

M/021-925

République Algérienne Démocratique et Populaire
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique
Université 8 Mai 1945 – Guelma
Faculté des Sciences et de la Technologie
Département de Génie Electrotechnique et Automatique



Domaine : Sciences et Technologie
Filière : Electrotechnique
Spécialité : Réseaux Electriques

**Mémoire de fin d'études
pour l'obtention du diplôme de Master Académique**

**Contribution à l'étude des défauts électriques et mécaniques du
moteur asynchrone à cage d'écureuil**

Présenté par :

➤ **BOUROUH SALIHA**

Sous la direction de : **Dr. Boulouh Messaoud**

Jun 2016

16/3350



REMERCIEMENTS

Mon premier remerciement va a allah soubhanou wa ta hala

Je tenais à remercier vivement mon encadreur le professeur « M. BOULOUEH Messaoud », Pour sa gentillesse, sa disponibilité et sa contribution générale à l'élaboration de ce travail.

Je remercie les plus vifs s'adressent aussi aux messieurs le président et les membres de jury accepté d'examiner et d'évaluer notre travail.

Sans omettre bien sur de remercier profondément à tous ceux qui ont contribué de près ou de loin à la réalisation du présent travail.

SOMMAIRE

SOMMAIRE

❖ Introduction générale.....	1
❖ CHAPITRE 1 : Description succincte du moteur asynchrone et les organes de liaison et de transfert de la puissance.	
I.1. Introduction.....	3
I.2. Constitution de la machine asynchrone.....	3
I.2.1. Le stator.....	3
I.2.2. Le rotor.....	3
I.3 Les différents types du moteur asynchrone	4
I.3.1. rotor bobiné et à bagues	4
I.3.2. rotor à cage	5
I.3.3. rotor à double cage	5
I.3.4. rotor à encoches profondes.....	6
I.4. Les organes de liaison et de transfert de puissance dans les entraînements électromécanique	5
I.4.1. Les accouplements.....	7

I.4.1.1.	rigide.....	7
I.4.1.2.	chaîne double.....	8
I.4.1.3.	dentures bombées.....	8
I.4.1.4.	accouplement élastique.....	9
I.4.2.	Transmission.....	9
I.4.2.1.	par manchon.....	10
I.4.2.2.	par courroie.....	10
I.4.2.3.	par chaîne.....	11
I.4.2.4.	par engrenages.....	12
a)	droits (à axes parallèles).....	12
b)	coniques (à axes concourants).....	12
c)	gauches.....	13
I.4.3.	Généralités sur les roulements à billes.....	14
I.5	Conclusion.....	17

❖ CHAPITRE II : Les défauts électriques

II.1	Introduction	18
II.2	Etude statique	18
II.3	Intérêt du diagnostic.....	23
II.3.1	Caractéristique d'un système diagnostique	23

II.3.2 Synthèse des Méthodes de Diagnostic	24
II.3.2.1 Méthode de Détection des défauts de Moteur	
Asynchrone.....	24
II.3.2.2 Panorama des Méthodes de diagnostic des machines	
asynchrones	24
II.4 Présentation des différents défauts	26
II.5 Défauts électriques	27
II.5.1 Défauts due au réseau d'alimentation.....	27
II.5.2 Défauts statoriques	28
II.5.2.1. Phase du spectre.....	29
II.5.2.1.1. Phase du spectre du courant statorique	29
II.5.2.2. Défaut d'isolement dans un enroulement	30
II.5.2.3. Court-circuit entre spires	30
II.5.2.4. Court-circuit entre phase	32
II.5.2.5. Court-circuit phase /bâti	32
II.5.2.6. Défaut de circuit magnétique	33
II.5.3 Défauts rotoriques.....	33
II.5.3.1. Ruptures des barres.....	34
II.5.3.2. Ruptures d'anneaux.....	35
II.6. Conclusion	37

❖ CHAPITRE III : Les défauts mécaniques

III.1 INTRODUCTION.....	38
-------------------------	----

III.2 Défauts mécaniques et le désalignement de liaison.....	38
III.2.1 Défaut de balourd.....	38
III.2.1.1 Mesure de balourd	39
III.2.1.2 Signature vibratoire de balourd	40
a) Balourd statique	41
b) Balourd dynamique	41
III.2.2 Défaut d'alignement	42
III.2.2.1 Désalignement d'arbres accouplés	42
a) Désalignement radial.....	43
b) Désalignement angulaire	44
III.2.2.2 Désalignement des paliers	45
III.2.3 Défauts de serrage.....	46
III.2.4 Défaut de transmission par courroies.....	46
III.2.4.1 Signature vibratoire.....	48
III.2.5 Les défauts des engrenages.....	49
III.2.5.1 Fréquence d'engrènement.....	50
III.2.5.2. Signatures vibratoires des défauts d'engrènement.....	51
a) Détérioration d'une dent.....	51
b) Détérioration de l'ensemble de dentures.....	51
III.2.6 Les défauts de roulements.....	52
III.1.6.1 Signatures vibratoires des principaux défauts.....	54
a) Défaut de type écaillage affectant la bague externe.....	54
b) Défaut de type écaillage affectant la bague interne.....	55
c) Défaut de type écaillage sur un élément roulant.....	55

