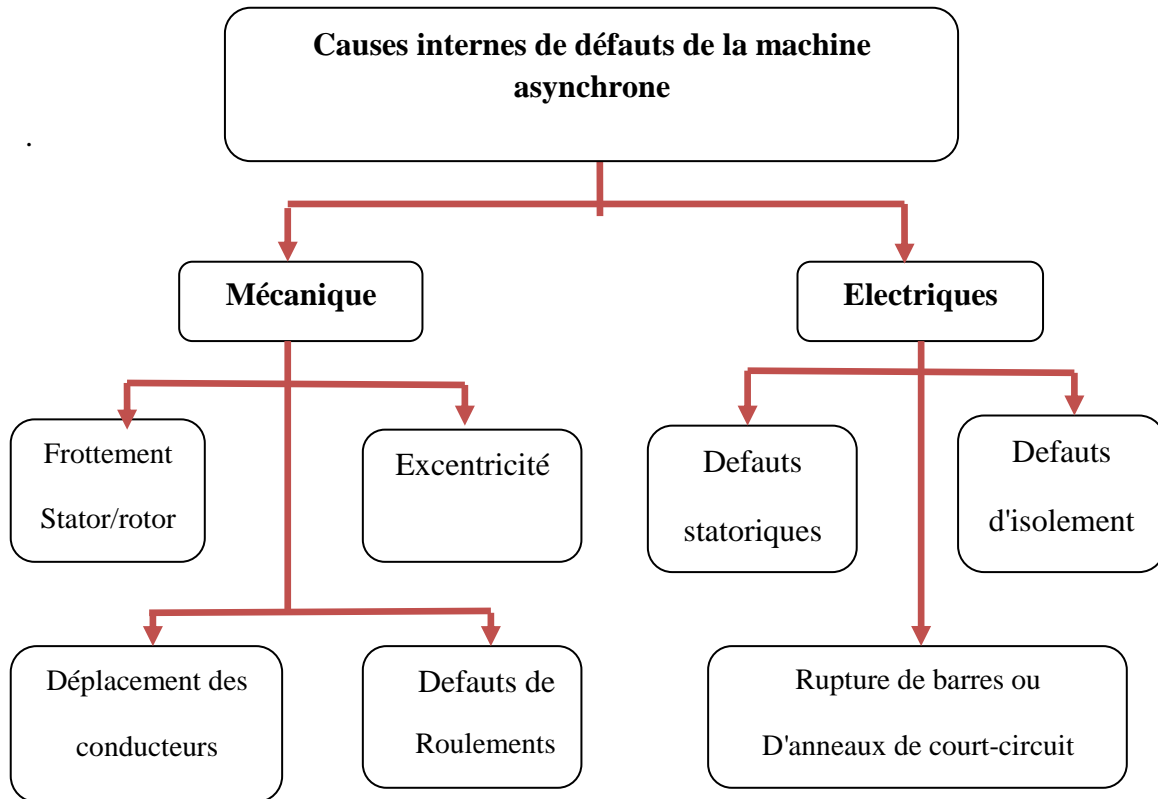


Figure (I.15) : Causes internes de défauts dans la machine asynchrone triphasée à cage[CHA. 17].

Réputée pour être robuste, la machine asynchrone n'est jamais à l'abri des défaillances, ces anomalies donnent lieu à un comportement anormal de la machine et peuvent à court ou à long terme provoquer son endommagement. Les défaillances peuvent être d'origines diverses, électriques, mécaniques ou bien encore magnétiques. Leurs causes sont multiples et peuvent être classées en trois groupes [CHA 17].

I.7.2. Conséquences des défauts de la machine asynchrone :

Les défauts qui surviennent sur les machines asynchrones conduisent à de multiples problèmes qui affectent la rentabilité de l'installation globale, et qui peuvent aller jusqu'à l'arrêt total.

On cite parmi les conséquences des défauts :

- ❖ Fluctuations au niveau du couple et de la vitesse.
- ❖ Appel supplémentaire de courant.
- ❖ Déséquilibre au niveau de la tension et du courant de ligne.
- ❖ Augmentations des arrêts non-programmés, des pertes de production, et par conséquent, du rendement global [DAH 16].

I.8. Défaillances de la machine asynchrone:

En effet, il y a plusieurs types et raisons pour la machine asynchrone, sauf dans le rotor ou dans le fixe et les rendent incapables d'effectuer le service, ce qui pose des problèmes majeurs dans le secteur industriel et d'autres seront détaillés dans ce travail.

I.8. a. Défauts du stator:

Ces défauts sont habituellement liés à une dégradation de l'isolement, ils représentent environ 30% à 40% des défauts de machines à induction. A un stade avancé, ces défauts pourront provoquer un court-circuit entre spires qui peut s'aggraver et évoluer vers un court-circuit phase-phase ou phase-terre. Ils contribuent à un déséquilibre des courants des trois phases et par conséquent à une dégradation du couple moteur. Il est donc possible de détecter ces défauts en surveillant les composantes inverses et homopolaires du courant statorique, comme le montre la figure (I.12) ci-dessous [Ali 09].

- Court-circuit dans les spires d'une même phase ;
- Court-circuit entre phases ou entre bobines ;
- Coupure d'une phase ;
- D'un court-circuit entre phase et carcasse.
- Défaut du circuit magnétique (rupture de tôles) ;
- D'un court-circuit entre spires.

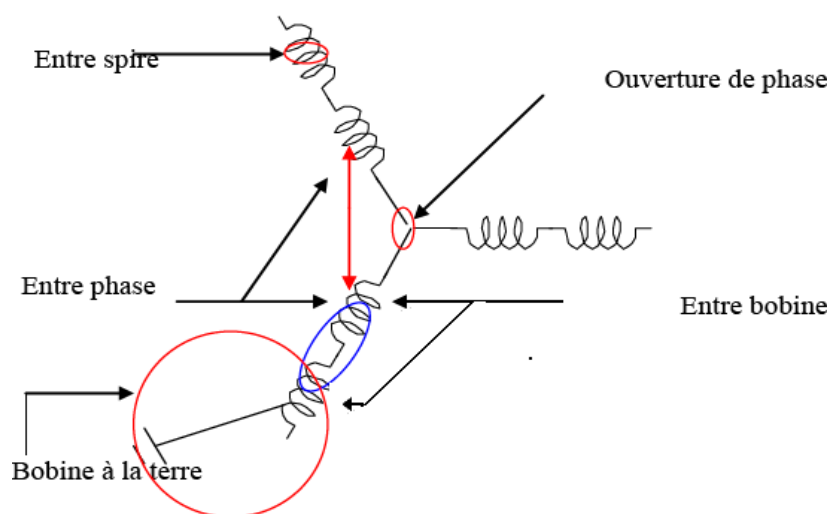


Figure (I.16): Représentation des différents défauts statoriques [CHE 14].

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.

Un court-circuit entre phases provoquerait un arrêt de la machine. Cependant, un court-circuit au bobinage près du neutre ou entre spires n'a pas d'effet aussi radical. Il conduit à un déséquilibre de phases, ce qui provoque une répercussion directe sur le couple [BELH 14].

I.8.1. Défaut d'ouverture de phase:

L'ouverture de phase d'une machine asynchrone produit un risque élevé de désastre humain et industriel, et cela est dû à l'indifférence du concepteur électrique ou au travail ou à cause de la haute température et de la grande force électrique sur la scène entraînent des défaillances et ignorance.

I.8.2. Défaut de la phase-terre:

Le défaut d'une phase à la terre a généralement un potentiel flottant, mais pour des raisons de liaisons mécaniques, Il est souvent relié à la masse. Si le potentiel est flottant, un court-circuit entre l'enroulement et le bâti n'a pas d'importance du point de vue matériel, excepté les effets capacitifs, le bâti prend alors le potentiel de l'enroulement à l'endroit du court-circuit. Par contre, au niveau de la sécurité des personnes, ce type de défaut peut être très dangereux et il est alors nécessaire de mettre en place des dispositifs de protection (disjoncteurs différentiels).

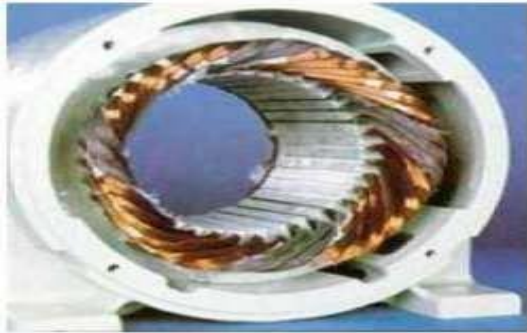
I.8.3. Court-circuit entre spires :

Un court-circuit entre spires de la même phase est un défaut assez fréquent. Cette défaillance a pour origine un ou plusieurs défauts d'isolant dans l'enroulement concerné. Il entraîne une augmentation des courants statoriques dans la phase affectée, une légère variation de l'amplitude sur les autres phases [OLI 06].

I.8.4. Court-circuit entre phases:

Ce type de défaillance peut arriver en tout point du bobinage, cependant les répercussions ne seront pas les mêmes selon la localisation. Cette caractéristique rend difficile une analyse de l'incidence de ce défaut sur le système. L'apparition d'un court-circuit proche de l'alimentation entre phases, induirait des courants très élevés qui conduiraient à la fusion des conducteurs d'alimentation et/ou à la disjonction par les protections. D'autre part, un

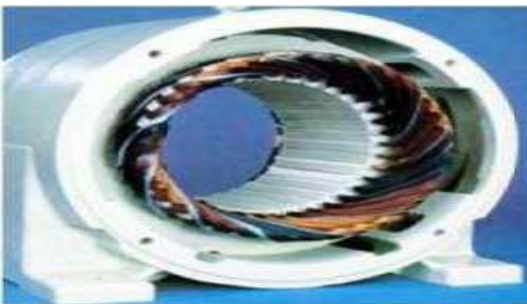
court-circuit proche du neutre entre deux phases engendre un déséquilibre sans provoquer la fusion des conducteurs [Oli 06].



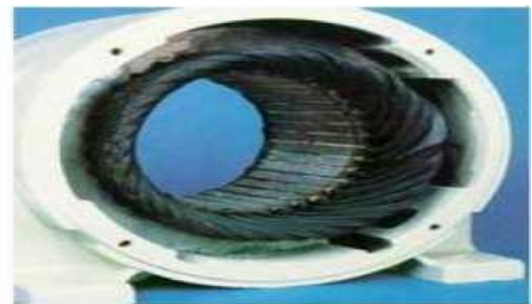
Ouverture d'une phase



Court-circuit dans une phase



Déséquilibre de l'alimentation



Damage dû à la surcharge



Masse dans l'encoche



Dégradation causée par une surtension

Figure (I.17): Différents défauts au niveau de stator de la machine asynchrone[CHAO 16].

I.8.b. Défauts du rotor:

Les défauts du rotor bobiné sont les mêmes que ceux du stator. Pour le rotor à cage les défauts les plus rencontrés peuvent être, voir la figure (I.14).

- * Rupture d'une barre rotorique (ou éventuellement plusieurs barres).
- * Rupture de l'anneau de court circuit.

I.8.1. Défauts de rupture de barres et d'anneau de court-circuit:

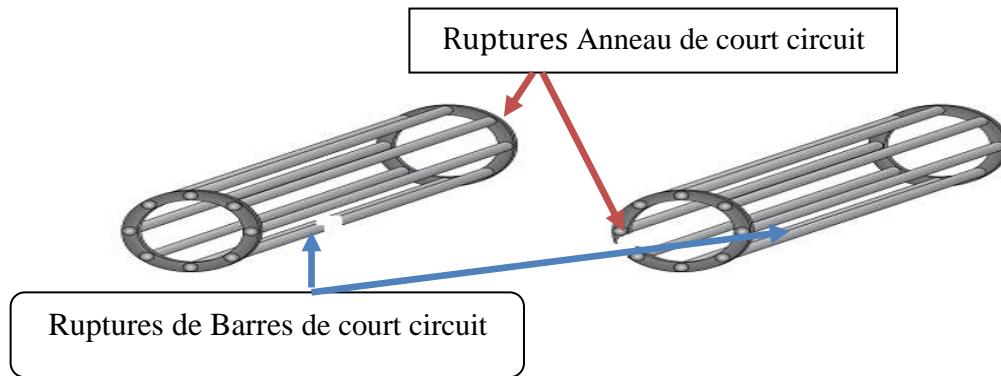


Figure (I.18) : Défaut d'un rotor à cage d'écureuil.

I.8.2. Ruptures de barres par de court-circuit :

La cassure ou rupture de barre est un des défauts les plus fréquents au rotor. Elle peut se situer soit au niveau de son encoche soit à l'extrémité qui la relie à l'anneau rotorique. La détérioration des barres réduit la valeur moyenne du couple électromagnétique par l'augmentation de l'amplitude des oscillations qui elles-mêmes provoquent des oscillations de la vitesse de rotation. Ceci engendre des vibrations mécaniques et donc, un fonctionnement anormal de la machine. La grande amplitude de ces oscillations accélère la détérioration de la machine. Ainsi, le couple diminue sensiblement avec le nombre de barres cassées induisant un effet cumulatif de la défaillance. L'effet d'une cassure de barre croît, rapidement, avec le nombre de barres cassées [MED 12].



Figure (I.19) : Photo des barres cassées[BES 17].

I.8.3. Ruptures d'anneau par de court-circuit:

La cassure de portion d'anneau est un défaut qui apparaît aussi fréquemment que la cassure de barres dans une machine asynchrone à cage. Ces cassures sont dues soit à des bulles de coulées ou aux dilatations différentielles entre les barres et les anneaux, d'autant que les portions d'anneaux de court circuit véhiculent des courants plus importants que ceux des barres rotoriques. Il convient de mentionner, qu'un mauvais dimensionnement des anneaux, conduit à une détérioration des conditions de fonctionnement ou une surcharge de couple et, donc, à des courants pouvant entraîner leur cassure [AND 12].

I.8.4. Défauts d'excentricité:

La variation d'épaisseur de l'entrefer entraîne des variations dans la densité du flux d'entrefer. Les enroulements statorique sont électriquement modifiés, ce qui entraîne des effets dans le spectre des courants Il existe deux types d'excentricité [CHE 14].

I.8.4.1. Excentricité statique:

Généralement due à un désalignement de l'axe de rotation du rotor par rapport à l'axe du stator. La cause principale c'est un défaut de centrage des flasques [AND 12].

I.8.4. 2. Excentricité dynamique:

Le centre du rotor n'est plus confondu avec le centre de rotation. L'apparition des deux types d'excentricité au même temps est généralement appelée:

I.8.4.3. Excentricité mixte:

L'excentricité dans la machine à induction augmente l'apparition des composantes additionnelles dans le spectre du courant, leurs fréquences sont données par des composantes fréquentielles suivantes:

$$f_{exc} = f_s \left(1 \pm k \cdot \frac{1-g}{p} \right) \quad \text{avec } k=1,2,3 \quad (I.5)$$

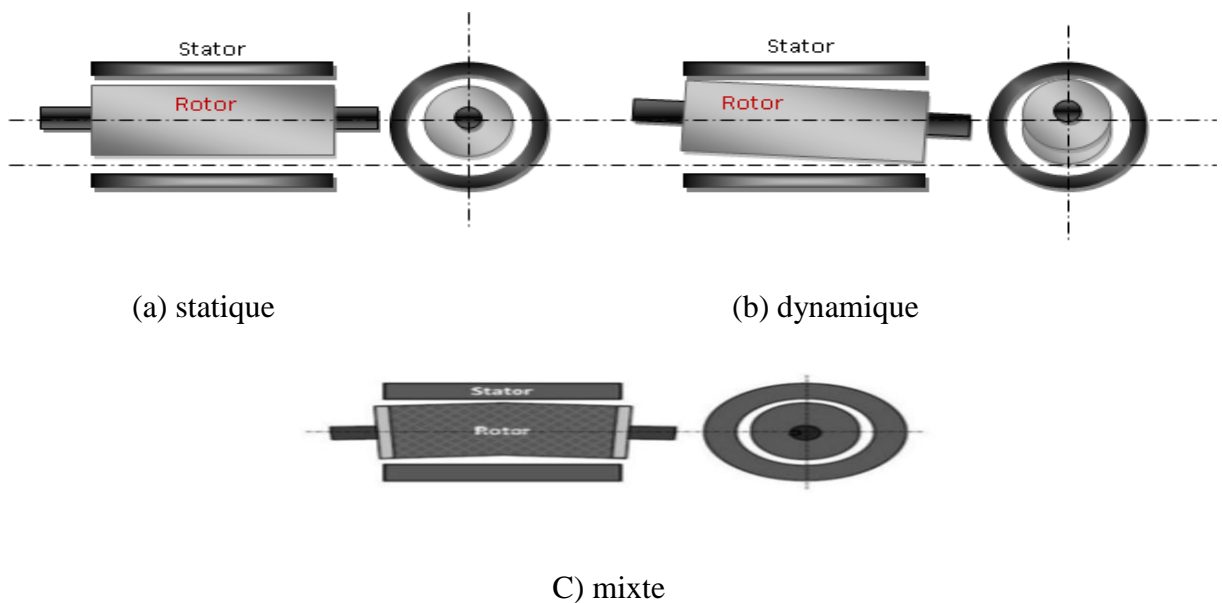


Figure (I.20) : Défauts d'excentricités[AND 12] .

I.9. Défaillances mécanique:

I.9.1. Défauts des roulements:

Les roulements se composent généralement de deux bagues, une bague intérieure et une autre extérieure entre lesquelles existe un ensemble de billes ou de rouleaux tournants figure (I.17). En fonctionnement normal, la défaillance due à la fatigue commence par de petites fissures situées au-dessous des surfaces du chemin de roulement et de l'élément roulant, qui se propage graduellement sur la surface. Les défauts de roulements entraînent une augmentation du niveau sonore et l'apparition de vibrations dans le couple de charge de la machine. 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. Ses causes possibles sont [BICH 12]

- ❖ l'usure due au vieillissement.
- ❖ la température de fonctionnement élevée.
- ❖ Le problème de lubrification.
- ❖ le défaut de montage.

Les conséquences directes de cette défaillance sur les roulements sont :

- ❖ des trous dans les gorges de roulement intérieures et extérieures.
- ❖ l'ondulation de leur surface de roulement.
- ❖ la corrosion due à l'eau.
- ❖ défaut de graissage, problème dû à la température.



Figure (I.21): Photo d'une cassée Les roulements[MAI].

I.10. Défaillances d'autres origines:

I.10.1. Défauts de la charge:

Les travaux menés dans ce domaine ont surtout concentré sur 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.

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:

- charge à couple constant : le couple n'est pas fonction de la vitesse (Ex : traction, convoyeur, tapis roulant,...).

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

- sur couples 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.
- manque de lubrifiants.
- vitesse critique de rotation.
- rupture de la charge.

Tous ces défauts de la charge vont naturellement avoir une influence dégradante sur les grandeurs mécaniques et électrique de la machine asynchrone [BICH 12].

I.11. Principe du diagnostic des défauts dans la machine asynchrone:

Le diagnostic consiste à détecter de façon précoce un défaut avant qu'il ne conduise à une défaillance. La procédure de diagnostic s'articule autour des étapes suivantes:

- ❖ extraction des informations issues de capteurs de la machine pour obtenir des indicateurs de défauts ou résidus. Le résidu représente la différence entre l'observation et la valeur de référence. Avant de chercher la cause du défaut, il est important de valider l'information fournie par les résidus.
- ❖ la valeur du résidu doit être quantifiée afin de produire des symptômes. Le problème d'évaluation des résidus consiste à définir le seuil à partir duquel on déclarera le défaut [CHE 14].
- ❖ la décision constitue la dernière étape de la tâche du diagnostic. A partir de la comparaison de la signature actuelle avec celle de l'expérience, il s'agit de déclarer, dans un premier temps, si l'élément est défaillant ou non. Dans un second temps, si l'élément est défaillant, il faut trouver la cause de l'anomalie.

I.12. Techniques de détection des défauts dans les machines asynchrones :

Les moteurs asynchrones sont soumis pendant leur fonctionnement à plusieurs contraintes de différentes natures. L'accumulation de ces contraintes provoque des défauts dans les différentes parties du moteur figure (I.18). Il existe une variété de techniques de diagnostic et de détection certaines d'entre elles sont basées sur l'observation et la mesure (mesure du champ magnétique ; mesure de bruit ; mesure de vibration ...etc.) Et d'autres sont basées sur la surveillance et la comparaison des caractéristiques électromagnétiques (courant statorique, couple et vitesse de rotation) à celles du moteur sain [HUB03]

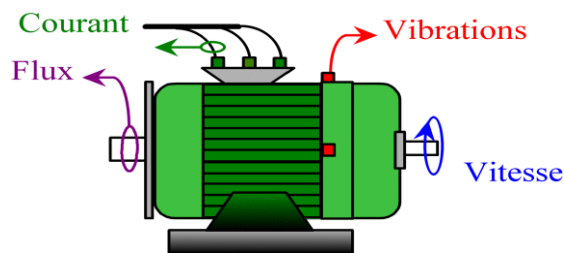


Figure (I.22) : Les points de mesures [HUB03].

I.12.1. Diagnostic par l'analyse de 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 [All 10].

I.12.2. Diagnostic par l'analyse couple électromagnétique:

Le couple électromagnétique développé dans les machines électriques, provient de l'interaction entre le champ statorique et celui rotorique. Par conséquent, tout défaut, soit au niveau du stator ou au rotor, affecte directement le couple électromagnétique. L'analyse spectrale du signal du couple (mesuré ou estimé), donne des informations sur l'état de santé du moteur [ARQ].

I.12.3. Diagnostic par l'analyse des tensions statorique induites :

Cette technique est basée sur l'exploitation du contenu fréquentiel de la tension induite par le flux rotorique dans les enroulements statorique pendant la déconnexion de la machine du réseau. En utilisant cette approche, les effets de non idéalité de la source (déséquilibres et présence des harmoniques) ainsi que le non linéarité des caractéristiques magnétiques de la machine peuvent être évitées [CHAO 16].