d) Défauts de type déversement de bague.....	56
III.2.7 Les défauts d'excentricités.....	57
III.3 Conclusion	58
❖ Conclusion générale	60
❖ Bibliographie	62

Introduction générale

INTRODUCTION GENERALE

Depuis l'émergence industrielle, les machines électriques occupent une place prépondérante dans tous les secteurs industriels, au fil du temps le moteur asynchrone remplace de plus en plus le moteur à courant continu et il est largement utilisé dans les domaines de forte puissance grâce à sa robustesse, à son faible coût et sa simplicité de construction. Néanmoins, celui-ci subit, au cours de sa durée de vie, un certain nombre de sollicitations aux contraintes (surcharge, désalignement ... etc) qui peuvent causer des défauts électriques et mécaniques et le rendre défaillant et non fiable.

La détection précoce des défauts est devenue une nécessité majeure afin d'éviter la défaillance totale des machines électriques, parce que l'apparition d'un défaut conduit le plus souvent à un arrêt irrémédiable de la machine asynchrone entraînant, en conséquence, un coût de réparation non négligeable pour l'entreprise et aussi à une perte de la production.

De nombreux travaux ont été consacrés à ce nouveau type de détection prématurée de défauts utilisant différentes techniques de diagnostic. La plupart de ces techniques utilisent les grandeurs mécaniques (couple, vitesse, vibrations, bruit ... etc.), et d'autres utilisent les grandeurs électromagnétiques (flux, tension, courant ...etc).

Nous voulons par ce travail, contribuer à l'étude des effets des défauts électriques (court-circuit entre spire, ruptures des barres, ...etc) et mécaniques (balourd, désalignement, roulements, ... etc) sur les performances du moteur asynchrone à cage, et montrer la différence entre un moteur asynchrone sain et un moteur asynchrone défectueux.

Dans ce contexte, le mémoire est composé de trois chapitres :

Le premier chapitre, est réparti en deux parties : la première est consacrée à la présentation succincte de la machine asynchrone à cage d'écureuil et la deuxième aux différents organes de liaison et de transfert de puissance mécanique dans les entraînements électromécaniques.

Dans le second chapitre, on débute par une étude des statistiques des défauts menées dans ce domaine, puis on présente les différents défauts électriques avec leurs signatures dans les deux cas d'un moteur sain et d'un moteur défectueux.

Le troisième chapitre, est dédié aux différents défauts mécaniques et leurs signatures dans les deux cas d'un moteur sain et d'un moteur défectueux.

En fin on clôture notre mémoire par une conclusion générale.

CHAPITRE I

Description succincte du moteur asynchrone et

les organes de liaison et de transfert de la puissance

I.1. Introduction :

Une **transmission** est un dispositif mécanique permettant de transmettre un mouvement d'une pièce à une autre. Cet élément de la chaîne d'énergie a pour fonction l'adaptation du couple et de la vitesse entre le moteur asynchrone en tant que organe moteur et l'organe entraîné. La transmission du mouvement est l'une des fonctions les plus courantes des éléments de la mécanique générale, utilisée dans l'industrie, dans les engins, en automobile... etc, pour transmettre la puissance mécanique.

Dans ce chapitre nous allons donner une description succincte de la machine asynchrone et des différents organes de transmissions de la puissance mécanique.

I.2. Eléments de constitution des machines asynchrones :

La machine asynchrone comprend deux parties principales : un induit fixe nommé stator et un inducteur tournant nommé rotor.

I.2.1. Stator :

Le stator comporte une carcasse en acier renfermant un empilage de tôles minces identiques en forme de couronne qui constituent un cylindre vide ; ces tôles sont percées de trous à leur périphérie intérieure. L'alignement de ces trous forme des encoches dans lesquelles on loge un bobinage triphasé. Cette couronne est serrée dans une carcasse en fonte [1].



Figure 1.1. Photo du stator d'une machine asynchrone

I.2.2. Rotor :

Le rotor, monté sur l'arbre du moteur se compose d'un cylindre fait de tôles empilées. Des encoches sont percées à la périphérie extérieure destinées à recevoir des conducteurs. Il est séparé du stator par un entrefer très court de l'ordre de 0,4 à 2 mm seulement [1].

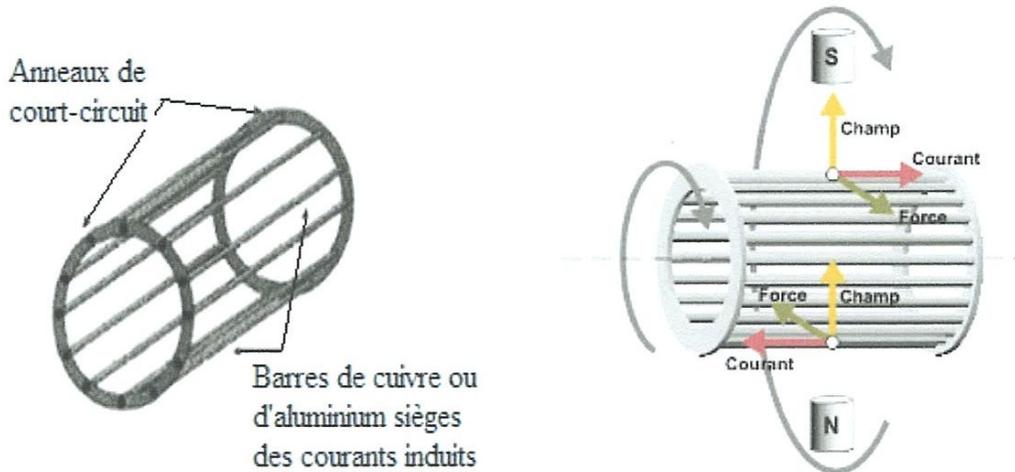


Figure 1.2. Construction du rotor

I.3. Les différents types du moteur asynchrone :

Les différents types de moteurs asynchrones ne se distinguent que par le rotor dans tous les cas le stator reste, au moins dans son principe, le même.

On distingue le rotor bobiné, le rotor à cage, le rotor à double cage et le rotor à encoches profondes.

I.3.1. Rotor bobiné et à bagues: Le rotor bobiné comprend un bobinage triphasé, semblable à celui du stator, placé dans les encoches. Il est composé de trois enroulements raccordés en étoile, l'extrémité libre de chaque enroulement est reliée à une bague tournant avec l'arbre. Ces bagues permettent, par l'intermédiaire de trois balais, d'insérer une résistance extérieure en série avec chacun des trois enroulements lors du démarrage du moteur. En fonctionnement normal, les trois balais sont court-circuités.

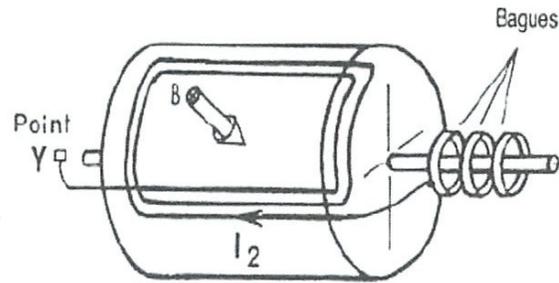


Figure 1.3. Représentation schématique du rotor bobiné

I.3.2. Rotor à cage : Le circuit du rotor est constitué de barres conductrices régulièrement réparties entre deux couronnes métalliques formant les extrémités, le tout rappelant la forme d'une cage d'écureuil. Bien entendu, cette cage est insérée à l'intérieur d'un circuit magnétique analogue à celui du moteur à rotor bobiné. Les barres sont faites en cuivre, en bronze ou en aluminium, suivant les caractéristiques mécaniques et électriques recherchées par le constructeur. Dans certaines constructions, notamment pour des moteurs à basse tension (par exemple 230/400 V) [2], la cage est réalisée par coulée et centrifugation d'aluminium. Son inconvénient majeur est qu'il a, au démarrage, de mauvaises performances (Courant élevé et faible couple). C'est pour remédier à cette situation qu'ont été développés deux autres types de cages (rotor à double cage et rotor à encoches profondes).

I.3.3. Rotor à double cage : Le rotor comporte deux cages coaxiales. L'une (fréquemment réalisée en laiton ou en bronze), externe, à résistance relativement élevée, est placée près de l'entrefer, L'autre (en cuivre), interne, de plus faible résistance, est noyée dans le fer.