I.12.4. Diagnostic par l'analyse chimique:

Le diagnostic chimique est basé sur l'analyse des fluides de refroidissement qui sont utilisées pour l'évacuation de la chaleur dans les moteurs à grandes puissances (eau ; air ou huile). La dégradation de l'isolation électrique dans le moteur produit le gaz d'oxyde de carbone, qui apparaît dans le circuit de l'air de refroidissement et qui peut être détecté par une technique d'absorption infrarouge.

La méthode de diagnostic chimique est uniquement utilisée dans les moteurs à grande puissance, donc elle n'englobe pas tous les types de machines [GUE 11].

I.12.5. Diagnostic par l'analyse du courant statorique:

Cette méthode est un outil puissant pour détecter la présence des défauts mécaniques et électriques. Elle présente plusieurs avantages par rapport aux autres méthodes, parce qu'elle ne demande ni l'introduction d'un capteur au niveau de la machine ni l'utilisation d'un équipement coûteux et encombrant mais seulement un capteur de courant (sonde à effet de hall ou transformateur de courant) qui donne une image sur le courant de phase statorique. C'est cette méthode de diagnostic qui sera utilisée comme outil de diagnostic dans la recherche des différents défauts dans ce travail. C'est dans figure (I. 19) [HAR 08].

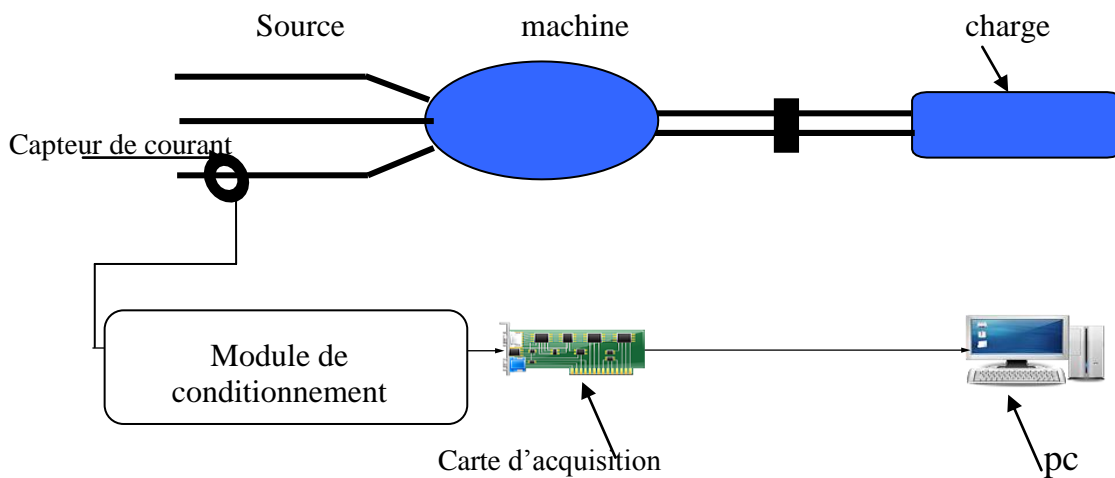


Figure (I.23) : Schéma synoptique du principe de la méthode du spectre du courant statorique [HAR 08].

I.12.6. Diagnostic par l'analyse de flux magnétique:

Tout déséquilibre quel qu'il soit, magnétique, mécanique, électrique ou bien encore électromagnétique, situé au rotor ou au stator, peut affecter la conversion électromécanique et la répartition de champs dans et hors de la machine. Des études ont donc été menées pour extraire de la mesure des flux d'entrefer ou de fuite des signatures caractéristiques de certains défauts. Pour cela, des bobines exploratrices sont placées à l'extérieur de la machine,

parallèlement et perpendiculairement à l'axe du rotor. Tout comme l'analyse vibratoire, la mesure du flux reste un inconvénient dans ce type d'analyses [NAN].

I.12.7. Diagnostic par l'analyse des fluctuations de la vitesse :

Détecte les défaillances en mesurant les fluctuations dans la période de rotation du moteur. Cette méthode est particulièrement utile pour détecter les défauts au rotor, les vibrations, l'excentricité, l'asymétrie du rotor, des roulements défectueux et des désalignements d'arbre. Cependant, la machine fonctionnant généralement à vitesse et couple de charge variables, les instruments de mesure doivent être capables de distinguer les variations de vitesse dues au couple de charge et celles dues à des défauts au rotor [BAZ 16].

I.12.8. Diagnostic par l'analyse vibratoire de la machine:

L'analyse vibratoire de la machine asynchrone peut être menée grâce à des accéléromètres placés sur les paliers dans les directions verticales, axiales et radiales. Les vibrations de la machine fournissent des informations sur pratiquement tous les défauts fréquemment rencontrés, notamment ceux mécaniques. Cependant, ces analyses vibratoires comportent certains inconvénients

- ✓ Problème d'accessibilité,
- ✓ Difficultés rencontrées dans les connexions mécaniques des accéléromètres pour effectuer les mesures nécessaires au voisinage direct du défaut.

De plus, le coût de ces capteurs reste relativement élevé par rapport aux autres capteurs tels que les capteurs de vitesse ou de courant. C'est dans Figure (1.20) Pour s'affranchir de ces problèmes, les recherches focalisent leurs efforts pour détecter et localiser les défauts par l'analyse d'autres signaux[ZER 13].

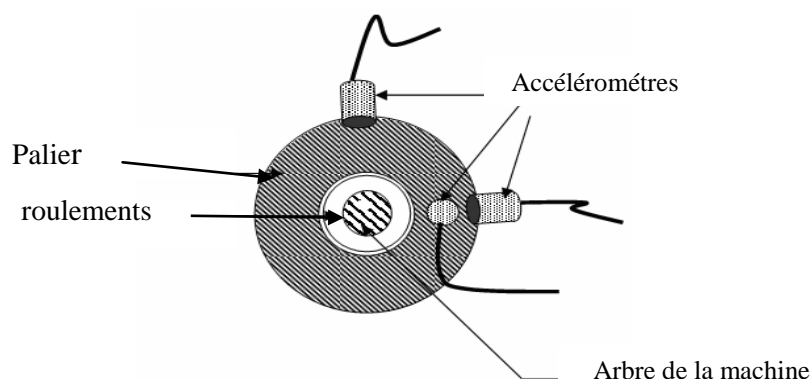


Figure (I.24): Mesures vibratoires sur la machine asynchrone[ZER 13].

I.13. Techniques de traitement de signal utilisées dans le diagnostic:

Puisque les allures temporelles ne donnent pas beaucoup d'informations, on est obligé d'aller vers les techniques de traitement de signal. Plusieurs techniques de traitement de signal ont été utilisées depuis longtemps pour analyser le contenu spectral des différents signaux issus des machines électriques tels que : les courants, les puissances, le couple, la vitesse, le flux, les vibrations,...etc. Dans ce que suit, on présente brièvement les transformées de Fourier rapide (TFR), Fourier à fenêtre glissante (TFFG) et la transformée en ondelettes (TO).

I.13.1. Transformée de Fourier Rapide (TFR):

La transformée de Fourier rapide (TFR) est une technique largement utilisée pour la détection des défauts dans les machines asynchrones. Elle donne de bons résultats pour des fonctionnements à forte puissance ou à couple constant mais des difficultés apparaissent pour les fonctionnements à couple de charge, vitesse de rotation et tensions d'alimentation variables. La nécessité de trouver d'autres techniques de traitement de signal pour les signaux non stationnaires devient donc nécessaire [ZER 13].

I.13.2. Transformée de Fourier à fenêtre glissante (TFFG):

Pour pallier le manque d'information sur le temps dans la transformée de Fourier, la TFFG est donc introduite. Cette méthode, pouvant être adaptée aux signaux non stationnaires, est très proche de l'analyse de Fourier classique. Son principe est de définir une fenêtre qui sera utilisée comme masque sur le signal, dans laquelle on considère que le signal est localement stationnaire, puis on décale cette fenêtre le long du signal afin de l'analyser entièrement.

I. 13. 3. Transformée en ondelettes (TO) :

La transformée en ondelettes est un outil récent de traitement de signal Son principe repose sur la décomposition d'un signal dans une base de fonctions particulières. De ce point de vue, elle est tout à fait comparable à l'analyse de Fourier Cependant, les ondelettes sont des fonctions oscillantes au sens large, rapidement amorties, contrairement aux fonctions sinusoïdales de l'analyse de Fourier. Par ailleurs, les ondelettes possèdent la propriété de pouvoir être bien localisées en temps ou en fréquence, ce qui les différencie principalement de l'analyse temps-fréquence classique Les travaux de utilisent la TO pour le diagnostic de défauts dans les machines asynchrone triphasée à cage [KHA 12].

I.14. Conclusion:

Dans ce chapitre, nous avons fait un des définitions de base de la machine asynchrone y compris le principe de fonctionnement. Ensuite, nous avons présenté les différentes défaillances qui peuvent affectées ces machines et quelques techniques de détection des défauts. Nous avons, aussi, choisi dans ce travail la détection du défaut de roulement par la technique de l'analyse vibratoires. Pour cela, le deuxième chapitre sera consacré à une aperçue sur le principe de la technique utilisée.

Chapitre II

analyse vibratoire pour les défauts de roulement

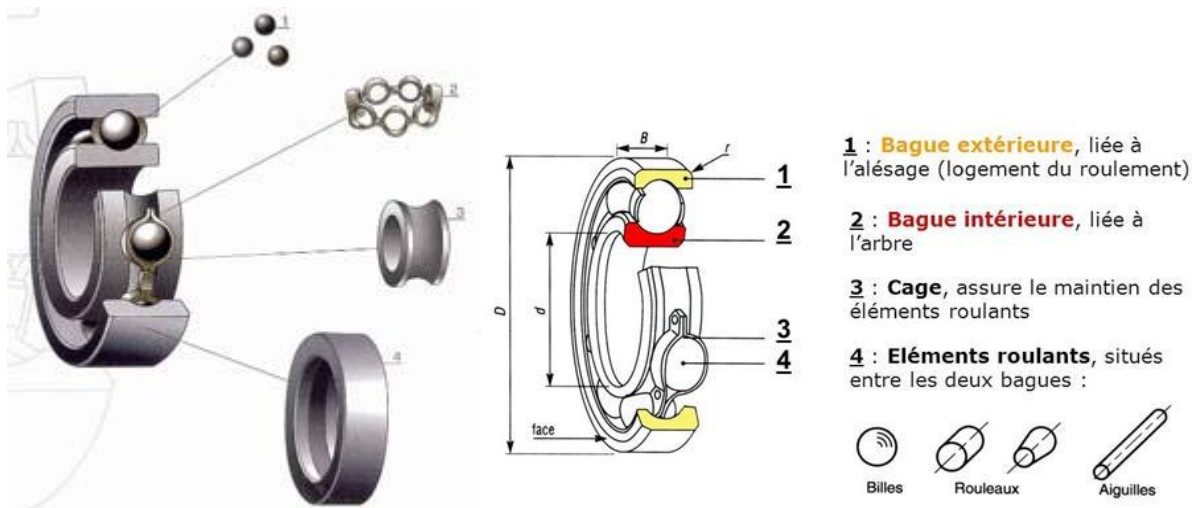
II.1.Introduction:

Dans ce chapitre, nous allons essayer de faire une étude assez détaillée sur l'analyse vibratoire par rapport de la machine à induction et surtout sur de roulement mécanique en raison des problèmes D'entre eux(fractures, fissures, érosion, etc.)et qui y sont exposés et de la raison de sa présence partout.

II.2. Conception d'un roulement :

La performance des roulements est directement liée à la qualité du matériau utilisé en particulier sa propreté (qualité). En effet les concentrations de contraintes liées à la géométrie du contact sont considérablement amplifiées par la présence de défauts de type inclusions non métalliques dans la zone mécaniquement sollicitée (zone de charge). On verra ainsi dans la suite que la durée de vie du roulement est totalement dépendante de la nature, la répartition et la forme de ces inclusions. Il est donc absolument indispensable de sélectionner soigneusement les fournisseurs qui fabriquent des roulements de qualité.

Quelque soit le type, un roulement est constitue (composé) de quatre éléments fondamentaux, C'est comme montré dans figure(II.1)suivante[BOUZ 08] :



Figure(II.1) : Eléments d'un roulement[ADB 10].

- La bague extérieure.
- La bague intérieure.
- La cage
- Les éléments roulants

a. La bague extérieure :

C'est l'élément qui limite les dimensions extérieures du roulement, Elle sera monter dans un logement fixe (bague extérieure fixe) ou dans un moyeu tournant (bague extérieure tournante).

b. La bague intérieure :

Elle est montée sur un arbre fixe ou mobile. C'est-à-dire, elle est fixe sila bague extérieure est mobile, et le contraire.

C. La cage :

Les cages à billes ou à rouleaux ne participent jamais à la transmission de la charge sur le roulement. Elles peuvent cependant être soumises à des forces d'inertie, centrifuges, des secousses, etc. Les cages sont centrées

- ✓ soit sur les éléments roulants .
- ✓ soit sur l'une ou l'autre des bagues.

Elles peuvent être obtenues par emboutissage ; dans ce cas, elles sont exécutées en tôle d'acier. Dans certains cas, surtout pour de petits roulements, on utilise des cages en laiton. Les cages massives obtenues par tournage, perçage ou autre façonnage, sont en matières variées acier doux, fonte de première qualité, laiton, alliage léger et quelquefois tissu bak élise ou nylon.



Figure(II.2):Cages de séparation des éléments tournants : moulées, agrafées, embouties.

d. Les éléments roulants :

Les éléments roulant se présentent sous deux types principaux :

- * les billes ;
- * les rouleaux.

Les rouleaux peuvent avoir différentes formes : rouleaux cylindriques, rouleaux coniques, rouleaux tonneaux, aiguilles.

Ils sont souvent exécutés dans la même matière que celle employée pour la fabrication des bagues[BEN].



Figure(II.3):Eléments tournants ; billes, rouleaux : cylindriques, coniques, sphériques[BEN]..

II.3.Caractéristiques des roulements:

Les roulements sont produits sous de diverses formes et variantes ayant chacune des caractéristiques distinctes. En comparaison avec les paliers lisses, les roulements ont les avantages suivants :

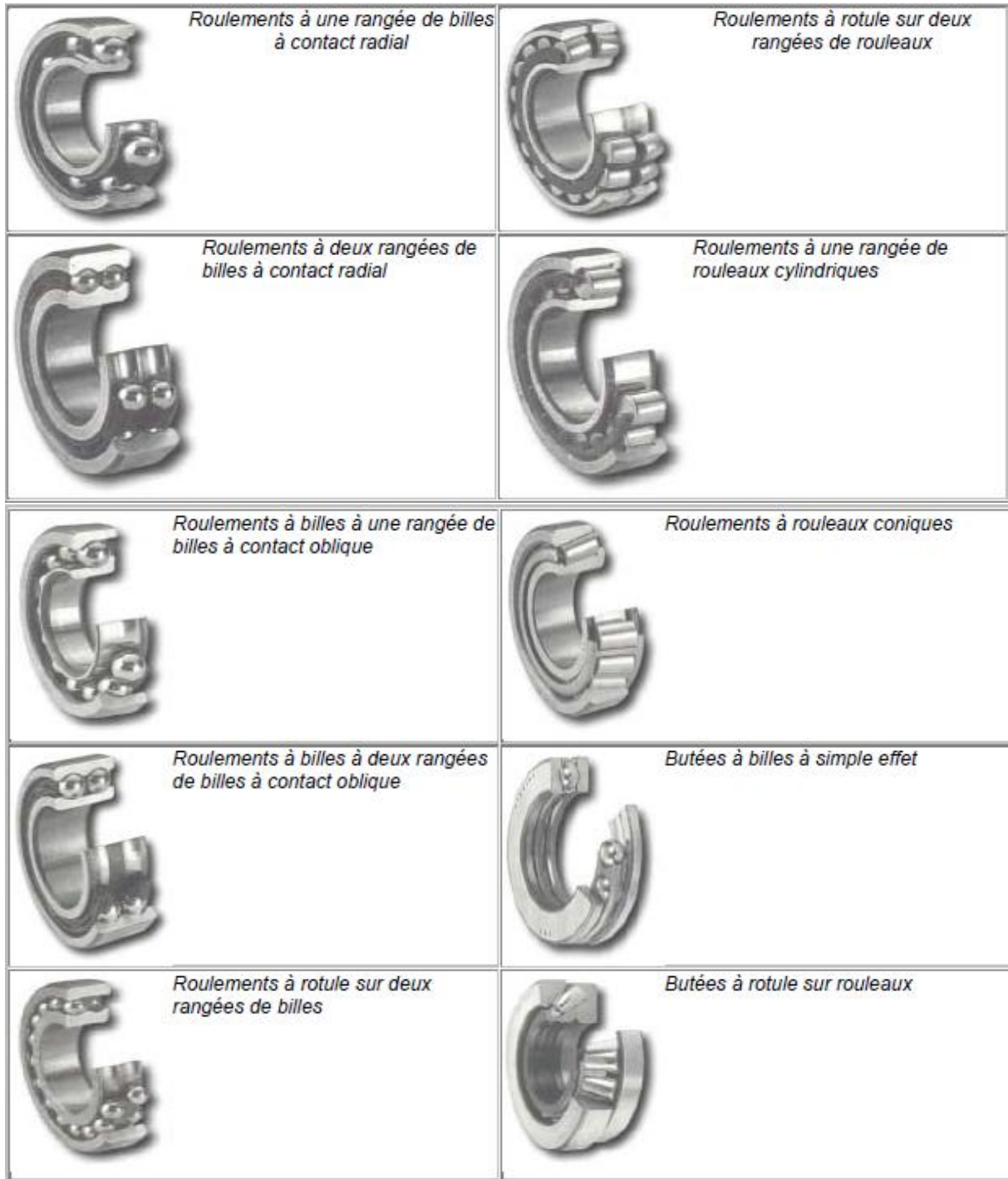
- ❖ Le couple de frottement au démarrage est plus faible et de plus n'est que légèrement supérieur au couple de frottement dynamique.
- ❖ Ils sont fabriqués suivant des normes internationales, sont interchangeables et facilement disponibles.
- ❖ Le graissage est simple et la quantité de graisse consommée très faible.
- ❖ En règle générale, ils acceptent à la fois des charges radiales et des charges axiales.
- ❖ Leur utilisation à basse comme à haute température est possible.
- ❖ La rigidité des roulements peut être augmentée par un pré charge[MER16].

II.4.Types de roulement:

En pratique pour chaque application existe un roulement approprié, le roulement à billes offre un faible frottement grâce au contact ponctuel mais n'est utilisé que pour des charges limitées.

Le roulement à rouleaux offre une plus grande capacité de chargement grâce au contact linéaire provoquant aussi un frottement plus important.

Les rouleaux peuvent prendre différentes formes cylindriques, coniques ou sphériques. Les roulements à aiguilles sont quant à eux utilisés lorsqu'un rapport charge encombrement important est requis[BELK 16]. Les principaux types de roulements sont illustrés dans la figure (II.4).



Figure(II.4) : Types de roulements.

Ces types sont divisés en fonction des charges qu'elles peuvent supporter, comme l'indiqué dans la figure ci-dessous.

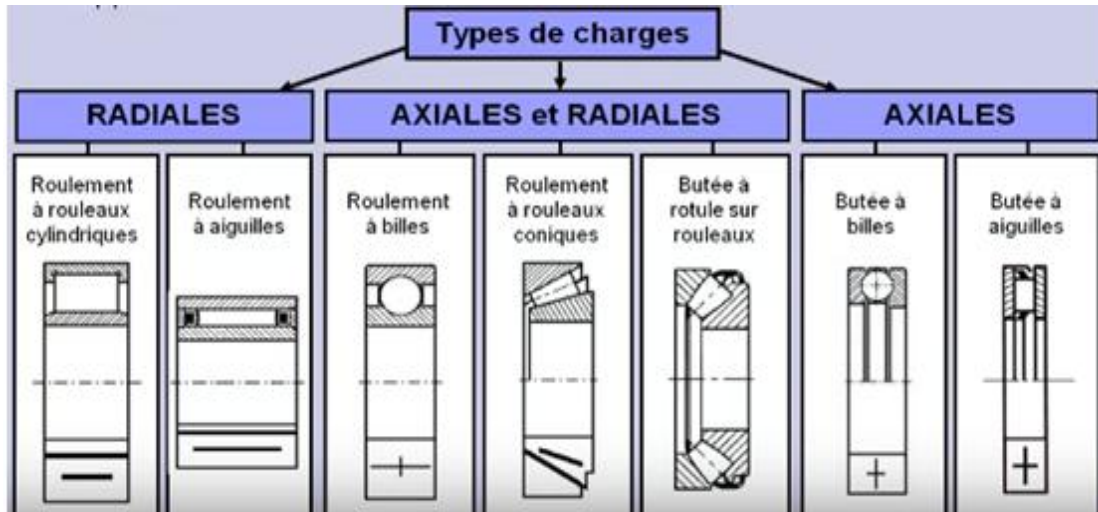


Figure (II.5): types de charge deroulements.

II.5. Critères de choix d'un roulement:

Nous devons veillez à:

- ❖ La direction des charges que supporteront les roulements (axiales, radiales ou les deux).
- ❖ L'intensité de ces charges.
- ❖ La fréquence de rotation.
- ❖ La durée de vie.
- ❖ L'encombrement.
- ❖ La précision du guidage en rotation à obtenir
- ❖ Son futureenvironnement[MOH].

II.6. Les défauts de roulements:

Les roulements sont parmi les composants les plus sollicités des machines et représentent une source de panne fréquente. Les défauts que l'on peut y rencontrer sont les suivants : écaillage, grippage, corrosion (qui entraîne l'écaillage), faux effet Brinell, etc... Tous ces défauts se traduisent par une perte de métal et provoquent des chocs répétés des billes sur la cage de roulement. Nous allons mentionner les défauts les plus importants qui sont dangereux pour les roulements comme suit[HAR08].

a. Ecaillage de fatigue :

C'est un écaillage unilatéral, il est caractérisé par des petites fissures et arrachement de fragments de matière. Il se produit lors de l'application d'une surcharge, un désalignement ou

lors d'un défaut sur les logements ou les portées voir Figure(II.6).