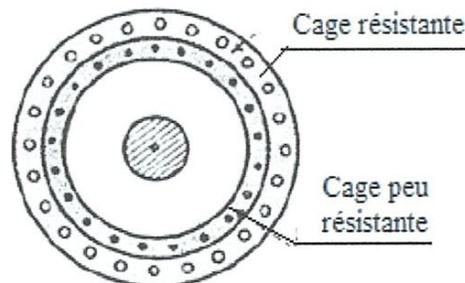


Figure 1.4. Représentation schématique du rotor à double cage

I.3.4. Rotor à encoches profondes : on substitue de plus en plus au moteur à double cage, le moteur à encoche profondes de même caractéristiques mais de fabrication plus simple, son principe est l'accroissement de la résistance de la résistance apparente d'un conducteur rectangulaire (étroit et profond) , lorsqu'il est parcouru par un courant alternatif et noyé dans du fer cet accroissement est très marqué au décollage , la forme trapézoïdale accroît l'effet d'augmentation, pour des facilités de fabrication, on juxtapose deux barres rectangulaires de hauteurs différents[2].

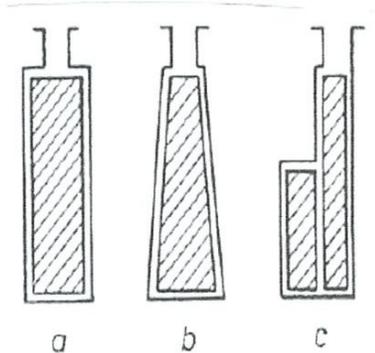


Figure 1.5. Représentation schématique du rotor à encoches profondes

I.4. Les organes de liaison et de transfert de puissance dans les entraînements électromécaniques :

Afin de parvenir à un bon travail de la machine, on doit avoir une idée sur les moyens et éléments de liaison. Parce que tout déséquilibre dans ce lien, même si elle était simple, va conduire à l'absence de transfert d'énergie entre toutes les machines.

La liaison entre les arbres du moteur M et de la machine de travail MT peut se faire :

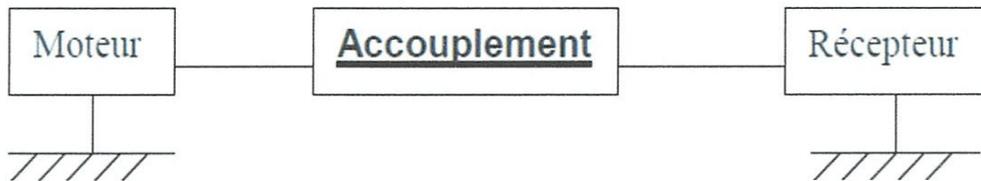
1. **directement**, par des accouplements.
2. ou **indirectement** par transmissions.

Dans cette section, nous allons aborder différentes liaisons de transfert de la puissance. Nous présentons ici les plus courants mais cette liste n'est pas exhaustive.

I.4.1. Les accouplements :

On appelle accouplement tout appareil destiné à assurer la liaison en rotation entre deux arbres placés bout à bout avec transmission intégrale de la puissance et sans modification de la vitesse angulaire(ω).

L'accouplement ne modifie pas, en général, les vitesses et les efforts
(Les moments de torsion)



Citons quelques types d'accouplement :

I.4.1.1. Rigide : Les accouplements rigides permettent de relier deux arbres de façon totalement rigide, comme s'ils avaient été soudés. De cette manière, la longueur de l'arbre est prolongée. Les erreurs d'alignement ne sont aucunement corrigées, elles seraient même plutôt amplifiées. Le couple transmissible est très important.

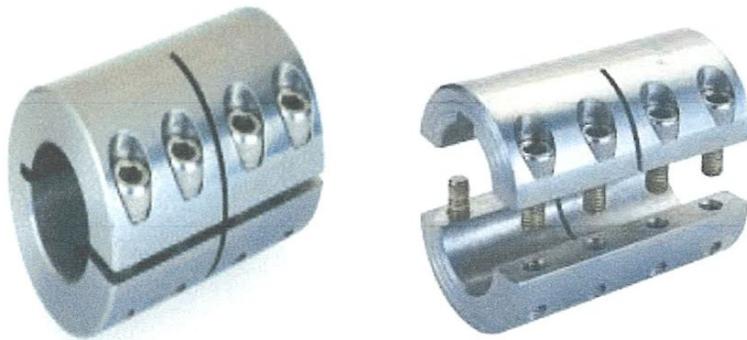


Figure 1.6. Accouplement rigide

I.4.1.2. Chaîne double : L'accouplement est composé de deux pignons reliés par une chaîne à double rangée fermée sur elle-même qui transmet le couple. Cette chaîne est fermée par un maillon raccord démontable.