Figure (II.6):PhotosEcaillage de fatigue sur la d'un roulement dans la BE[ADB 10].

b. Corrosion :

Causée par la présence de l'humidité aux points de contact des éléments roulants avec les chemins. La figure représente une corrosion sur bague intérieure d'un roulement à rouleaux conique (voir la figure II.7).



Figure (II.7):Corrosion de contact sur la bague Intérieure d'un roulement à rouleaux sphérique[ADB 10].

d. L'usure:

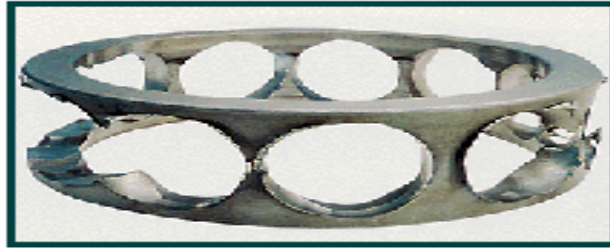
Le glissement des différents éléments, progresse avec l'introduction de particules contaminant au montage ou pendant le fonctionnement. Il est vrai que l'usure d'un roulement à billes peut être une source de contamination



Figure (II.9):usure à billes[BES 17].

c. Déformation des cages :

La vibration inadmissible ainsi que les coups durant le montage sont responsables de la déformation et de la détérioration des cages. Il s'agit même de la déformation et de la rupture de la cage du roulement figure(II.8).



Figure(II.8):Déformation de cage d'un roulement à billes de contact angulaire[ADB10].

e. Jeu de roulement:

Comme indiqué sur la figure ci-dessous, on peut distinguer plusieurs positions des vides bagues intérieure ou extérieure, billes ou cage, le jeu est très dangereux puisqu'il aggrave l'état de roulement rapidement (ex. écaillage) et fait une dégradation des contacts mécaniques surtout dans un milieu pollué. Le jeu radial ou axial au niveau de roulement peut provoquer l'usure [BES 17].

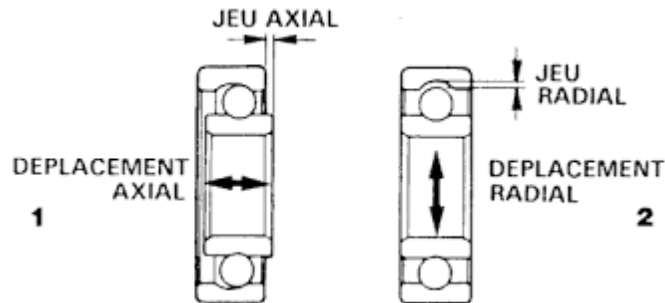


Figure (II. 10) :Jeu de roulement (axial et radial)[BES 17].

II.7.Fréquences caractéristiques des défauts de roulements:

On trouve pour les formules des fréquences caractéristiques des défauts de roulement des formules théoriques et autres approximatives, ces formules sont expliquées en détail dans cette partie. La relation entre les vibrations des roulements à billes et le spectre du courant statorique est basée sur le fait que toutes les excentricités interfèrent sur le champ dans l'entrefer de la machine asynchrone. Un défaut de roulement à billes se manifeste par la répétition continue du contact défectueux avec la cage de roulement extérieure comme intérieure. La fréquence de répétition sera pour la cage intérieure et extérieure [HAR08].

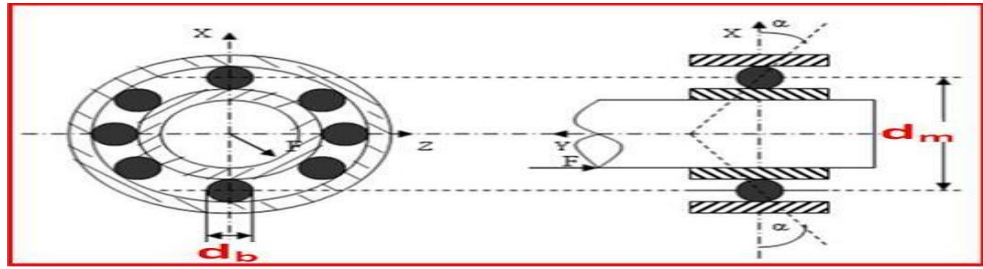


Figure (II.11): Fréquences caractéristiques des défauts des éléments d'unroulement[DJA 15].

- Fréquence d'un défaut localisé sur la bague externe du roulement

$$BPFO = f_{be} = \frac{f_r N_b}{2} \left(1 - \frac{d_b}{d_m} \cos(\alpha) \right) \quad (II.1)$$

- Fréquence d'un défaut localisé sur la bague intérieure

$$BPFI = f_{bi} = \frac{f_r N_b}{2} \left(1 + \frac{d_b}{d_m} \cos(\alpha) \right) \quad (II.2)$$

- Fréquence d'un défaut de cage

$$FTF = f_c = \frac{f_r}{2} \left(1 - \frac{d_b}{d_m} \cos(\alpha) \right) \quad (II.3)$$

- Fréquence d'un défaut localisé sur un élément roulant

$$BSF = f_{bille} = \frac{f_r}{2} \frac{d_m}{d_b} \left(1 - \left(\frac{d_b}{d_m} \cos(\alpha) \right)^2 \right) \quad (II.4)$$

- f_{be} : la fréquence caractéristique de la bague extérieure .
- f_{bi} : la fréquence caractéristique de la bague interne .
- f_r : la fréquence de rotation de la cage .
- f_{bille} : la fréquence caractéristique de rotation des billes .
- N_b : le nombre de billes .
- d_b : le diamètre de la bille .
- d_m : le diamètre du centre des billes $\left(\text{diamètre moyen} = d_m = \frac{d_{alésage} - d_{ext}}{2} \right)$

α : l'angle de contact (le roulement oblique possède les valeurs de $\alpha = 15^\circ, 25^\circ$ ou 40° et pour un roulement à gorge profonde, il présente une charge purement radiale $\alpha = 0^\circ$).

- **BPFO** : la fréquence de passage des billes (ou rouleaux) sur la couronne externe pour un défaut sur la couronne externe (**B**all **P**ass**F**requency of **O**uter ring);
- **BPFI** : la fréquence de passage des billes (ou rouleaux) sur la couronne interne pour un défaut sur la couronne interne (**B**all **P**ass**F**requency of **I**nnner ring);
- **BSF**: la fréquence de rotation des billes (ou rouleaux) pour un défaut sur l'élément roulant (**B**all**S**pin **F**requency) .
- **FTF** : la fréquence de cage pour un défaut de cage (**F**undamental**T**rain **F**requency).

Remarque :

Les fréquences de passage sont des fréquences théoriques sensiblement respectées tant qu'il y a roulement parfait des billes sans glissement. Dès qu'il y a amorces de grippage, le frottement a tendance à ralentir la partie dégradée. Le défaut se manifeste donc à une fréquence inférieure à la fréquence calculée. Cette différence bien que difficile à appréhender il est un élément décisif pour établir l'urgence de l'intervention, le grippage étant le stade ultime d'un défaut sur roulement et pouvant amener par blocage la dégradation brutale du rotor.

II.8. Lubrification de roulements:

Une bonne lubrification évite 55% des dommages prématurés sur les roulements et augmente significativement la durée de vie des roulements, nous montrons les méthodes de lubrification et les quantités appropriées du processus de lubrification comme suit:

Les avantages de la lubrification:

- diminution de l'usure et du grippage des éléments en contact.
- protection contre la corrosion.
- étanchéité aux liquides et à la pollution extérieure.
- évacuation des impuretés créées par le mouvement des pièces.
- réalisation d'économies d'énergie grâce à la diminution des frottements entraînant ainsi une baisse de la puissance consommée par la machine.
- maintien de l'équilibre thermique de la machine grâce à l'évacuation des calories dans les configurations de circulation d'huile[wik].

a.Lubrification à la graisse :

Elle rend le roulement plus ou moins étanche (fuite et pénétration de la poussière), en cas de contamination (condition environnementale), comme la graisse ne circule pas, les contaminants sont maintenus à l'intérieur du roulement et peuvent y exercer leurs nuisances. Dans certains cas, la graisse peut aussi attirer des produits contaminants comme la

vapeur d'eau qui, en se condensant, peut avoir un effet particulièrement dangereux. Lors d'une lubrification à la graisse, la quantité nécessaire pour la lubrification, est donnée par la formule empirique suivante :

$$Q_{TÉ} \text{ (g)} = B \times D \times 0.002 \text{ (II.5)}$$

B: Largeur du roulement (mm).

D: Diamètre extérieur du roulement (mm).

b. La lubrification à l'huile :

Elle a l'avantage de pouvoir circuler, ce qui favorise l'évacuation de la chaleur et surtout les débris d'usure. Il faut toutefois veiller à l'utilisation des filtres dans le système de graissage, faute de quoi elle peut introduire des polluants dans les roulements. Une viscosité plus faible est la qualité d'huile idéale pour les roulements exploités à des vitesses de rotation plus élevées et elle doit être importante pour des fortes températures. Généralement, la mise en oeuvre et la maintenance d'une lubrification à l'huile sont plus coûteuses que celles d'une lubrification à la graisse (installation et analyse) [BOUZ 08].

II.9. Méthode de calcul de la durée de vie d'un roulement:

II.9.1. Durée de vie nominale L_{10} :

L'expérience a permis de mettre en place une relation liant durée de vie et charge pour les roulements [BES 17].

$$L_{10} = \left(\frac{C}{P}\right)^n \text{ ou } L_{10} = \frac{10^6}{60 \cdot N} \left(\frac{C}{P}\right)^n \text{ (II.6)}$$

L_{10} : Durée de vie nominale en millions de tours.

L_{10h} : Durée de vie nominale en heures de fonctionnement

N : vitesse de rotation (en tr/mn).

C : Constante pour le roulement étudié, nommée Charge dynamique de base (en Newton).

P : Charge radiale dynamique équivalente appliquée au roulement.

n: constante dépendant de la nature du contact.

En plus, P la charge radiale équivalente supportée. Pour calculer P pour un roulement à billes, on doit obtenir les charges radiales et axiales, respectivement F_r et F_a . On a également besoin des données constructeur e, X et Y [WIK02].

si $F_a < e \times F_r$ alors $P = F_r$

si $F_a > e \times F_r$ alors $P = X \times F_r + Y \times F_a$

Exemple d'application:

Déterminer un roulement rigide à une rangée de billes devant tourner à 1000 tr/mn, sous une charge radiale constante de 3000 N, Charge dynamique de base 31900N, ayant une durée de vie nominale de 20 000 heures de fonctionnement.

$$n = 3$$

$$P = 3000 \text{ N}$$

$$C = 31900 \text{ N}$$

$$L_{10} = 20\,000 \cdot 1000 \cdot 60 = 1\,200 \text{ M.tours}$$

D'où le choix du roulement à l'aide d'un catalogue constructeur en fonction des diamètres de l'arbre et de l'alésage envisageables.

II.10. Avantage et inconvénients des roulements :

a. Avantages :

- Remplace les frottements par du roulement et donc un gain de puissance, par conséquent moins d'échauffement et donc moins d'usure.
- Permet des fréquences de rotation plus élevées.

b. Inconvénients :

- ❖ L'encombrement est augmenté.
- ❖ Le prix est plus élevé qu'une liaison de conception moindre (palier lisse).
- ❖ Mise en œuvre plus complexe. La conception d'une telle liaison doit tenir compte de paramètres précis [MOH].

II.11. Généralité sur les signaux :

II.11.1. Qu'est ce qu'un signal ?

Un signal, harmonique et simple déterministe est une grandeur variable dans le temps et qui est définie par trois valeurs qui sont l'amplitude, la fréquence, et la phase. Son allure physique est définie par la relation (II.1) [SER] :

$$s(t) = A_m \times \sin(2 \times \pi \times t \times f + \varphi) \quad (\text{II.5})$$

avec:

A_m : Amplitude

f : Fréquence

Φ : Phase.

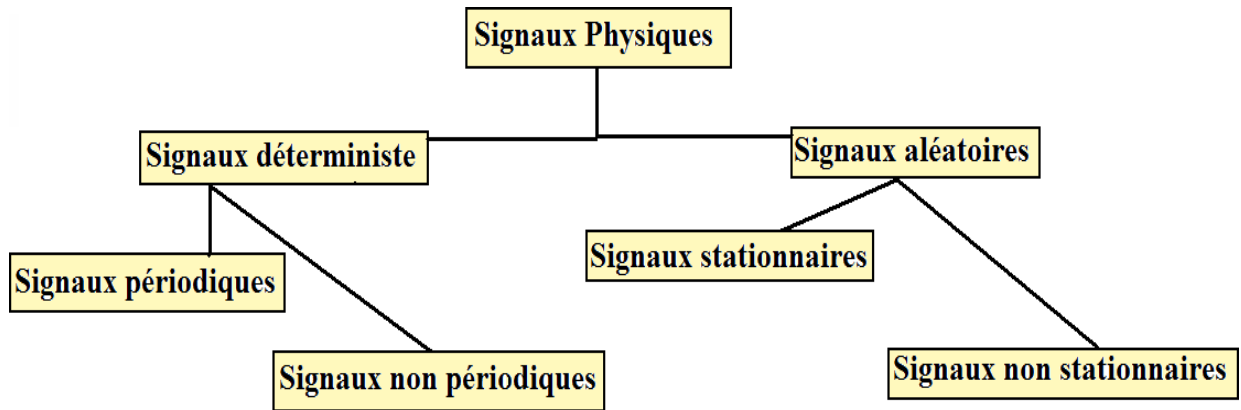


Figure (II.12): Types de signaux vibratoires [TOU].

II.11.2. Signaux déterministes :

Un signal est appelé déterministe s'il est possible de déterminer son amplitude pour tout instant « t ». Un tel signal peut être défini par une expression mathématique ou par un graphique.

Les signaux déterministes sont déterminés par un ensemble de phénomènes physiques connus ou non, les figures (II.13) et (II.14) illustrent ce type de signal. Ils peuvent être périodiques et non périodiques [ARQ]

a. Périodiques :

Un signal est dit périodique si les variations de son amplitude se reproduisent régulièrement au bout d'une période T constante. On a donc pour tout $(t + T) = x(t) \quad t \in \mathbb{R}$. La fréquence d'un signal périodique est le nombre de périodes par seconde. Elle s'exprime en hertz (Hz). La fréquence en hertz est donc égale à l'inverse de la période exprimée en secondes

$$: f = \frac{1}{T}$$

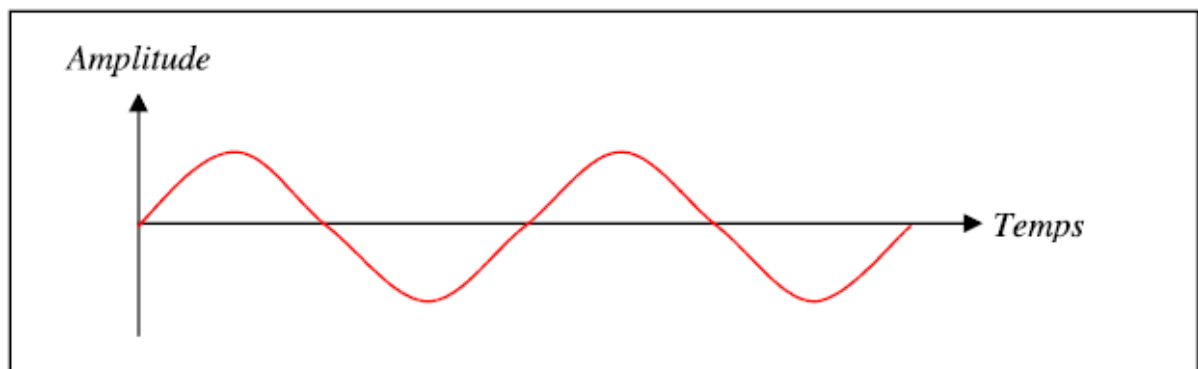


Figure (II.13): Signal périodique [ADB 10].

b. Non périodiques :

Un signal est dit non périodique s'il n'est pas périodique, mais, existe à tout instant « t ».

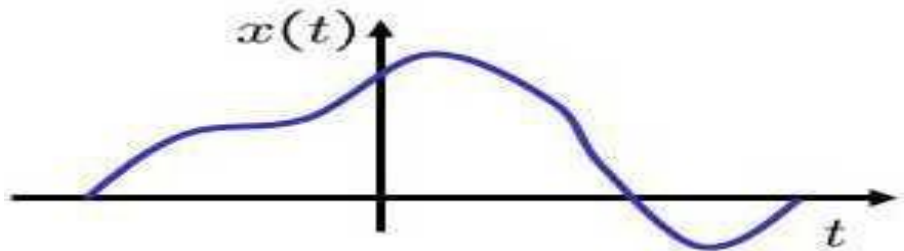


Figure (II.14) : Représentation d'un signal non périodique [ADB 10].

II.11.3. Signaux aléatoires:

Les signaux aléatoires sont caractérisés par le fait qu'il n'est pas possible de prédire leur amplitude à un instant donné. Ils sont classés en deux types qui sont:

a. Stationnaires:

Ce sont des signaux dont les caractéristiques statistiques sont indépendantes de l'origine du temps.

b. Non stationnaires:

Ce sont des signaux qui ont les caractéristiques contraires à celles des Stationnaires [DJA].

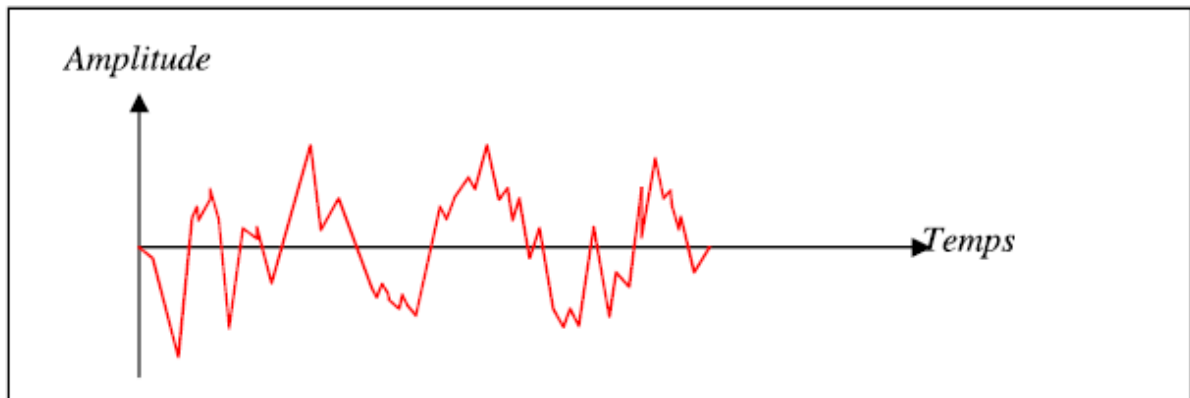


Figure (II.15) : Signal aléatoire [ADB 10].

II.12. Analyse vibratoire:

L'analyse vibratoire est une technique de maintenance conditionnelle particulièrement adaptée aux machines tournantes (les roulements). Son objectif est de détecter des dysfonctionnements mécaniques à travers des relevés d'accélération pour certaines plages de fréquences afin de suivre l'état de dégradation d'un système. Elle pourra également être utilisée pour réaliser un diagnostic par interprétation de la forme du signal vibratoire.

Dans cette partie nous montrons les limitations de l'analyse vibratoire pour la détection des défauts naissants, mais avant de commencer nous nous proposons de faire un rappel sur les différentes signatures vibratoires des défauts étudiés[GRA13].

II.12.1. Définition d'une vibration :

La norme ISO 2041 « Vibrations et chocs - Vocabulaire (Août 1990) » définit la notion de vibration : Variation avec le temps de l'intensité d'une grandeur caractéristique du mouvement ou de la position d'un système mécanique, lorsque l'intensité est alternativement plus grande et plus petite qu'une certaine valeur moyenne ou de référence. En fait, un corps

est dit en vibration lorsqu'il est animé d'un mouvement oscillatoire autour d'une position d'équilibre ou de référence. Les textes de normalisation AFNOR relatifs aux vibrations sont :

NF E 90-001, NF E 90 002[NAB 11].

La vibration d'une machine soumise à une force périodique peut être décrite en termes de déplacement, de vitesse ou d'accélération. La vitesse du mouvement vibratoire correspond à la variation de son déplacement pour une unité de temps. L'accélération représente une variation de la vitesse par unité de temps[LAN].

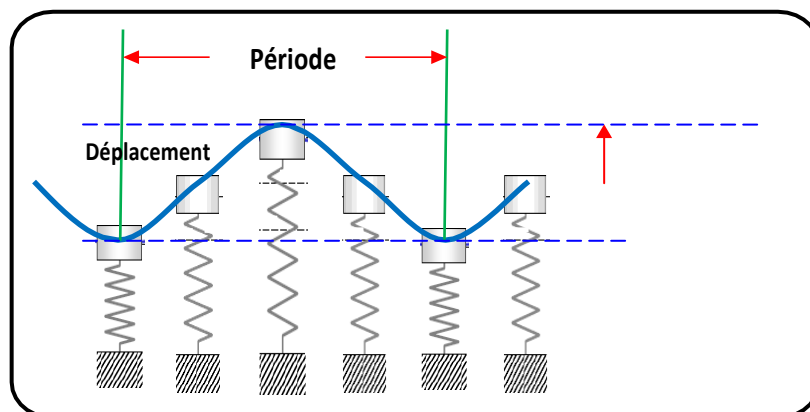


Figure (II.16) : Mouvement d'une masse suspendue à un ressort.

II.12.2. Principe de l'analyse vibratoire:

Les éléments tournants d'une machine, lors du fonctionnement, engendrent des efforts internes et des déformations au sein de la structure. Ces déformations et efforts varient en fonction de la fréquence de rotation et des défauts de l'élément (roulement à billes, ...). Ces déformations et ces efforts entraînent le déplacement de la structure par rapport à elle-même, ce qui constitue la vibration. La vibration est un mouvement d'oscillation autour d'une

position d'équilibre stable ou d'une trajectoire moyenne. L'analyse vibratoire a pour but de déterminer les forces internes et externes qui sont appliquées à une installation et de statuer sur la gravité de leurs présences et de leurs amplitudes. L'analyse vibratoire se fait avec un capteur accéléromètre de type piézoélectrique. L'analyse vibratoire peut se caractériser par l'équation différentielle du mouvement (équation II.6) d'un système masse – ressort.

$$m\ddot{x} + c\dot{x} + kx = F \quad (\text{II.7})$$

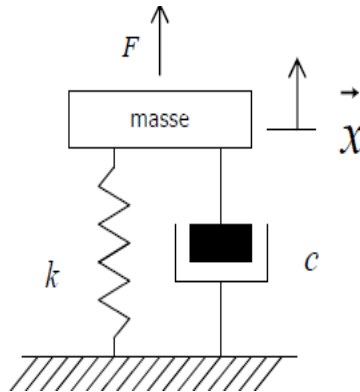


Figure (II.17) : Système à un degré de liberté.

Avec :

m : est la masse en kg,

c : est l'amortissement en N.s/m,

k : est la raideur en N/m,

$x = x(t)$ représente le déplacement de la masse en mètre à partir de sa position d'équilibre statique,

$F = F(t)$ représente l'impulsion émise par le choc du roulement (force externe)

II.12.3. Objectif de l'analyse vibratoire:

L'analyse vibratoire poursuit deux objectifs:

- la détection des défauts .
- l'analyse détaillée des défauts ;
- réduire le nombre d'arrêts sur casse .
- fiabiliser l'outil de production .
- augmenter son taux de disponibilité ;
- mieux gérer le stock de pièces détachées, etc.

On utilise à cet effet des paramètres calculés.

- ✓ soit dans le domaine temporel.
- ✓ soit dans le domaine fréquentiel.

- ✓ soit dans les deux à la fois.

II.12.4. Techniques d'analyse :

La surveillance d'un équipement de machine est assurée en relevant périodiquement un indicateur d'état de dégradation ou de performance, il existe différentes techniques d'analyse (figure II.18) tels que l'analyse vibratoire, l'émission acoustique, la thermographie, l'analyse des huiles et des lubrifiants, la variation de résistance dans un circuit électrique, etc. Le choix de l'indicateur dépend du type de machine à étudier et du type de défaillance que l'on souhaite détecter. Pour les machines tournantes, un indicateur de type vibratoire permet de détecter la plupart des défauts, on établit une courbe d'évolution de l'indicateur au cours du temps. Sur cette courbe, on définit différents seuils correspondant à un niveau d'alerte, à une alarme, à un niveau de défaillance, ces niveaux sont établis soit par expérience soit en appliquant une norme pour les roulements, on utilise des abaques de sévérité vibratoire pour définir les différents seuils. D'utilisation de différentes méthodes dans le monde. [BELK.16] Comme montre la figure (II.18).

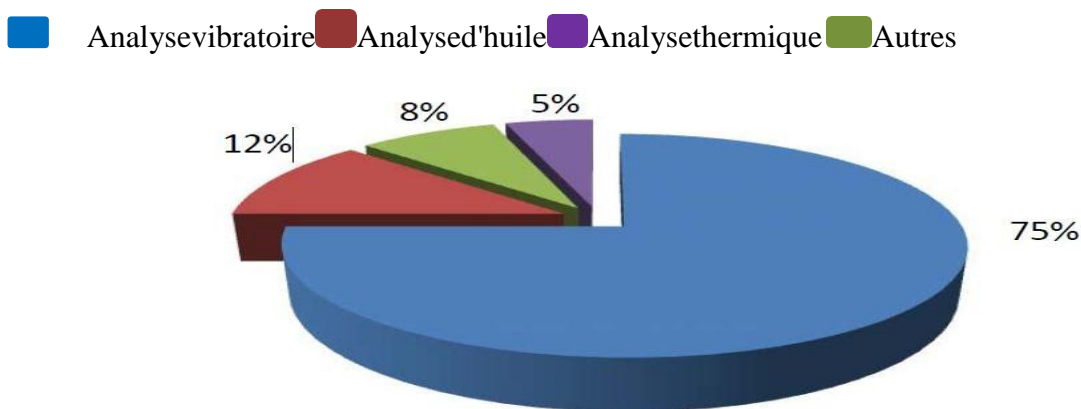


Figure (II.18): Différentes méthodes d'analyse [BELK.16].

➤ L'analyse vibratoire

Il est la plus connue et la plus largement utilisée car il est adaptée aux composants mécaniques et aux machines industrielles en fonctionnement. Elle permet de détecter la majorité des défauts susceptibles d'apparaître dans les machines tournantes.

➤ L'analyse d'huile:

est appliquée à toutes les machines contenant des fluides de lubrification (réducteurs, motoréducteurs, moteurs thermiques...). Elle consiste à prélever un échantillon d'huile et de l'analyser (particules d'usure) pour déduire l'état de l'équipement.

➤ La thermographie infrarouge :

suscite un intérêt encore récent dans le domaine de la maintenance jusqu'alors réservée au contrôle d'installations électriques. Elle est peu utilisée pour la surveillance des machines tournantes notamment pour la détection de défauts qui se manifestent par un échauffement anormal à la surface de l'équipement. La thermographie permet de réaliser des mesures à distances et d'obtenir instantanément une image thermique de la zone inspectée.

➤ **L'analyse acoustique :**

Elle permet de détecter tout bruit anormal à l'aide de microphones placés à distance de l'équipement.

➤ **Le contrôle par ultrasons :**

Elle permet de détecter des défauts de faibles amplitudes à hautes fréquences tels que l'initiation de la dégradation d'un roulement[DJE13].

II.12.4. Les avantages et inconvénients de l'analyse vibratoire:

a. Les avantages:

- détection de défauts à un stade précoce.
- Possibilités de réaliser un diagnostic approfondi.
- permet de surveiller.
- L'équipement à distance.
- autorise une surveillance continue.

b. Les inconvénients:

- spectres parfois difficile à interpréter[BELK 16].
- dans le cas de la surveillance continue, installations relativement coûteuses

II.13. domaine d'application de l'analyse vibratoire:

Découverte des défauts de tous les éléments cinématiques de la machine (balourd, défauts d'alignement, jeux, etc.) et de sa structure[NAC15].

II.14.1 Caractéristiques d'une vibration:

II.14.1.1 Fréquence:

II.14.1.a. Définition :

La fréquence est le nombre de fois qu'un phénomène se répète en un temps donné. Lorsque l'unité de temps choisie est la seconde, la fréquence s'exprime en hertz (Hz). Une vibration qui se produira 50 fois par seconde aura donc une fréquence de 50 hertz.

1 hertz = 1 cycle / seconde Le hertz est la fréquence d'un phénomène périodique dont la période est 1 seconde [BEN].

II.14.1.2 Amplitude:

L'amplitude est la première sensation ressentie lorsque l'on pose la main sur le palier d'une machine qui vibre.

II.14.1. Définitions:

On appelle amplitude d'un mouvement vibratoire la valeur de ses écarts par rapport à sa position d'équilibre. De cette définition générale, la complexité d'un signal vibratoire réel conduit à définir plusieurs grandeurs figure(II.19) pour caractériser son amplitude.

II.14.1.1. L'amplitude « crête (Ac) » :

Elle représente l'amplitude maximale du signal par rapport à sa valeur d'équilibre.

II.14.1.2.L'amplitude « crête à crête (Acc) » :

Elle est appelée, aussi, « peak topeak » (Ap-p) en anglais. Elle représente l'écart entre les amplitudes extrêmes du signal pour un temps d'observation donné. Dans le cas d'une vibration sinusoïdale, elle est parfois appelée « amplitude double » ($Acc = 2Ac$)[ALA 07].

II.14.1.3L'amplitude « efficace (Aeff) » :

Elle a l'abréviation anglaise RMS (RootMean Square). Comme en électricité, elle représente l'amplitude corrigée « statique » du signal redressé, indiquant ainsi l'énergie donnée par le mouvement vibratoire[ALA 07].

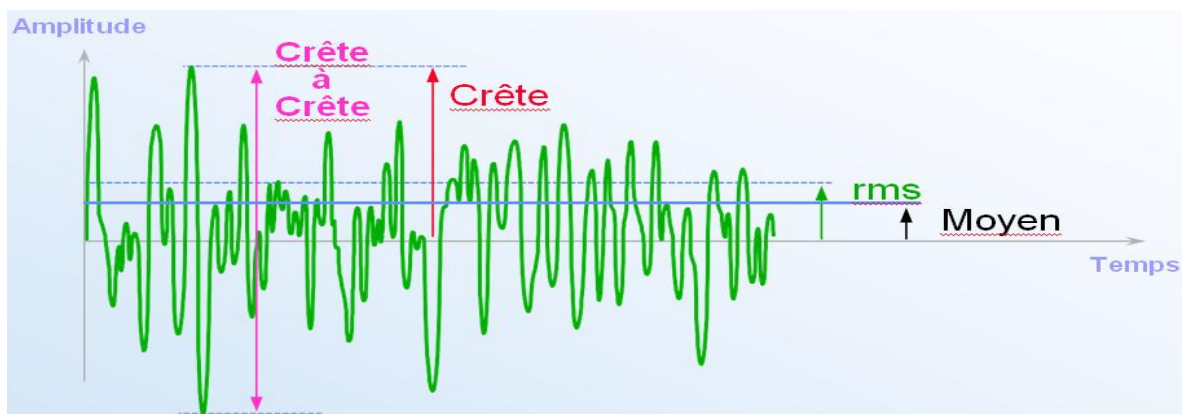


Figure (II.19): Représentation des différentes amplitudes.

II.15. Nature des vibrations:

Les vibrations mécaniques sont des mouvements oscillant autour d'une position moyenned'équilibre. Ces mouvements oscillants caractéristiques de l'effort qui les génère,

peuvent être, soit périodiques, soit apériodiques (transitoires ou aléatoires) selon qu'ils se répètent ou non, identiquement à eux-mêmes après une durée déterminée.

II.15.1. Les grandeurs de mesure d'une vibration:

Une vibration mécanique peut être mesurée selon les trois grandeurs suivantes :

- ❖ Déplacement
- ❖ Vitesse
- ❖ Accélération

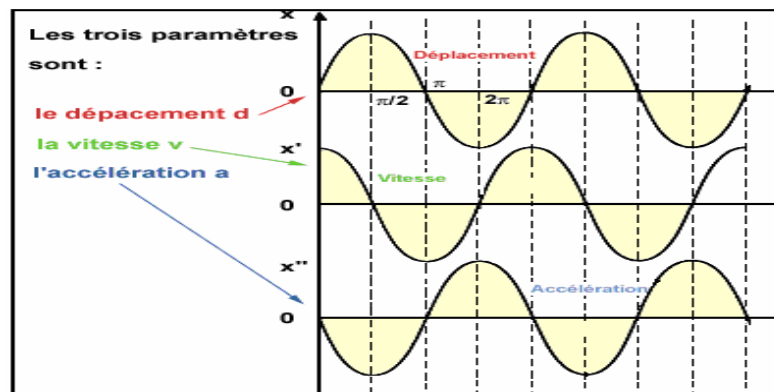


Figure (II.20) : Grandeurs associées à une vibration[ADB 10].

II.15.1.a. Déplacement vibratoire :

Dans le cas d'une vibration périodique dont la forme d'onde est du type $x(t) = V_{max} \sin(\omega t)$, et prenant pour variable caractéristique le déplacement x par rapport à la position d'équilibre, la forme d'onde devient : $x(t) = X_{max} \sin(\omega t)$ ou encore $x(t) = X_{max} \sin(2\pi f t)$, Le déplacement s'exprime en m, ou plus couramment en mm, ou en μm

II.15.1.b. Vitesse vibratoire:

vitesse (v) qui caractérise l'accroissement de position par unité de temps se décrit par la dérivée du déplacement $v = \frac{dx}{dt}$.

Ce qui donne la fonction de vitesse suivante :

$v(t) = \omega X_{max} \cos(\omega t) = V_{max} \sin(\omega t + \pi/2)$, Cette équation montre que la vitesse est en avance de phase de 90° sur le déplacement. La vitesse s'exprime en m/s ou mm/s

II.15.1.c. Accélération vibratoire :

L'accélération qui caractérise l'accroissement de vitesse par unité de temps se décrit par la dérivée de la vitesse ou la double dérivée du déplacement $a = \frac{dv}{dt} = \frac{d^2x}{dt^2}$ ce qui donne la fonction d'accélération suivante $a(t) = -\omega^2 X_{max} \sin(\omega t) = A_{max} \sin(\omega t + \pi)$,

Cette équation montre que l'accélération est en avance de phase de 180° sur le déplacement et donc de 90° sur la vitesse. L'accélération s'exprime en m/s^2 ou en g ($1g=9.81 m/s^2$).

II.15.2. Choix des grandeurs de mesure:

Le choix se base sur [BOUD 16]:

- La grandeur déplacement pour détecter des phénomènes à basse fréquence $F \leq 100$
- La grandeur vitesse pour détecter des phénomènes se situant dans une large gamme de fréquence $F \leq 1000$ Hz.
- La grandeur accélération pour détecter des phénomènes se situant à haute fréquence $0 \leq F \leq 20000$ Hz.

II.16. Méthodes d'analyse:

Il existe différents outils d'analyse vibratoire permettant de détecter et de diagnostiquer l'apparition des défauts dans les roulements. De nombreuses publications synthétisent ces différentes méthodes ou outils. Elles sont généralement classées en deux grandes familles.

II.16.a. Méthodes temporelles :

Les méthodes temporelles sont basées sur l'analyse statistique du signal recueilli, elles s'appliquent à des machines simples et consistent à effectuer des mesures de vitesse dans des gammes de fréquences faibles et des mesures d'accélération dans des gammes de fréquences élevées. Le but est de minimiser l'influence des vibrations induites par la rotation des arbres. Cette méthode utilise des indicateurs scalaires qui permettent de suivre l'évolution d'une grandeur décrivant de la puissance ou de l'amplitude crête du signal. Sa valeur peut ne pas avoir de signification intrinsèque, c'est son évolution dans le temps qui est significative du défaut [DJE13].

II.16.a.1. Valeur efficace ou valeur RMS (Root Mean Square):

Le RMS nommée aussi valeur efficace ou moyenne quadratique d'un signal, correspond à la racine carrée du moment d'ordre deux et est calculé comme montré par l'équation :

$$V_{RMS} = V_{eff} = \sqrt{\frac{1}{Ne} \sum_{n=1}^{Ne} [x(n)]^2} \quad (\text{II. 8})$$

Où $x(n)$ est le signal temporel mesuré, (Ne) représente le nombre d'échantillons prélevés dans le signal. Globalement, la valeur efficace ne détecte pas tous les défauts et donne une

alarmetardive, ce qui représente un inconvénient majeur dans la maintenance prédictive[HAR.HAM.17].

II.16.a.2. Facteur de crête:

Contrairement à la valeur efficace de l'amplitude d'un signal, les indicateurs spécifiques comme le facteur de crête ou le kurtosis sont mieux adaptés pour représenter un signal induit par des forces impulsionnelles tels que les écaillages de roulements. Ces indicateurs sont issus des valeurs crêtes du signal temporel mesuré. Le facteur crête, défini comme étant le rapport entre la valeur crête et la valeur efficace.

$$F_C = \frac{AC_{crete}}{V_{eff}} = \frac{\sup|x(n)|}{\sqrt{\frac{1}{Ne} \sum_{n=1}^{Ne} [x(n)]^2}} \quad (\text{II.9})$$

Le facteur crête a l'avantage de détecter avant la valeur efficace. Ceci provient du fait que pour un roulement sans défaut, le rapport reste sensiblement constant et augmente lorsqu'une dégradation apparaît alors que la valeur crête croît pendant que la valeur efficace reste à peu près constante [HAR17].

II.16.a.3. Le kurtosis:

L'analyse statistique du signal est un autre indicateur intéressant : les vibrations de type sinusoïdal ou impulsionnel génèrent non seulement des différences importantes de rapport amplitude crête/amplitude efficace comme nous l'avons déjà vu avec le facteur de crête, mais aussi des allures de courbes de densité différentes. Pour quantifier cette différence le kurtosis.[HAR 17].

$$\text{Le kurtosis} = \frac{\frac{1}{N} \sum_{n=1}^N (x(n) - \bar{x})^4}{\left[\frac{1}{N} \sum_{n=1}^N (x(n) - \bar{x})^2 \right]^2} \quad (\text{II.10})$$

$x(n)$: le signal temporel.

\bar{x} : la valeur moyenne des amplitudes, N est le nombre d'échantillons prélevés dans le signal.

II.16.b. Méthode fréquentielle:

Toute anomalie affectant une machine tournante se traduit par des vibrations dont les fréquences correspondent aux fréquences d'apparition des forces les induisant et de leurs harmoniques. C'est pourquoi, pour le diagnostic, il est intéressant de décomposer le signal vibratoire mesuré en ses sinusoïdes élémentaires dont les amplitudes et les fréquences peuvent être lues [HAR 17]

➤ La définition de la FFT (transformée de Fourier rapide) :

La transformée de Fourier est une des méthodes (la plus utilisée aujourd'hui) pour représenter un phénomène temporel dans le domaine fréquentiel. Cette représentation fréquentielle est une image parmi d'autres possibles du phénomène étudié. Il existe d'autres méthodes plus complexes mais plus efficaces. La compréhension de la FFT aide cependant à mieux les comprendre le domaine temporelle au domaine fréquentielle avec une présentation de amplitude/fréquence [HACH 12].

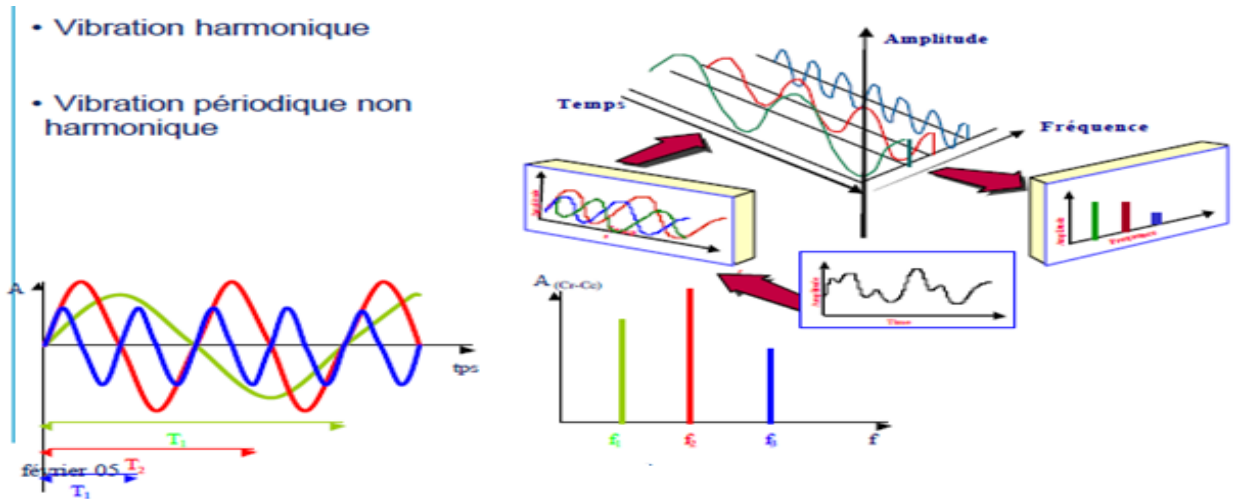


Figure (II.21): Transformation signal harmonique temporelle au fréquentielle.

II.16.b.1. Analyse spectrale:

Le diagnostic vibratoire est basé sur l'identification de la fréquence de la vibration générée par un phénomène mécanique. La méthode mathématique permet de représenter, en effectuant la transformée de Fourier, le signal complexe de la vibration par un spectre fréquentiel.

On cherche à la représentation dans un diagramme amplitude-fréquence appelé spectre figure (II.22). Avec ce type de représentation, chaque composante sinusoïdale est définie par son amplitude et sa fréquence. La représentation spectrale devient ainsi plus claire et exploitable [HAR17].

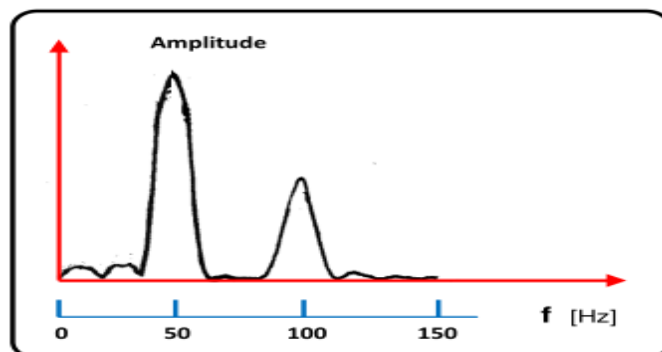


Figure (II.22): Spectre correspondant à la fonction $F(t)$ [HAR 17].

II.16.b.2. Analyse cepstral:

Le cepstre est une fonction du traitement du signal qui consiste à partir du domainetemporelle, à passer dans le domaine des fréquences, et à revenir dans le domaine temporel. Le cepstre peut être utilisé avec succès pour la surveillance de l'apparition et del'évolution d'un certain nombre de défauts induisant des chocs périodiques (desserrages, jeux, écaillages de roulements, défauts dedentures...).une modulation en amplitude ou en fréquence de composantes cinématiques[GRA13].

II.16.b. 3. Analyse d'enveloppe:

La détection d'enveloppe est un traitement qui permet l'étude des phénomènes demodulation. Elle permet la mise en évidence de la fréquence modulante, et de déterminer demanière fiable et rapide les fréquences de répétition des chocs souvent noyées dans un spectrede raies plus énergétiques[GRA13].

II.17. Mesure des vibrations:

Les trois grandeurs que l'on est amenée à mesurer en technique vibratoire : le déplacement, la vitesse et l'accélération peuvent être appréhendées par des systèmes trèsdifférents les uns des autres. On distingue trois principes plus particulièrement utilisés :

- ✓ Déplacement : principe des courant de Foucault .
- ✓ Vitesse :principeélectrodynamique.
- ✓ Accélération :principepiézo- électrique.