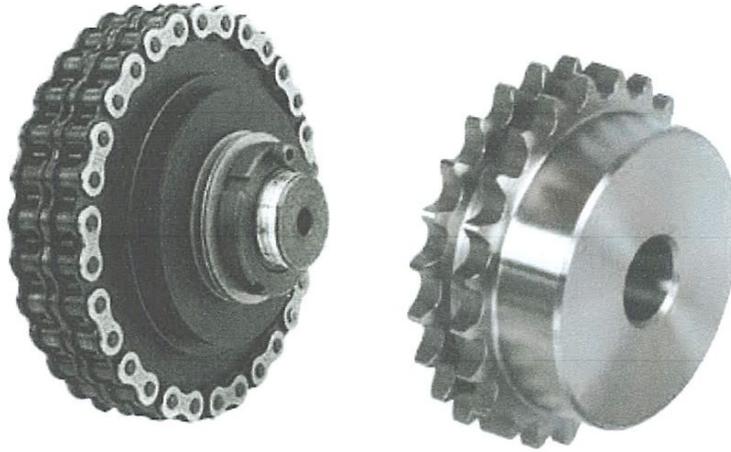


Figure 1.7. Accouplement à chaîne double

I.4.1.3. Dentures bombées : deux moyeux comportant chacun une couronne de dents, Un fourreau en polyamide . Dans l'alésage duquel est moulée une denture s'engrenant parfaitement avec celle du moyeu. Cet accouplement ne comporte donc aucune pièce élastique.

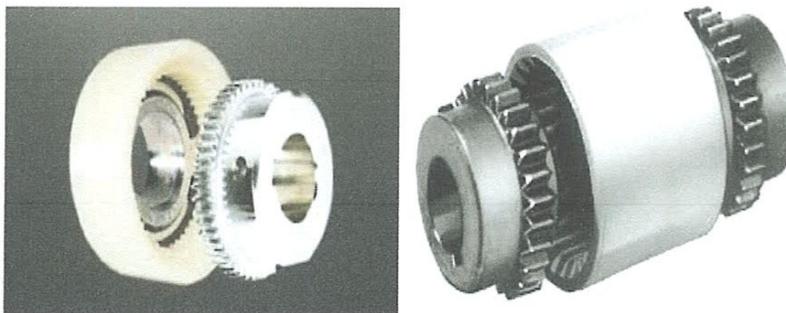


Figure 1.8. Accouplement à dentures bombées

I.4.1.4. Accouplement élastique :

Ce type d'accouplement consiste à remplacer la liaison rigide totale par une liaison élastique.

Les accouplements élastiques du type élastomère incorporent un composant en caoutchouc pré-comprimé, qui fournit plus de résistance et une plus longue durée de vie. Ces accouplements prennent en charge tous les types de désalignement. Les moyeux sont fabriqués en alliage d'aluminium haute résistance, pour un accouplement léger et résistant à la corrosion. Le composant en caoutchouc amortit les chocs et fournit une transmission de puissance silencieuses et sans à-coups, pour protéger l'entraînement et les machines d'entraînement. [3]

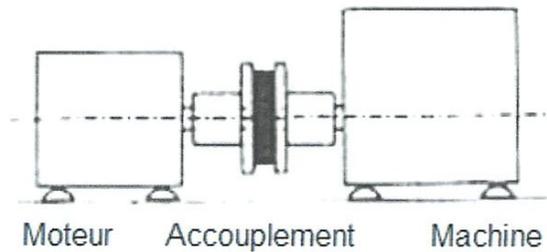


Figure 1.9. Accouplement élastique

I.4.2. Transmission :

On étudie la transmission de mouvement entre deux arbres parallèles par l'intermédiaire de roues de friction.

La transmission modifie les vitesses et les efforts comme grandeur, direction et sens.

I.4.2.1. Par manchon :

a) Manchons cylindriques :

Composés de deux demi-coquilles en fonte ou en acier coulé, assemblées par boulons, les têtes de boulons et écrous ne dépassant pas le diamètre extérieur. Le manchon est exécuté à pinçage pour permettre le serrage de l'arbre.



a) cylindrique



b) à plateaux

Figure 1.10. Accouplement par manchons

b) Manchons à plateaux :

Prévus pour l'assemblage d'arbres, particulièrement pour des transmissions lourdes, ces organes sont composés de deux plateaux en fonte, mâle et femelle, assemblés par boulons ajustés.

I.4.2.2. Par courroie :

La transmission de mouvement se fait *par adhérence* de la courroie (caoutchouc) sur les poulies (plastique, métal). Il y a glissement de la courroie sur la poulie [4].