L'ensemble complet de mesure et d'analyse comporte

- ✓ - un capteur
- ✓ - Un collecteur de donnée
- ✓ - Un calculateur ou un micro-ordinateur avec un logiciel d'exploitation.

II.17.1. Capteurs et grandeurs mesurées:

Le rôle du capteur est de transformer l'énergie mécanique dispensée par la machine enun signale électrique proportionnel mesurable de manière reproductible. Il existe deuxgrandes familles de capteurs, les absolus (accéléromètre, vélocimétrie) et les relatifs(proximités)[ADB 10].

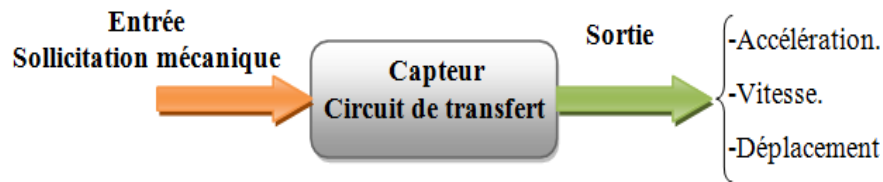


Figure (II.23):Schéma de principe d'un capteur de vibration[BES 17].

II.17.1.1 Les caractéristiques et type de capteurs :

Le capteur illustré au-dessous figure (II.24), quelle que soit la nature du signal qu'il délivre (accélération, vitesse, déplacement...) constitue le premier maillon de la chaîne de mesure. Sa fonction est de transformer le mouvement vibratoire en un signal électrique. Un capteur se caractérise principalement par :

- ✓ Bande passante.
- ✓ Dynamique
- ✓ Sensibilité.
- ✓ Tenue en température.
- ✓ Grandeurs d'influence.
- ✓ Masse et ses dimensions [HAC12].



Figure (II.24):Capteur vibrotest[ADB 10].

a. Capteurs de vitesse :

La vitesse, si elle n'est pas déduite du déplacement ou de l'accélération, peut être mesurée à l'aide d'un tachymètre électromagnétique. Ce capteur est basé sur le principe suivant : un aimant se déplaçant dans une bobine induit dans celle-ci une force électromotrice proportionnelle à la vitesse de déplacement. Un tachymètre détecte la position angulaire d'un axe en fonction du temps et fournit ainsi sa vitesse angulaire (généralement exprimée en tr/min)[CHO].

- **Vélocimétries:**

Les capteurs de vitesse, ou vélocimétries sont des capteurs électrodynamiques. Les vélocimétries les plus courants sont constitués d'une masse sismique reliée au boîtier par un ressort et solidaire d'une bobine qui se déplace dans un champ magnétique permanent créé par un barreau aimanté figure (II.26) la vibration du palier sur lequel est fixé le capteur, génère une tension proportionnelle à la vitesse de mouvement de la bobine.

- plage de fréquence limitée à la bande 10 – 1 000 Hz environ [DJA].

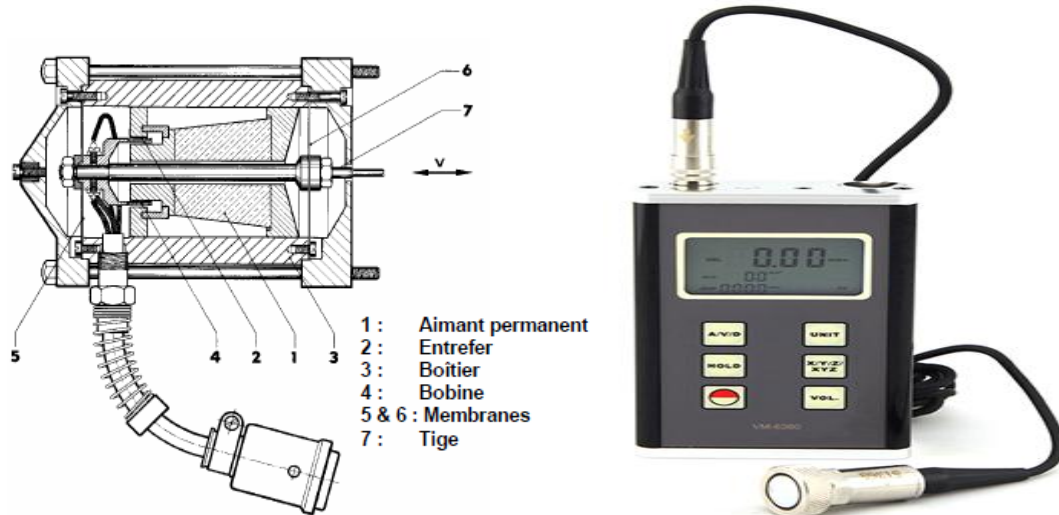


Figure (II.25): Les capteurs de vitesse.

b. Capteurs d'accélération :

C'est le type de capteur le plus employé lors des essais de vibration, il est possible de regrouper ces capteurs en trois grandes familles:

- Les accéléromètres piézoélectriques.
- Les accéléromètres piézorésistifs.
- Les accéléromètres asservis.

Nous mentionnerons par exemple Capteurs d'accélération piézoélectriques [CHO].

- **Accéléromètre piézoélectrique :**

Un accéléromètre piézoélectrique figure (II. 26) est composé d'un disque en matériau piézoélectrique (quartz), qui joue le rôle d'un ressort sur lequel repose une masse sismique précontrainte. Quand la masse se déplace sous l'effet d'une accélération, elle exerce sur le disque des contraintes, induisant à la surface de ce dernier une charge électrique proportionnelle à cette accélération. Les accéléromètres piézoélectriques tendent à devenir les capteurs de vibration absolue les plus utilisés pour la surveillance. Ils possèdent les propriétés suivantes :

- Utilisables sur de très grandes gammes fréquentielles.

- Excellente linéarité sur une très grande gamme dynamique (typiquement 140 dB).
- Le signal d'accélération peut être intégré électroniquement pour donner le déplacement et la vitesse
- Aucun élément mobile, donc extrêmement durable.

Les accéléromètres à électronique intégrée sont semblables aux accéléromètres piézoélectriques à la différence qu'ils possèdent de manière intégrée un conditionnement de charge pour délivrer une tension proportionnelle à l'accélération [LAN].

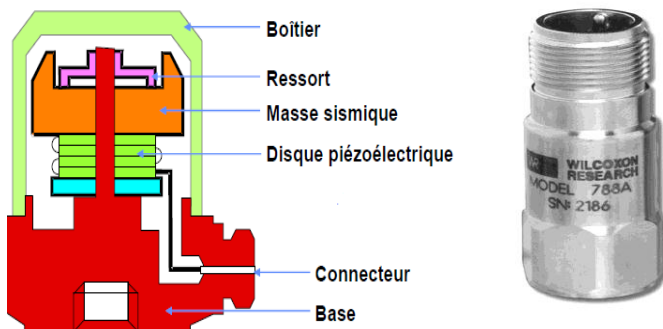


Figure (II.26): Schéma de principe d'un accéléromètre piézoélectrique [DJA 15].

c. Capteur de déplacement :

Le pont d'impédance est alimenté par un oscillateur de fréquence supérieur à 100kHz. La partie variable du pont est constituée par un self. Le pont est équilibré lorsque il n'y a pas de tension aux bornes du démodulateur. Dès qu'il y a modification de l'impédance de la bobine, il y a un déséquilibre du pont, donc une tension aux bornes du démodulateur à la fréquence de l'oscillateur. Cette tension est proportionnelle à la distance entre la cible et la bobine .

c.1. Avantages:

- mesure sans contact.
- mesure en continu (il existe un signal pour une fréquence nulle).
- mesure réelle du déplacement de l'axe dans son logement.

c.2. Inconvénients :

- sensible aux hautes fréquences,
- qualité de mesure dépendant de la qualité de la surface,
- phase relative des vibrations de l'arbre et du palier influençant la mesure,
- implantation difficile



Figure(II.27):Capteur de déplacement.

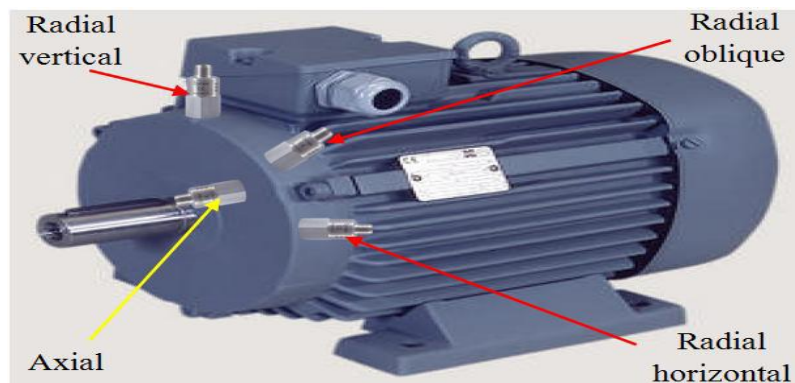
II.18. Les points de mesurevibration:

Localisation des points de mesure[BES17] :

- Les mesures de vibrations sont réalisées au droit des paliers de la machine
- Le capteur doit être placé de façon à assurer un trajet direct (rotor-structure) aux vibrations

.Les mesures peuvent se faire :

- ✓ dans un plan radial (vertical : PRV, horizontal : PRH, oblique : PRO) ;
- ✓ et/ou dans un plan axial (axial : PA).



Figure(II.28):points de mesure de vibrations[BES17].

On fait les mesures de vibrations pour [BES17]:

- ❖ vérifier les fréquences et les amplitudes indésirables
- ❖ éviter les fréquences de résonance des composants de la structure
- ❖ être capable d'amortir ou isoler la ou les sources de vibrations
- ❖ étudier le comportement du système électrique (MAS)
- ❖ faciliter la maintenance préventive des machines
- ❖ construire ou vérifier les modèles informatiques qui entrent en jeu[BES 17].

II.19.Conclusion:

Dans ce chapitre, on a présenté le principe de la technique d'analyse vibratoire. Dans le chapitre qui se suit, on va utiliser cette technique pour détecter le défaut du roulement dans les machines à induction.

Chapitre III

analyse du défaut de roulement

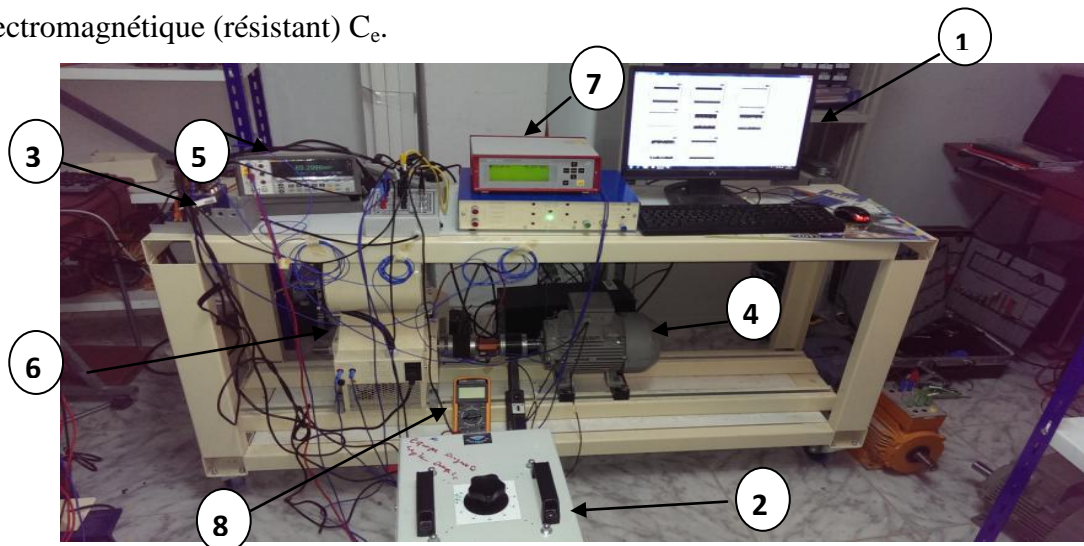
expérimentalement

III.1. Introduction :

Dans ce dernier chapitre, nous allons étudier expérimentalement les défauts du roulement et précisément le défaut dans la bague extérieure et le défaut dans la bague intérieure.

III.2. Banc d'essai des roulements:

Notre analyse du défaut du roulement se base sur une base de données qui a été réalisée dans le laboratoire du génie électrique de Biskra (LGEB). Ces données nous permettent d'analyser le défaut du roulement. Dans cette étude, nous avons sélectionné deux types de défaut de roulement qui sont: défaut dans la bague externe (BE) et défaut dans la bague interne (BI). Comme le représente la figure (III.1), le banc d'essai se compose principalement d'un moteur (à gauche), d'un accouplement (au centre), d'une charge qui assure un couple électromagnétique (résistant) C_e .



Figure(III.1):Photo du banc d'essai dédié à l'analyse vibratoire.

- | | |
|-----------------------------------|--|
| 1) PC d'affichage et calcul | 5) Voltmètre. |
| 2) Source d'alimentation variable | 6) Frein à poudre. |
| 3) Carte d'acquisition | 7) Afficheur du couple électromagnétique |
| 4) Moteur à induction | 8) Ampèremètre |

III.3. Analyse du défaut dans la bague extérieure et la bague intérieure du roulement :

De nombreux types de défauts mécaniques engendrent des oscillations du couple de charge appliqué à la machine asynchrone. Nous allons donc étudier les effets de défaut du roulement sur le contenu spectral du courant statorique. La figure (III.2) montre des roulements défectueux au niveau de la bague externe (BE) et la bague intérieure (BI). Ce

roulement sera remonté dans la MAS coté charge. Il est aussi appartient à la série de 6206, qu'elle impose les fréquences caractéristiques indiquées ci-dessous [BES 17].



Figure (III.2):Photos d'un roulement défectueux dans la BE et BI.

III.4. Confirmation des équations des fréquences:

C'est parmi toutes les fréquences la BE, la BI et la cage, Schoen(1995) a montré que les fréquences caractéristiques de vibration peuvent être approchées pour la plupart des roulements en prenant par les formules suivantes:

Bague extérieure:

$$f_{be} = 0,4(N_b) \cdot f_r \quad (\text{III.1})$$

Bague intérieure :

$$f_{bi} = 0,6 \cdot N_b \cdot k \cdot f_r \quad (\text{III.2})$$

Cage :

$$f_c = 0,4 \cdot k \cdot f_r \quad (\text{III.3})$$

Avant tout, on calcule la valeur de f_r qui est pour les deux fonctionnements comme suit sachant que

$$f_r = \frac{(1-g)}{p} \cdot f_s = \left\{ 24.9 \text{ à vide et } 24.2 \text{ en charge} \right\}$$

P: le nombre de pole.

f_r : la fréquence de rotation de la cage.

N_b : le nombre de billes.

f_s : la fréquence de stator.

$k:1,2,3,4\dots$ constant.

III.5.Fonctionnement à vide dans la machine asynchrone ($C_e=0$ Nm):

Ces formules nous amènent à éviter toute confusion dans le spectre à analyser, et pour un exemple illustratif, nous prendrons ce cas qui traite les défauts de la BE et la BI. Si le glissement est égal ($g=0.004\approx 0$) et ($f_r=24.9$ Hz) pour un fonctionnement du moteur à vide 0%. Les fréquences caractéristiques du défaut de la bague externe sont successivement apparues clairement avec un module d'amplitude remarquable.

III.6.Fonctionnement en charge dans la machine asynchrone ($C_e=15$ Nm):

Par la même stratégie, on charge le moteur qui assure un glissement $s=0.032$ ($f_r=24.2$ Hz).Ce fonctionnement crée une variation de la vitesse, ce qui conduit donc, à un changement du signal de vibration. Le spectre des figures (III-4) et (III-7) représentent les nouvelles signatures pour un fonctionnement à 75% de la charge.

III.7.Mesure de vibration pour un défaut dans la bague externe:

Le signal vibratoire d'un choc dû à un défaut dans la BE est présenté dans les figures (III-4) et(III-5).Ce signale temporel pour un fonctionnement à vide ($g=0.004$) sera analysé par la transformée de Fourier rapide. Il nous permet de découvrir les nouveaux harmoniques dues au défaut de la BE. Les figures (III-3)et(III-4) représentent le spectre des deux états de la machine, sain en bleu et défectueux en rouge. Les différentes plages de fréquences, nous aident à exploiter correctement le signal pour aboutir à une décision finale sur la situation de la MAS.Les fréquences qui caractérisent du défaut et avec une vérification par la formule des fréquences caractéristiques, on trouve ($g=0.004$ et $g=0.032$) :

❖ **Etat à vide ($g=0.004, f_r=24.9$ Hz)**

$$1 \times f_{be} = 0,4 \cdot k \cdot N_b \cdot f_r = 0,4 \times 1 \times 9 \times 24,9 = 89,64 \text{ Hz}$$

$$2 \times f_{be} = 0,4 \cdot k \cdot N_b \cdot f_r = 0,4 \times 2 \times 9 \times 24,9 = 179.28 \text{ Hz}$$

$$3 \times f_{be} = 0,4 \cdot k \cdot N_b \cdot f_r = 0,4 \times 3 \times 9 \times 24,9 = 268.92 \text{ Hz}$$

$$4 \times f_{be} = 0,4 \cdot k \cdot N_b \cdot f_r = 0,4 \times 4 \times 9 \times 24,9 = 358.56 \text{ Hz}$$

$$5 \times f_{be} = 0,4 \cdot k \cdot N_b \cdot f_r = 0,4 \times 5 \times 9 \times 24,9 = 448.2 \text{ Hz}$$

❖ Etat en charge ($g=0.032, f_r=24.2\text{Hz}$)

$$1 \times f_{be} = 0,4 \cdot k \cdot N_b \cdot f_r = 0,4 \times 1 \times 9 \times 24.2 = 87.12\text{Hz}$$

$$2 \times f_{be} = 0,4 \cdot k \cdot N_b \cdot f_r = 0,4 \times 2 \times 9 \times 24.2 = 174.24\text{Hz}$$

$$3 \times f_{be} = 0,4 \cdot k \cdot N_b \cdot f_r = 0,4 \times 3 \times 9 \times 24.2 = 261.36\text{Hz}$$

$$4 \times f_{be} = 0,4 \cdot k \cdot N_b \cdot f_r = 0,4 \times 4 \times 9 \times 24.2 = 348.48\text{Hz}$$

$$5 \times f_{be} = 0,4 \cdot k \cdot N_b \cdot f_r = 0,4 \times 5 \times 9 \times 24.2 = 435.6\text{Hz}$$

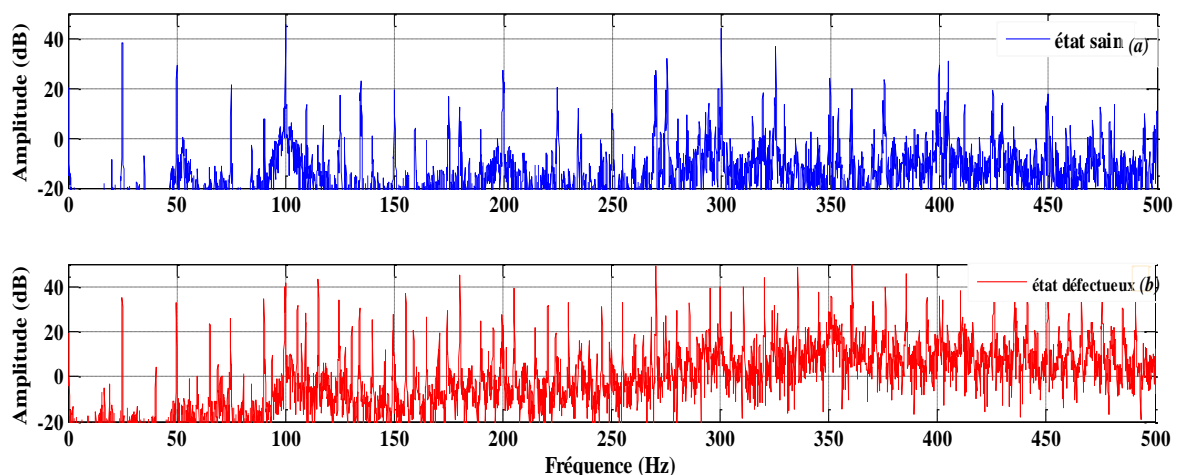
III.8. les bandes fréquentielles dans la bague externe:

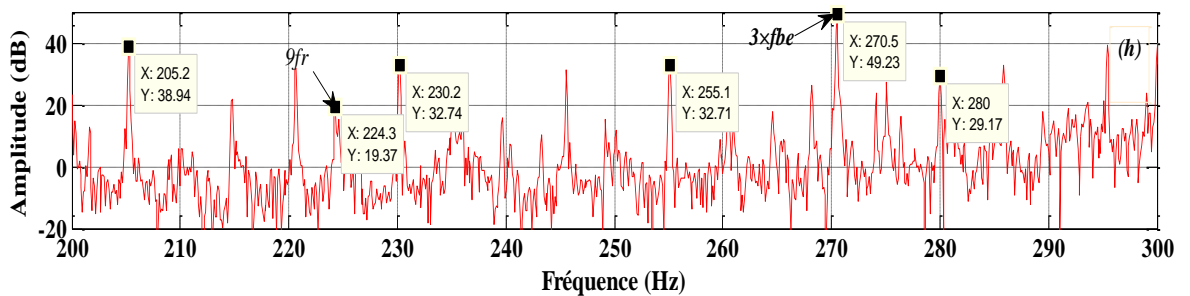
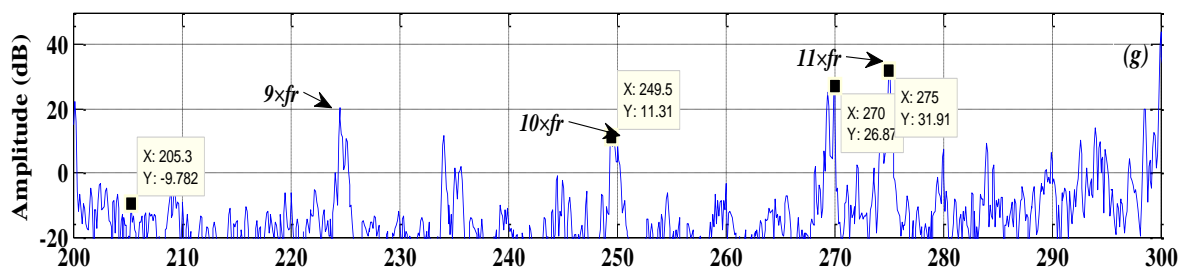
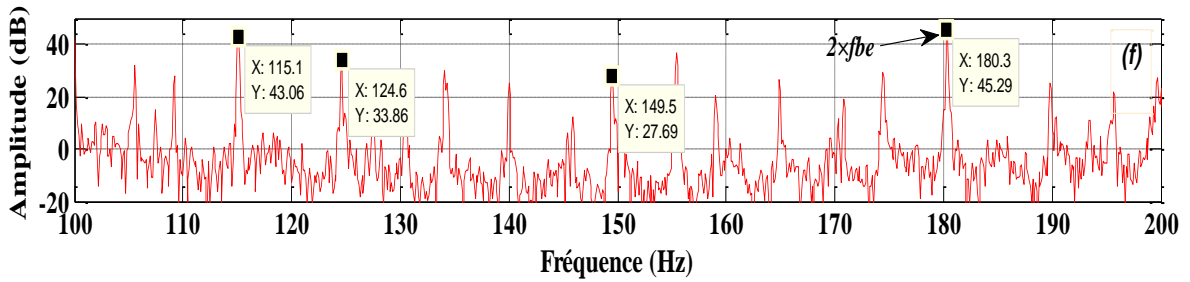
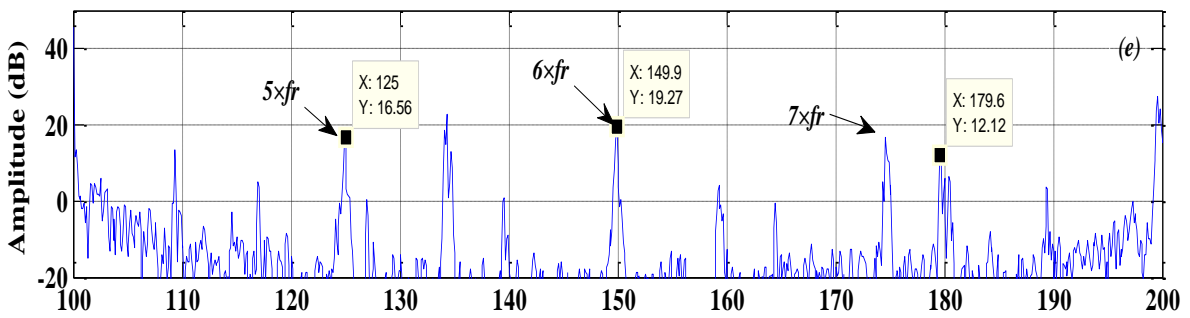
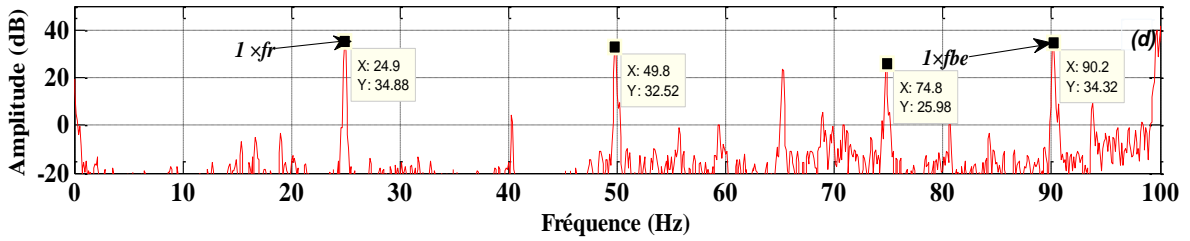
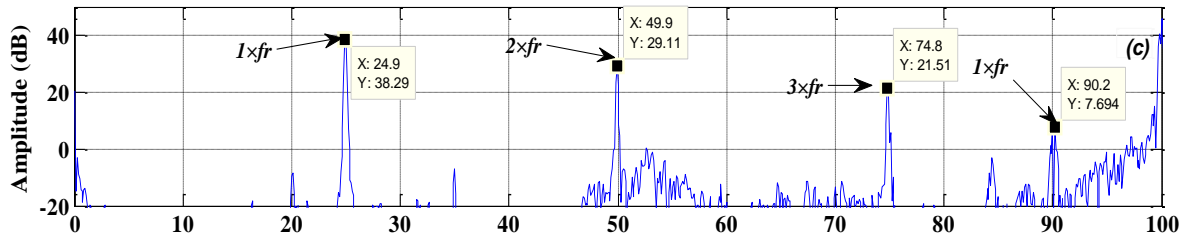
Expérimentalement, les valeurs additionnelles des harmoniques sont très claires dans lespectre du signal pour la bande des fréquences inférieures et supérieures.

Tableau (III.1):résume les bandes fréquentielles(BE: $g=0.004;g=0.032$) état vide et en charge.

Niveau	Bande fréquentielle (Hz) BE($g=0.004$ vide)	Bande fréquentielle (Hz) BE ($g=0.032$ charge)
1	0-500	0-500
2	0-100	0-100
3	100-200	100-200
4	200-300	200-300
5	300-400	300-400
6	400-500	400-500

❖ Etat à vide ($g= 0.004, f_r = 24.9\text{Hz}$)





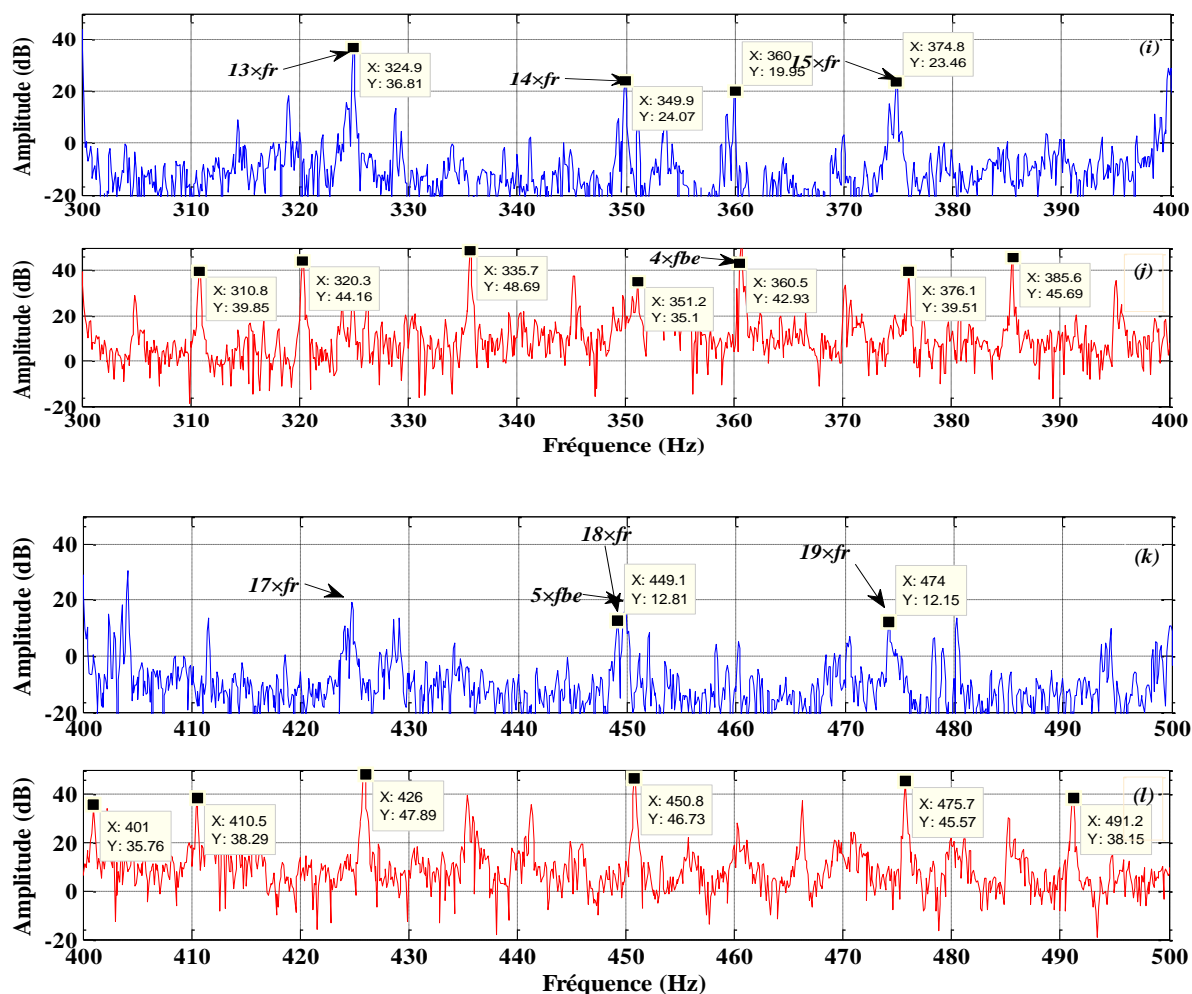
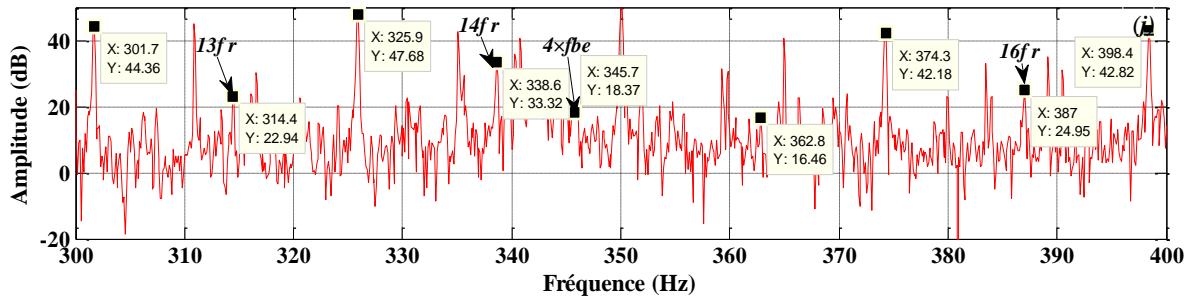
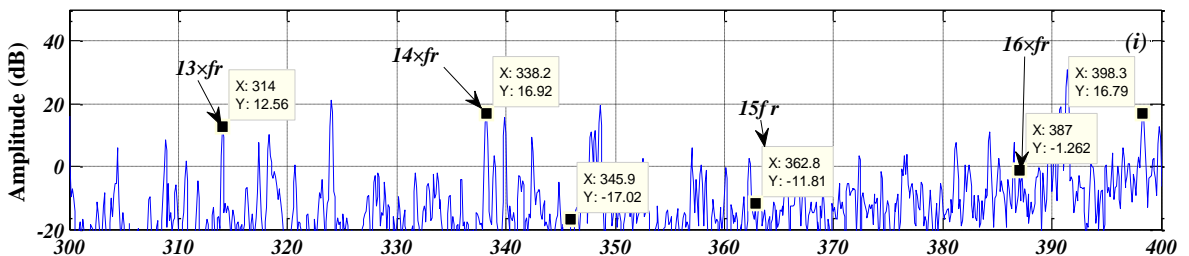
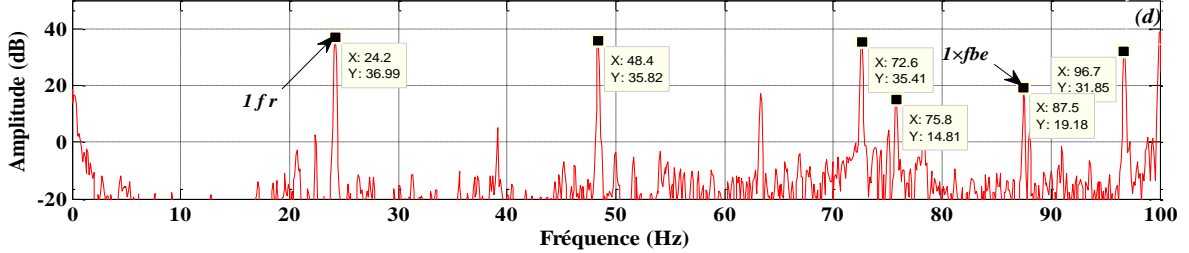
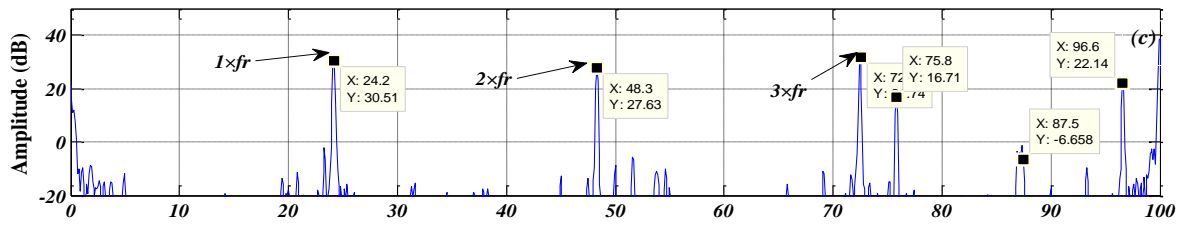
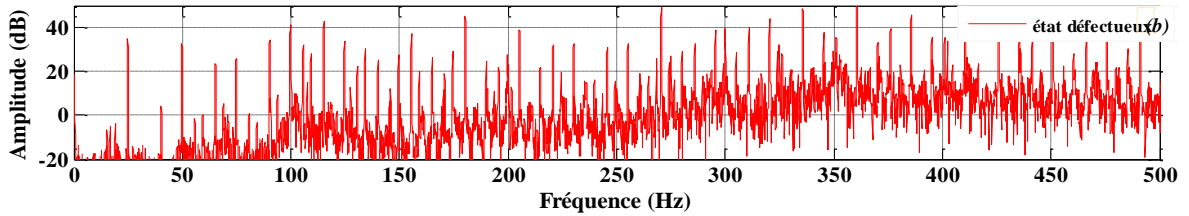
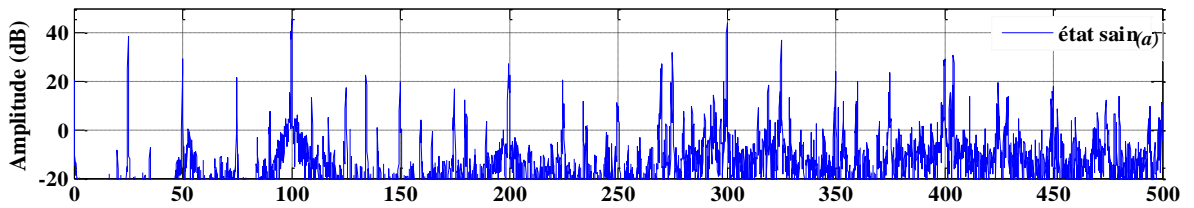


Figure (III.3): Différentes plages des fréquences du spectre d'un signal vibratoire (BE, $g=0.004$).

Tableau (III.2): Récapitulation de quelques harmoniques théoriques et pratiques dans le spectre d'un signal vibratoire (BE, $g=0.004$).

Formules des fréquences (BE)	Valeurs théoriques ($g=0.004$)	Valeurs expérimentales ($g=0.004$)	Amplitude «état sain» (dB)	Amplitude «état défectueux» (dB)
$1 \times f_{be}$	89.64	90.2	7.694	34.32
$2 \times f_{be}$	179.28	180.3	12.12	45.29
$3 \times f_{be}$	268.92	270.5	26.87	49.23
$4 \times f_{be}$	358.56	360.8	19.95	44.39
$5 \times f_{be}$	448.2	450.8	17.83	46.73

❖ Etat en charge ($g=0.032, f_r=24.2\text{Hz}$)



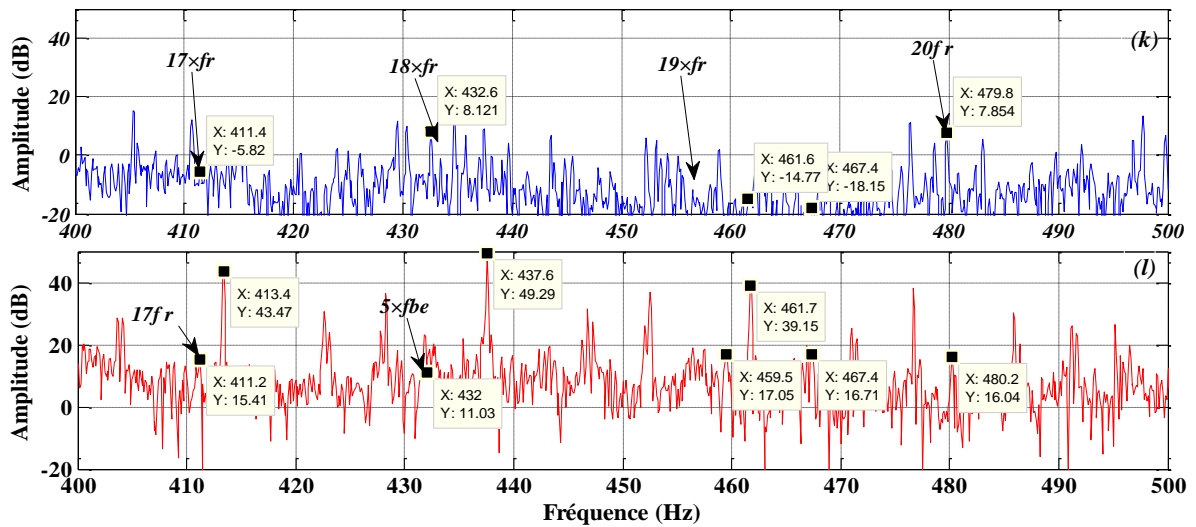
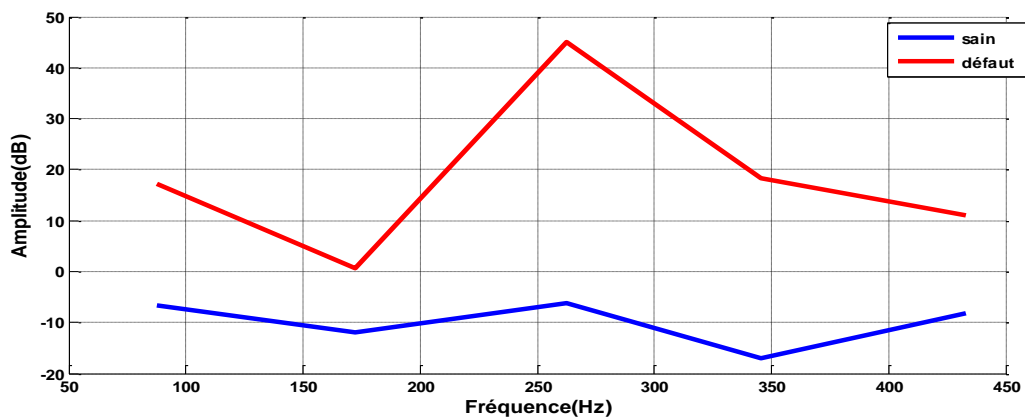


Figure (III.4): Différentes plages des fréquences du spectre d'un signal vibratoire (BE, $g=0.032$).

D'après cette étude, et dans le cadre de diagnostic du défaut de la BE en se basant sur la MAS on peut dire que les valeurs importantes des fréquences caractéristiques de ce défauts ont visibles. Donc, l'analyse en fréquence des signaux vibratoires permet d'identifier la provenance du défaut de roulement dans la bague externe.



Figure(III.5): Evolution d'amplitude en fonction des Fréquence de charge nominale (BE, $g=0.032$)

On note à travers cette courbe que l'amplitude des harmoniques dans le cas du défaut dans la bague externe (BE) est très par rapport à l'état sain de la machine.

Tableau (III.3): Récapitulation de quelques harmoniques théoriques et pratiques dans le spectre d'un signal vibratoire (BE, $g=0.032$).