La tension initiale des courroies est indispensable pour garantir l'adhérence.

Il existe plusieurs types :

1. Courroie plate (utilisée pour obtenir silence et vitesse)
2. Courroie ronde (utilisée pour les petits mécanismes)
3. Courroie trapézoïdale (utilisée pour transmettre de fortes puissances) :
Il existe trois types : simple, double et triple.
4. Courroie crantée (utilisée pour les basses vitesses et puissances importantes)

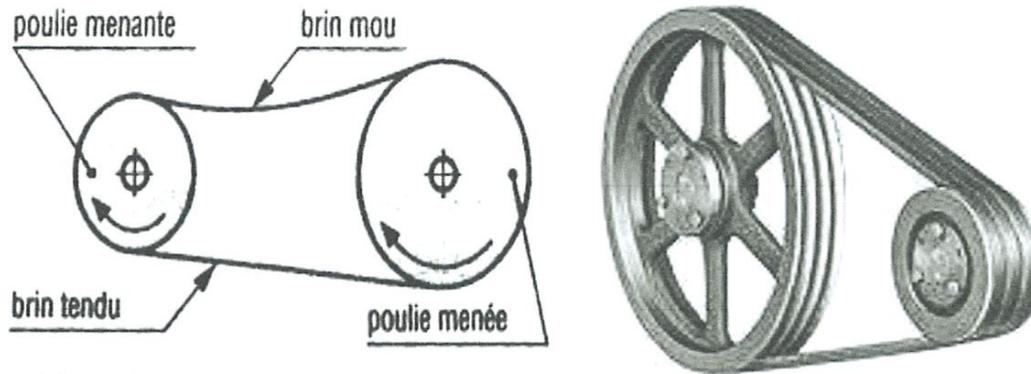


Figure 1.11. Transmission par courroie

I.4.2.3. Par chaîne :

Elle ressemble à celle de la transmission par poulies - courroie, car la Transmission de puissance par pignons et chaîne s'effectue par obstacle.

L'arbre moteur et l'arbre récepteur sont aussi relativement éloignés [4].

Il existe essentiellement trois types :

- 1) Chaîne à rouleaux simple.
- 2) Chaîne à rouleaux double.
- 3) Chaîne à rouleaux triple.



Figure 1.12. Transmission par chaîne

I.4.2.4. Par engrenages :

La transmission de puissance par engrenage est le transfert d'énergie mécanique entre deux arbres sans éléments supplémentaires et par obstacles (contact direct). L'arbre moteur et l'arbre récepteur peuvent être parallèles.

Un engrenage est la constitution d'un pignon et d'une roue dentée (le terme pignon est réservé pour la roue munie du plus petit nombre de dents) [5].

a) droits (à axes parallèles) : Ce sont les engrenages les plus simples, on usine les dentures sur des cylindres. Les dents sont usinées dans la direction de l'axe du cylindre. Ils permettent de transmettre le mouvement entre deux arbres parallèles.

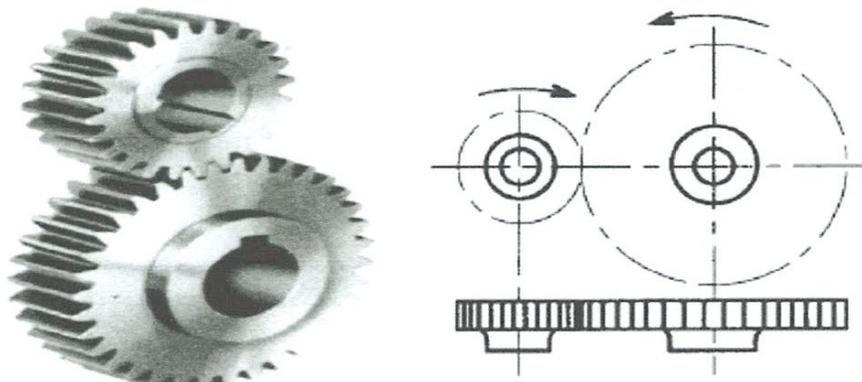


Figure 1.13. Transmission par engrenages droits

b) coniques (à axes concourants) : C'est un groupe important utilisé pour transmettre le mouvement entre deux arbres non parallèles dont les

axes sont concourants, les axes à 90° sont les plus courants. Les surfaces primitives ne sont plus des cylindres mais des cônes (cônes primitifs). Les cônes sont tangents sur une ligne de contact MM' et leur sommet commun est le point S , c'est aussi le point d'intersection des axes de rotation des deux roues.[8]