Formules des fréquences (BE)	Valeurs théoriques ($g=0.032$)	Valeurs expérimentales ($g=0.032$)	Amplitude «état sain» (dB)	Amplitude «état défectueux» (dB)
$1 \times f_{be}$	87.12	87.5	-6.658	17.18
$2 \times f_{be}$	174.24	172.4	-12.01	0.559
$3 \times f_{be}$	261.36	262.6	-6.192	45.05
$4 \times f_{be}$	348.48	345.7	-17.02	18.37
$5 \times f_{be}$	435.6	433	8.121	11.03

III.8. Mesure de vibration pour un défaut dans la bague interne:

Pour déterminer la nature du défaut de la bague interne, nous suivons les mêmes étapes de l'analyse spectrale d'un signal de vibration présenté. Les figures (III-6) et (III-7) illustrent les deux régimes de fonctionnement (à vide et en charge). La vérification des fréquences caractéristiques du défaut dans la bague interne du roulement est présentée dans la figure (III-6) et (III.7). Les fréquences qui caractérisent ce défaut sont correspondance avec la formule des fréquences caractéristiques. Les valeurs théoriques pour un fonctionnement à vide ($g=0.004$, $f_r=24.9\text{Hz}$) et en charge ($g=0.032$, $f_r=24.2\text{Hz}$) sont :

❖ **Etat à vide ($g=0.004$, $f_r=24.9\text{Hz}$)**

$$1 \times f_{bi} = 0,6 \cdot k \cdot N_b \cdot f_r = 0,6 \times 1 \times 9 \times 24,9 = 134.46\text{Hz}$$

$$2 \times f_{bi} = 0,6 \cdot k \cdot N_b \cdot f_r = 0,6 \times 2 \times 9 \times 24,9 = 268.92\text{Hz}$$

$$3 \times f_{bi} = 0,6 \cdot k \cdot N_b \cdot f_r = 0,6 \times 3 \times 9 \times 24,9 = 403.38\text{Hz}$$

$$4 \times f_{bi} = 0,6 \cdot k \cdot N_b \cdot f_r = 0,6 \times 4 \times 9 \times 24,9 = 537.84\text{Hz}$$

$$5 \times f_{bi} = 0,6 \cdot k \cdot N_b \cdot f_r = 0,6 \times 5 \times 9 \times 24,9 = 672.3\text{Hz}$$

❖ **Etat en charge ($g=0.032$, $f_r=24.2\text{Hz}$)**

$$1 \times f_{bi} = 0,6 \cdot k \cdot N_b \cdot f_r = 0,6 \times 1 \times 9 \times 24,2 = 130.68\text{Hz}$$

$$2 \times f_{bi} = 0,6 \cdot k \cdot N_b \cdot f_r = 0,6 \times 2 \times 9 \times 24,2 = 261.36\text{Hz}$$

$$3 \times f_{bi} = 0,6 \cdot k \cdot N_b \cdot f_r = 0,6 \times 3 \times 9 \times 24,2 = 392.04\text{Hz}$$

$$4 \times f_{bi} = 0,6 \cdot k \cdot N_b \cdot f_r = 0,6 \times 4 \times 9 \times 24,2 = 522.72\text{Hz}$$

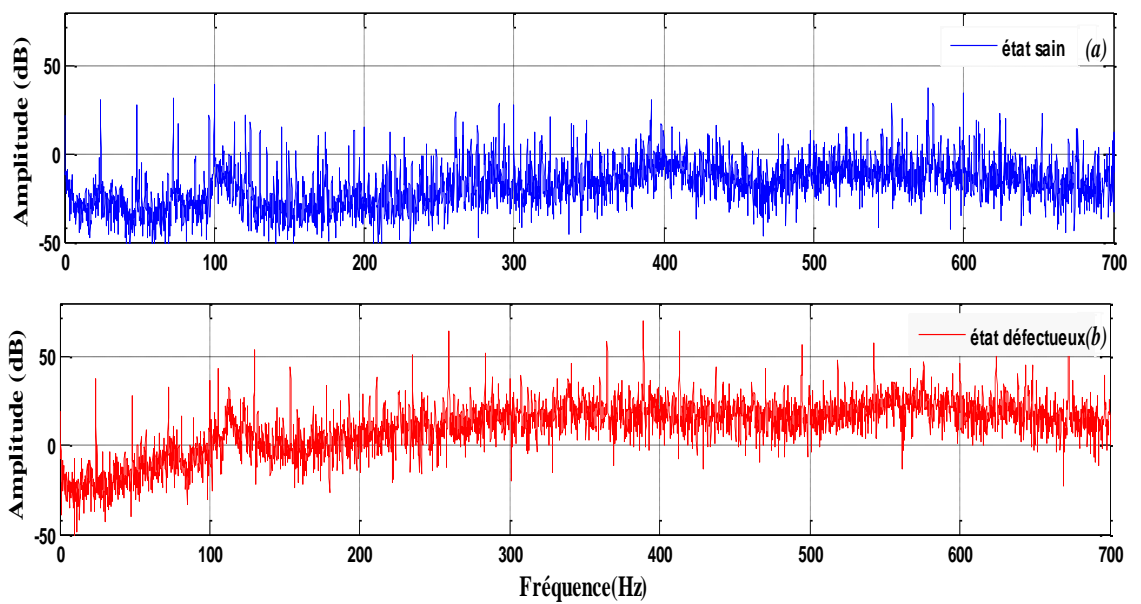
$$5 \times f_{bi} = 0,6 \cdot k \cdot N_b \cdot f_r = 0,6 \times 5 \times 9 \times 24,2 = 653.4\text{Hz}$$

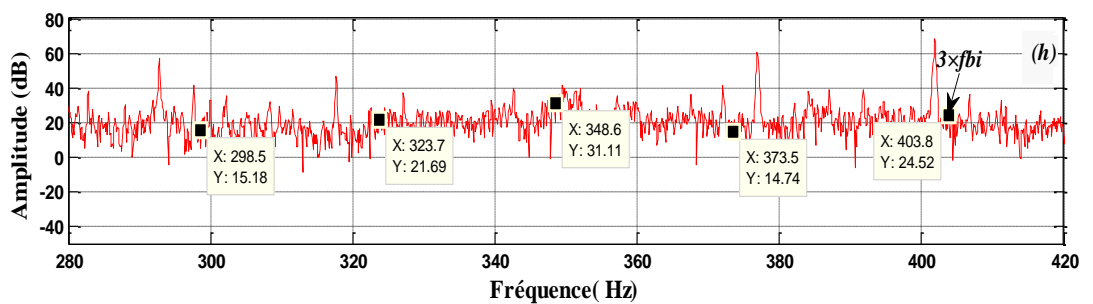
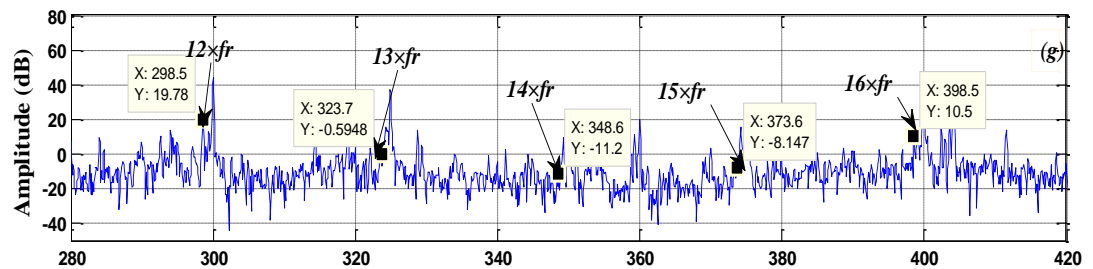
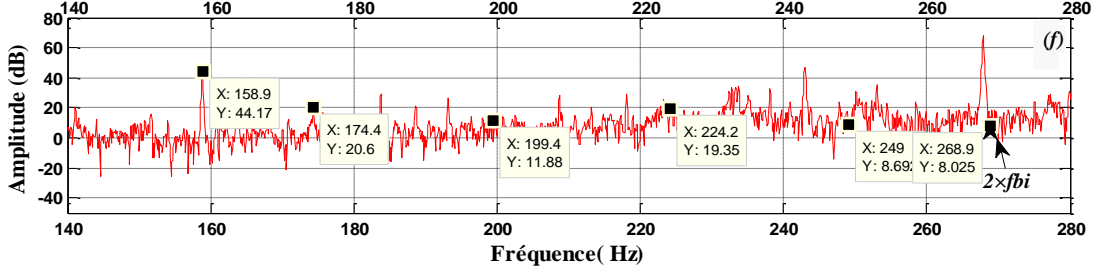
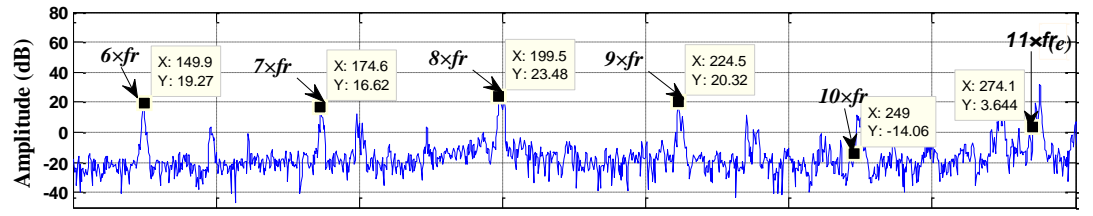
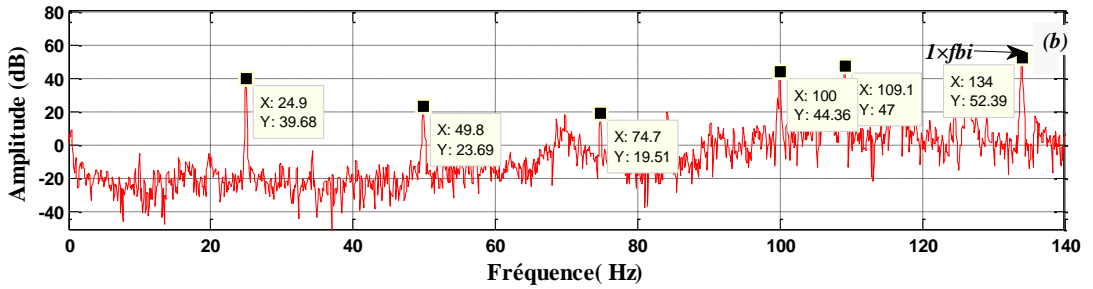
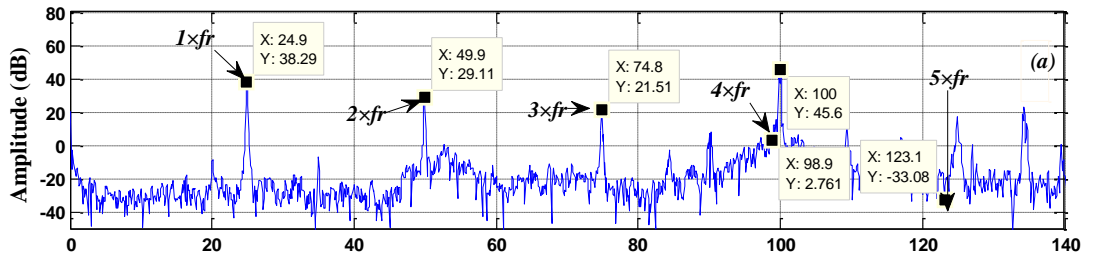
III.8. les bandes fréquentielles dans la bague interne:

Tableau (III.4):Résume les bandes fréquentielles(BI $g=0.004$ et $g=0.032$) état vide.et en charge.

Niveau	Bande fréquentielle (Hz) BI ($g=0.004$ vide)	Bande fréquentielle (Hz) BI($g=0.032$ charge)
1	0-700	0-700
2	0-140	0-140
3	140-280	140-280
4	280-420	280-420
5	420-560	420-560
6	560-700	560-700

❖ état à vide ($g=0.004$, $f_r = 24.9\text{Hz}$):





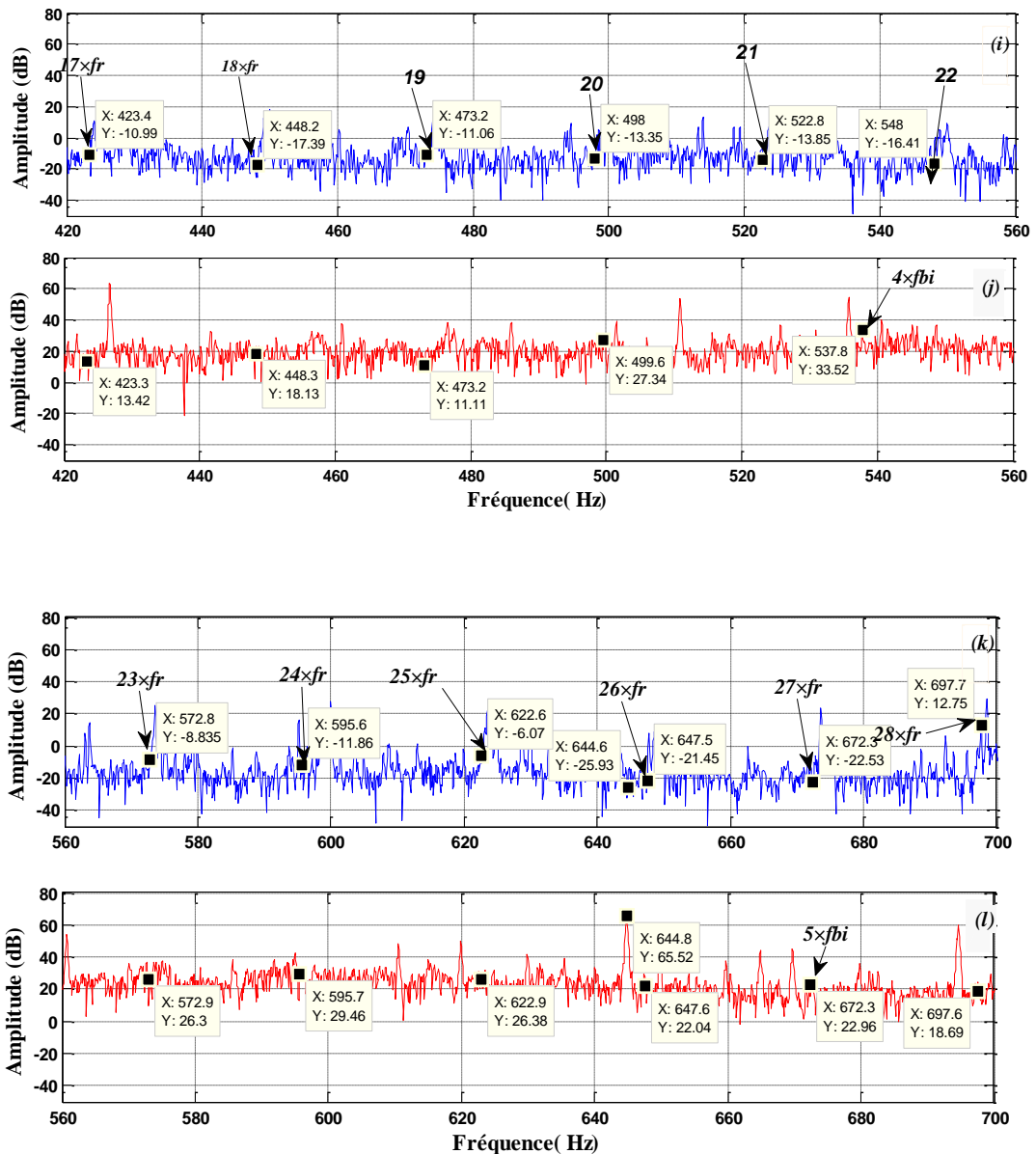


Figure (III.6). Spectre d'un signal vibratoire aux alentours de différentes plages fréquentielles (BI, $g=0.004$)

On fait un zoom aux alentours de différentes plages fréquentielles afin de bien visualiser les harmoniques supplémentaires dus au défaut de la bague interne.

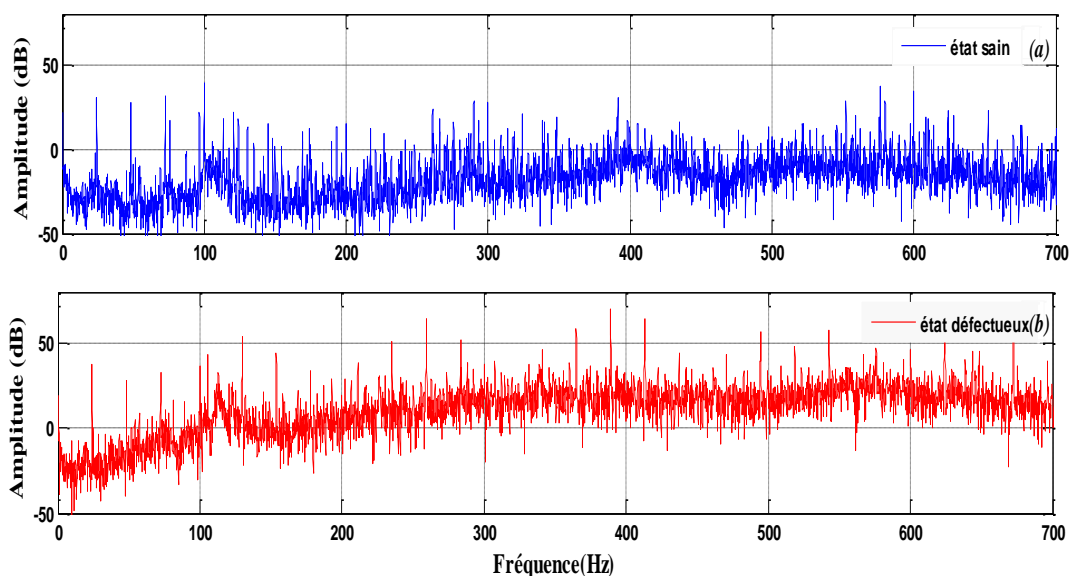
Une présentation d'amplitudes de quelques harmoniques caractéristiques avec leurs valeurs est organisée dans le tableau suivant :

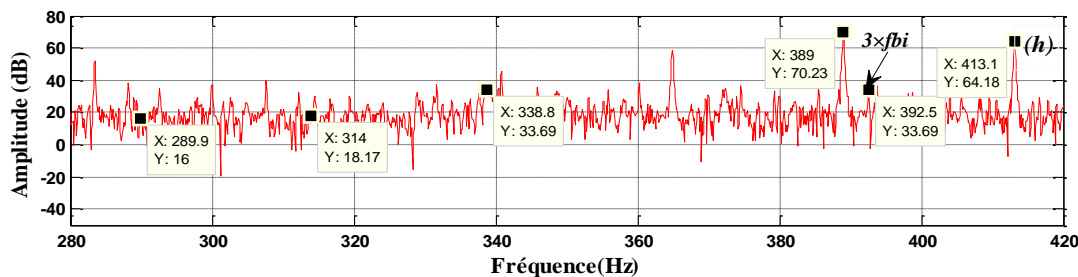
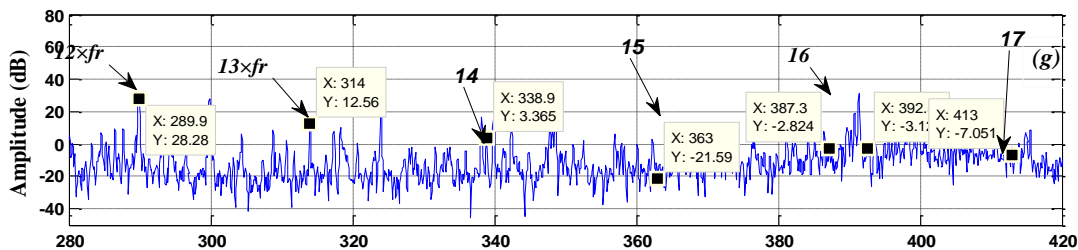
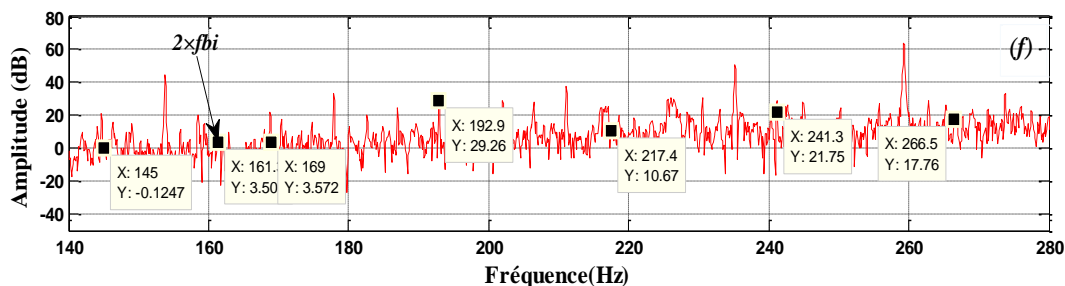
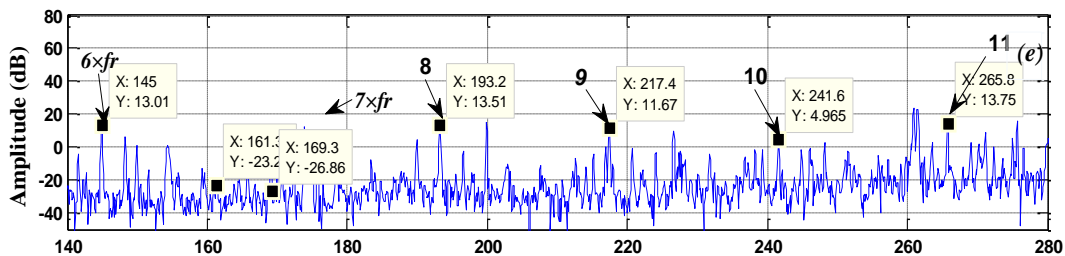
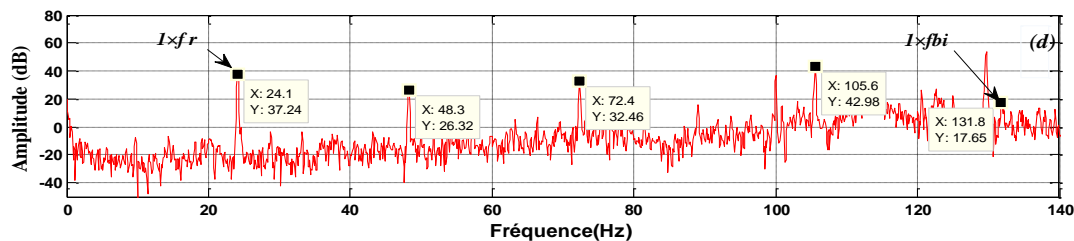
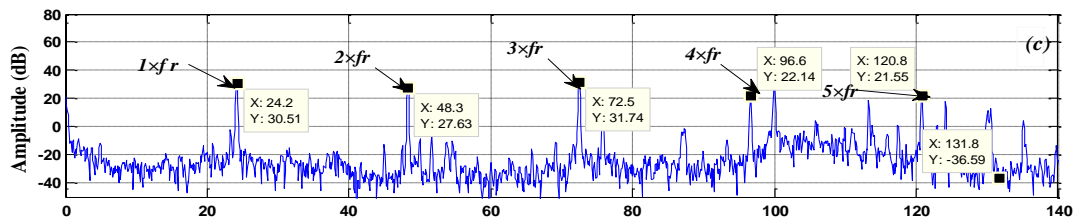
Tableau (III.5):Récapitulation de quelques harmoniques théoriques et pratiques dans le spectre d'un signal vibratoire (BI, g=0.004).

Formules des fréquences (BI)	Valeurs théoriques (g=0.004)	Valeurs expérimentales (g=0.004)	Amplitude «état sain » (dB)	Amplitude «état défectueux» (dB)
$1 \times f_{bi}$	134.46	134	6.878	52.39
$2 \times f_{bi}$	268.92	268.9	-11.3	8.025
$3 \times f_{bi}$	403.38	403.8	-2.93	24.25
$4 \times f_{bi}$	537.84	537.8	-14.2	33.52
$5 \times f_{bi}$	672.3	672.3	-14.19	22.96

Nous présentons maintenant le spectre du signal de vibration sous un fonctionnement de la machine en charge (g=0.032). Le signal vibratoire est l'identité de la machine, lié à chaque instant aux conditions de fonctionnement. Pour faire un bon diagnostic, on peut passer à l'analyse spectrale pour confirmer les signatures du défaut. La figure (III.7) permet de présenter le FFT du signal de vibration pour différentes plages Fréquentielles.

❖ **Etat en charge(g=0.032, fr = 24.2Hz)**





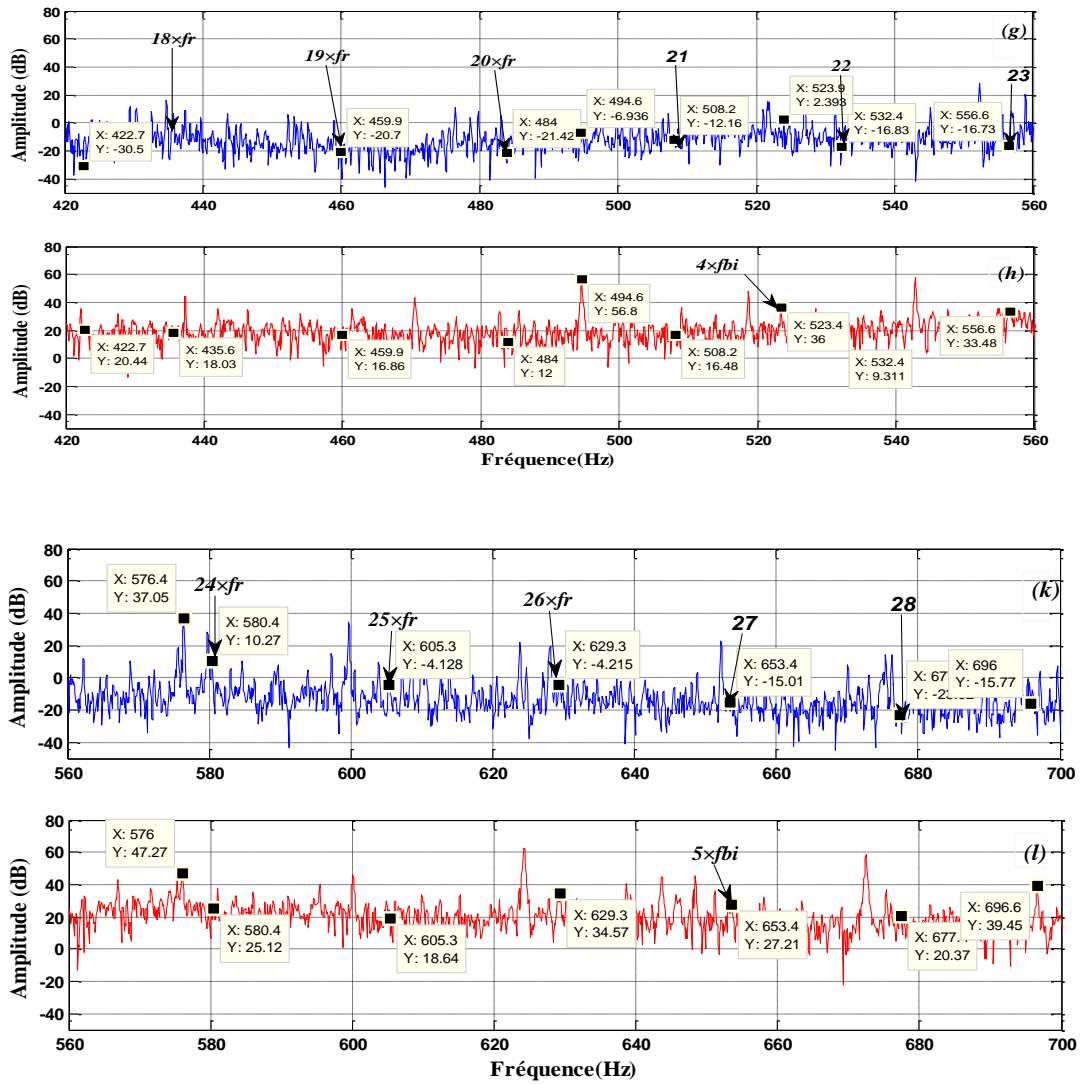


Figure (III.7): Différentes plages des fréquences du spectre d'un signal vibratoire (BI ,g =0.032).

Le défaut de roulement est dominant dans l'industrie d'un pourcentage important. Notre analyse confirme la détection d'une partie intéressante au diagnostic des machines tournantes. Les résultats obtenus assurent la précision des valeurs de fréquences caractéristiques dans le spectre du signal vibratoire pour le défaut de la bague interne Dans le tableau (III.6), on présente quelques calculs théoriques et pratiques pour certaines valeurs des harmoniques du défaut de la bague interne.

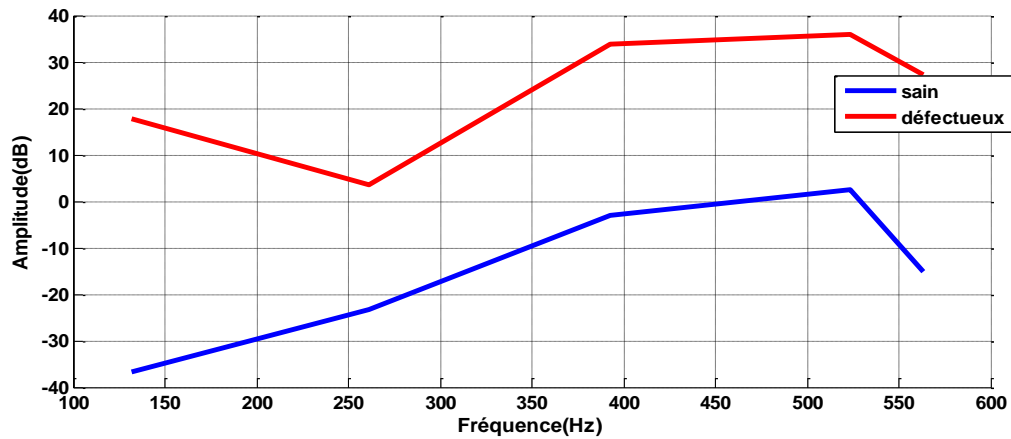


Figure (II.8): Evolution d’amplitude en fonction des Fréquence de charge nominale (BI, $g=0.032$)

On remarque la même chose que la BE, l’amplitude des harmoniques ont été augmenté à cause du défaut de la BI tout en comparant avec l’état sain.

Tableau (III.6): Récapitulation de quelques harmoniques théoriques et pratiques dans le spectre d’un signal vibratoire (BI, $g=0.032$).

Formules des fréquences (BI)	Valeurs théoriques ($g=0.032$)	Valeurs expérimentales ($g=0.032$)	Amplitude «état sain » (dB)	Amplitude «état défectueux» (dB)
$1 \times f_{bi}$	130.68	131.8	-36.59	17.65
$2 \times f_{bi}$	261.36	261.3	-23.2	3.506
$3 \times f_{bi}$	392.04	392.5	-3.125	33.69
$4 \times f_{bi}$	522.72	523.4	2.393	36
$5 \times f_{bi}$	653.4	563.4	-15.01	27.21

III.10. Conclusion:

Dans ce troisième chapitre, on a fait une étude expérimentale qui se base sur la technique de l’analyse vibratoire pour détecter le défaut dans la BE et dans la BI. Les résultats obtenus montrent que l’exactitude des calculs théoriques et pratiques de la fréquence caractéristiques du défauts de roulement.

Conclusion générale

A l'heure actuelle, de plus en plus d'industriels se tournent vers l'analyse vibratoire afin d'obtenir une disponibilité accrue de leurs machines : ils contrôlent l'état réel de leurs équipements (machines tournantes) afin d'éviter des arrêts non planifiés dus aux pannes.

L'analyse vibratoire est un outil puissant de détection de défauts des machines tournantes : elle permet notamment de détecter les défauts se manifestant dans les roulements.

D'après les résultats obtenus, nous avons trouvé une correspondance entre la théorie et la pratique tout au long de calcul. Les fréquences caractéristiques sont bien apparues dans le spectre de l'image de vibration pour un défaut dans la bague extérieure ou intérieure.

Pour cela, on atteint à une décision que la technique de l'analyse vibratoire est adéquate pour la détection du défaut de roulement.

ANNEXE

PATAMETRES DU MOTEUR DE L'EXPERIMENTATION

Puissance 3KW

Nombre de paires de pôles 2

Nombre d'encoches statoriques 36

Nombre de barres rotoriques 28

Moment d'inertie 6.2×10^{-3} Kg.m²

PATAMETRES DU ROULEMMENTE DE L'EXPERIMENTATION

la série 6206 des roulements

N_b: entre 6 et 12 bille

D_b=9,5 mm

D_m=46 mm

N_b =9 bille

APPAREILS DE MESURE EXPÉRIMENTAUX

Carte d'acquisition:

L'acquisition de données (DAQ) est le processus de mesure d'un phénomène électrique ou physique tel que la tension, le courant, la température, la pression ou le son avec un ordinateur.

Capteurs d'accélération :

Accéléromètre piézoélectrique

Bibliographie

- [**ADB 10**] ADBI ZOHRA. "Etude de effets vibratoire sur la durée de vie des roulements a rouleaux Mémoire Magister Université Badji Mokhtar –Annaba. 2010
- [**Aderiano 06**]Aderiano M. da Silva, B.S. Induction motor Fault diagnostic and monitoring methods "A Thesis submitted to the Faculty Of the Graduate School, Marquette University, In Partial Fulfillment of the Requirements for the Degree of Master of Electrical and Computer Engineering, Milwaukee, Wisconsin May 2006
- [**AES**]http://www.aesmotor.com/applications-et-savoir-faire/rotor_bobine/
- [**ALA 07**] Alain Boulenger, Christian Pachaud .Aide-mémoire "Surveillance des machines par analyse des vibrations" dunod livre page7-8.2007
- [**Ali 09**] Ali IBRAHIM "Contribution au diagnostic de machines électromécaniques :Exploitation des signaux électriques et de la vitesse instantanée" Thèse Doctorat Université de Saint Etienne.2009
- [**ARQ**] Arquès Philippe, " Diagnostic prédictif de l'état des machines ", Edition Masson, Paris 1996.
- [**AND 12**]ANDRIAN CEBAN "Methode Globale De Diagnostic Des Machines Electriques "Université Lille de Nord de France – École doctorale SPI Université d'Artois.2012
- [**All 10**] Allal Abderrahim"Grandeurs non invasives pour le diagnostic des machines asynchrones" Thèse Magister Université Ferhat Abbas – Setif.2010
- [**BAZ 16**] BAZI Smail "Contribution à la Détection et au Diagnostic des Défauts dans un Système Machine à Induction-Convertisseur " Thèse Doctorat Université de Batna 2016 .
- [**BELH 14**] BELHAMDI Saad" Diagnostic Des Défauts De La Machine Asynchrone Contrôlée Par Différentes Techniques De Commande" Thèse Doctorat Université Mohamed Khider – Biskra. 2014
- [**BELK 16**] Tahar BELKHIR Med Mohcen BEN SACI " La maintenance des équipements par l'analyse vibratoire" Université Kasdi Merbah Ourgla .2016
- [**BEN 03**] BENLALLI YACINE "Etude Du Processus De Dégradation Des Roulements Par Analyse Vibratoire". Université Badji Mokhtar –Annaba.2003/2004
- [**BES 17**] BESSOUS Noureddine "Contribution au Diagnostic des Défauts dans les Machines Asynchrones : Comparaison entre l'Analyse Vibratoire et l'Analyse du Courant d'Alimentation". Thèse Doctorat Université Mohamed Khider – Biskra.2017

- [**BESS 16**]bessam besma "analyse et detection de defauts dans la machine asynchrone a base des Techniques intelligent " Université Mohamed Khider – Biskra.2016
- [**BICH 12**] BICHARI Meriem "Système De Diagnostic Des Défaillances Des Machines Electriques" Thèse Magister Université De Batna .2012
- [**BOUB 10**] BOUBACAR HOUSSEINI" Prototypage Rapide A Base De Fpge D'un Algorithme Deconrole Avancé Pour Le Moteur A Induction" Mémoire Université Du Québec À Trois-Rivières.2010
- [**BOUD 16**] BOUDIAF Adel "Contribution au Diagnostic des Défaits dans les Machines Tournantes par Analyse Multirésolution" Thèse Doctorat Université 08 mai 1945 Guelma.
- [**BOUK 10**] Boukhobza Mohamed EL Habib "Application du traitement du signal pour le suivi des défauts de composants mécaniques soumis à des vibrations" Mémoire Magister Université d'Oran Mohamed Boudiaf.2010
- [**BOUS 07**] Radouane BOUSSEKSOU "Modélisation analytique des machines Asynchrone application au diagnostic" Mémoire magister Université Mentouri Constantine.2007
- [**BOUZ 08**]BOUZAOUIT Azzedine "Influence De LA Vibration Sur La Duree De Vie Des Roulements" Université Badji Mokhtar –Annaba .2008
- [**CHA 17**] CHAHMI Abdelghani" Identification paramétrique de la machine asynchrone dédiée au diagnostic"Thèse Doctorat université d'Oran -MB .2017
- [**CHAO 16**] Chaouche Riadh et Chetti Sif Eddine" Détection et diagnostic de défauts statorique externe d'un moteur asynchrone triphasé à l'aide de la carte arduino Mega 2560" Mémoire Master Université Kasdi Merbah Ourgla.2016
- [**CHE 14**] Hakima cherif "détection des défaut statorique et rotorique dans la machine asynchrone en utilisant l'analyse par FFT et ondellettes" magister Université Mohamed Khider – Biskra.2014
- [**CHO**]CHOUIKHI NADJETTE "Diagnostic des états de surface par analyse vibratoire dans les procédés d'usinage" Mémoire de Magister Université Badji Mokhtar –Annaba.
- [**DAH 16**] DAHMANE Housseem SOUISI Salah eddine " Mémoire Master Commande et diagnostic de la machine asynchrone à l'aide d'observateur" Université Kasdi Merbah Ourgla Soutenu publiquement .2016
- [**DJA 15**]Djaballah Saïd "Etude et optimisation de la transformée en ondelettes pour la détection des défauts dans les roulements"Mémoire de MagisterUniversité Mohamed Chérif Messaâdia de Souk-Ahras.2015
- [**DJE 13**] Omar DJEBILI " Contribution à la maintenance prédictive par analyse vibratoire des composants mécaniques tournants. Application aux butées à billes soumises à la fatigue

- de contact de roulement" Thèse de doctorat Université De Reims Champagne Ardenne.2013
[ELE] <http://4electromecanique.blogspot.com/2016/06/moteur-asynchrone.html>
- [GRA 13]GRAD Hicham "Apport de la MCSA par rapport à l'analyse vibratoire pour le suivi de l'état de la machine Asynchrone" Mémoire de Master Université Mohammed V - Soussi.2013
- [HAC 12] HACHEMI Mohammed "Application de l'ODS à l'analyse des problèmes de vibration des machines tournantes" Mémoire MASTER UNIVERSITE Abou Bekr Belkaid .2012
- [HACH 12] HACHEMI Mohammed " Application de l'ODS à l'analyse des problèmes de vibration des machines tournantes" Mémoire master Université Abou bekr Belkaid.2012
- [HAR 08]HARIR Miloud "Etude des Défauts dans La Machine Asynchrone à Cage d'Ecureuil par l'Emploi de la Fonction d'Enroulement Modifiée" Mémoire Magister Université 'Oran Mohamed Boudiaf.2008
- [HAR 17]HAROUNI HAKIM HAMMI TOUFIK "Détection des défauts de roulement en utilisant l'analyse de la dérivée d'enveloppe "Mémoire Master Université.2017
- [HUB 03] Hubert Razik et Gaëtan Didier, "Notes de cours sur le diagnostic de la machine asynchrone", Notes de cours, I.U.F.M. de Lorraine, Maxeville, 7 janvier 2003
- [IBR 09] Ali Ibrahim. —Contribution au diagnostic de machines électromécaniques : Exploitation des signaux électriques et de la vitesse instantanée. Thèse de Doctorat, laboratoire d'Analyse des Signaux et des Processus Industriels, université Jean Monnet. Lyon, Mars 2009.
- [KHA 12]Khaled YAHIA" Contribution au Diagnostic de la Machine Asynchrone Triphasée par une Approche Signal" Thèse Doctorat Université Mohamed Khider – Biskra .2012
- [MED 12] MEDOUED AMMAR" Surveillance Et Diagnostic Des Défauts Des Machines Electriques : Applications Aux Moteurs Asynchrones" Thèse Doctorat Université du 20 Août 1955-Skikda.2012
- [LAN] Landolsi Foued "surveillance des machines par analyse vibratoire" cours de techniques de surveillance.
- [MAI]<http://mailletsylvain.unblog.fr/2009/02/26/pompe-a-eau-debrayable/comment-page-2/>
- [MER 16] MERAH Karima "Diagnostic des défauts de roulement d'un moteur par analyse vibratoire (Etude comparative avec l'analyse du courant statorique)"Mémoire Magister Université 'Oran Mohamed Boudiaf.2016
- [MOH] www.scribd.com/doc/47464746/roulement-cours.

- [NAB 11] Nabti Mohamed Tahar "Etude de l'évolution des indicateurs spectraux et cepstraux dans la détection des défauts mécaniques" Mémoire Master Université Ferhat Abbas - Setif .2011
- [NAC 15] Leila NACIB "Diagnostic Des Défauts Dans Les Machines Tournantes Par L'analyse Vibratoire" Thèse de doctorat Université Badji Mokhtar –Annaba .2015
- [NAN 05] NANDI, S., TOLIYAT, H.A., LI, X., -Condition monitoring and fault diagnosis of electrical machines–A review. IEEE Trans. on Energy Conversion, vol. 20, pp.719-729. 2005.
- [Oli 06] Olivier ONDEL "Diagnostic Par Reconnaissance Des Formes : Application A Un Ensemble Convertisseur– Machine Asynchrone" Thèse Doctorat L'école Centrale De Lyon .2006
- [SAD 15] SADKI Nour elhouda " Simulation Des Défauts Statorique D'un Moteur a Asynchrone" Mémoire Master Académique Université Kasdi Merbah Ourgla.2015
- [SCH 95]: Schoen, R.R., Habetler, T.G., Kamran, F., Bartfield, R.G., —Motor bearing damage detection Using stator current monitoring IEEE Transactions on Industry Applications, vol. 31, pp. 1274-1279, IEEE 1995.
- [SER] Serge Dos Santos "COURS DE TRAITEMENT DU SIGNAL" Institut National des Sciences Appliquées Année 2013-2014.
- [TAL 16] TALHAOUI Hicham" Contrôle par mode glissant: Observation et estimation paramétrique d'une machine à induction avec défauts" Thèse Doctorat Université Mohamed Khider – Biskra..2016
- [TOU] TOUAFEK Ishak "Extraction d'indicateurs robustes pour le diagnostic des défauts mécaniques : Comparaison de L'EMD et des ondelettes (WT)" .Mémoire Magister Université Ferhat Abbas – Setif.
- [WIK02] site web:[support Scientifique] https://fr.wikipedia.org/wiki/Roulement_mécanique Accés:05/03/2018.
- [ZER 13] ZERROUK Ahmed "Diagnostic des défauts de cassure de barres rotoriques dans la machine asynchrone triphasée" Mémoire MASTER Université Mohamed Khider – Biskra 2013
- [ZIA 15] ZIANI RIDHA "Contribution à l'analyse et à la classification automatique des défauts mécaniques" Thèse Doctorat Université Ferhat Abbas – Setif.1 .2015

المخلص :

يتطرق هذا العمل المنجز في هذه المذكرة على الحديث حول الآلة الكهربائية اللازامية ذات قفص سنجاب وبالخصوص حول المدحرجات التي تعتبر من المكونات الأساسية في الآلات الدوارة والتي تستخدم في نطاق واسع في الصناعة والعديد من المجالات وبالتالي أصبح مطلب اقتصادي مهم. يتم استخدام تقنيات ذكية من أجل الكشف عن حدوث الخلل في وقت مبكر و من أجل الزيادة في عمر الآلة والحفاظ عليها. و من بين هاته التقنيات لدينا التحليل الاهتزازي إذ يعتمد في الأساس على التحويل الطيفي لتحويلات 'فوريي'. دراستنا هذه تضمنت استغلال لنتائج تجريبية لتشخيص الخلل في المدحرجات.

الكلمات المفتاحية :

الآلة الكهربائية اللازامية، تيار الجزء الساكن، التشخيص، الكشف، العيب، التحليل الاهتزازي، تحويل فوريي السريع، التحليل الطيفي ، المدحرجات.

L'objectif principal est d'étudier le diagnostic de la machine asynchrone à cage d'écureuil, et exactement la détection des défauts dans les roulements qui ont une large utilisation dans l'industrie et dans nombreux domaines. Des techniques intelligentes sont utilisées afin de détecter les défauts d'une manière précoce et afin d'augmenter la durée de vie de la machine. Parmi elles, on trouve technique de l'analyse vibratoire qui se base sur la transformée de Fourier rapide (TFR). Notre travail utilise cette technique par l'exploitation des résultats expérimentaux pour détecter les défauts dans le roulement.

Mots clés :

Machine asynchrone, courant statorique, diagnostic, détection, défaut, analyse vibratoire, transformée de Fourier rapide, analyse spectrale, roulements.

Abstract:

the main objective is to study the diagnosis of squirrel cage asynchronous machine electric machine, about bearings which are components of rotating machines, widely used in industry and in many fields, and which have therefore become an important economic requirement. Intelligent technologies are used to detect the fault early and to increase the life of the machine and maintain it. Among them, there is the vibration analysis which is based on the Fast Fourier transform (FFT). Our work uses this technique and exploits the experimental results to detect the bearing faults.

Keywords :

Induction machine, diagnosis, fast Fourier transform, vibration analysis, spectrum, Bearings.