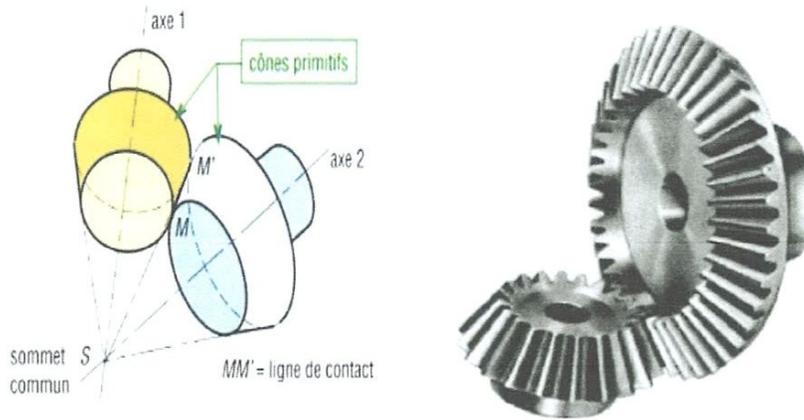


Figure 1.14. Transmission par engrenages coniques

Les types d'engrenages possibles sont :

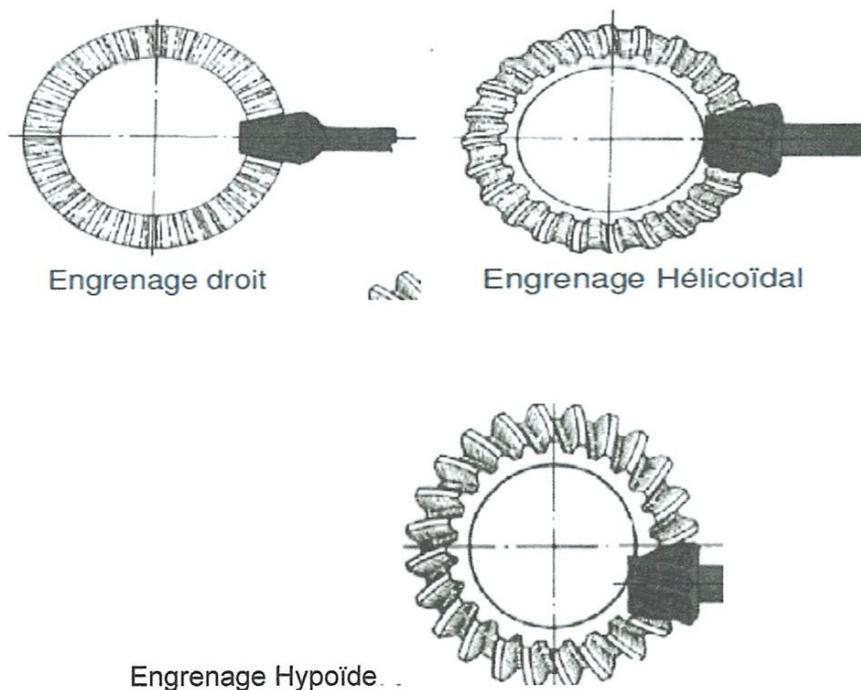


Figure 1.15. Types des engrenages coniques

c) Gauches :

La transmission du mouvement se fait entre deux arbres orthogonaux, ces engrenages permettent de grands rapports de réduction (jusqu'à 1/200) et offrent des possibilités d'irréversibilité, ils constituent les engrenages à l'engrènement le plus silencieux et sans chocs, en contrepartie le glissement et le frottement important provoquent un rendement médiocre [6].

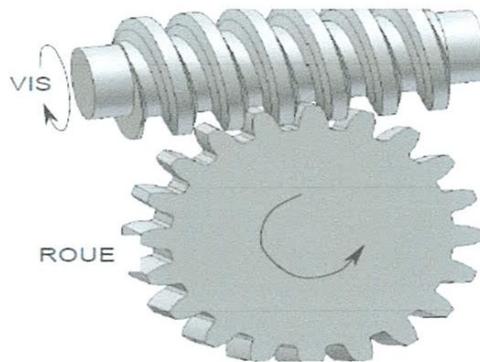


Figure 1.16. Transmission par engrenages à gauche

I.4.3. Généralités sur les roulements à billes :

Un roulement à billes est une pièce mécanique qui permet de transmettre un mouvement. Les roulements sont utilisés dans les transports .

Il est composé de trois éléments : une coque extérieure fixée à une pièce A, des billes mobiles et une coque intérieure fixée à une pièce B. A ne touche pas B, mais les mouvements passent par les billes en rotation. Il y a peu de frottement car les billes sont dans un peu d'huile [7].

Les matériaux employés dépendent de l'application pour laquelle est conçu le roulement, mais il doit être généralement très résistant à la pression. C'est souvent de l'acier ou la céramique.

Il existe toutes sortes de roulements selon la forme et la disposition des éléments roulants :

- la bille est le cas le plus connu, mais il y a aussi des rouleaux cylindriques ou coniques .
- certains roulements à rotule sont munis de rouleaux en forme de barillet.
- si les rouleaux cylindriques sont très longs, on parle d'aiguilles.

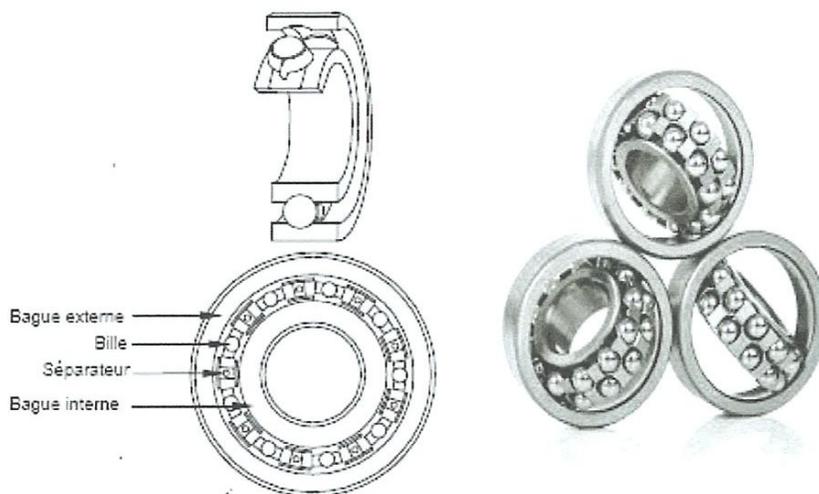


Figure 1.17. Les roulements à billes

Les paliers qui permettent de supporter et de mettre en rotation l'arbre rotorique, sont constitués de flasques et de roulements à chaud sur l'arbre. Les flasques, moulés en fontes, sont fixé sur le carter statorique grâce à des boulons ou des tiges de serrage établi. Les paliers sont des organes utilisés en construction mécanique pour supporter et guider, en rotation, des arbres de transmission [8]. Suivant l'usage désiré, ces paliers peuvent être :

- ❖ Lisses ou les arbres qui reposent sur des coussinets sont soumis au frottement de glissement entre les surfaces en contact.
- ❖ à roulement où le contact s'effectue par l'intermédiaire de billes ou de rouleaux contenus dans des cages. On a là un phénomène de frottement de roulement qui permet une plus grande charge sur les paliers et une plus grande vitesse de rotation.



Figure 1.18. Palier à roulement

Tab.1. Tableau récapitulatif des différentes liaisons

Liaisons	Avantages	Inconvénients
Rigides	<ul style="list-style-type: none"> - faciles à réaliser - moins chers 	<ul style="list-style-type: none"> - Ne se montent que sur des arbres rigoureusement alignés - Ne filtrent pas les vibrations
Dentures bombées	<ul style="list-style-type: none"> - capacité de couple importante - rigidité en torsion - grande capacité d'alésage 	<ul style="list-style-type: none"> - l'empérature élevée - Lubrification à la graisse importante
Elastiques	<ul style="list-style-type: none"> - Acceptent de légers défauts d'alignement - Filtrent les vibrations 	<ul style="list-style-type: none"> - Relativement chers
Courroies	<ul style="list-style-type: none"> - Faciles à concevoir - Silencieuses et souplesse d'emploi - Puissance transmise de faible à moyenne - Transmission à grande vitesse - Economiques 	<ul style="list-style-type: none"> - Durée de vie limitée - Usure et vieillissement - le rapport de transmission est variable (glissement de la courroie sur les poulies)

Chaines	<ul style="list-style-type: none"> - Longue durée de vie - Le rapport de transmission est constant (pas de glissement) - La puissance transmise de élevée à faible vitesse 	<ul style="list-style-type: none"> - poids élevé - Utilisées pour les basses vitesses - Complexité du montage - Bruyantes
Engrenages	<ul style="list-style-type: none"> - limitation du couple uniquement par la force de serrages entre l'arbre et l'accouplement - Simple et économique - Faible moment d'inertie 	<ul style="list-style-type: none"> - Désalignement de l'arbre - L'expansion thermique

I.5. Conclusion :

Dans la première partie de ce chapitre, nous avons donné une description succincte des différents types de machines asynchrones, parce qu'elles sont les plus utilisées dans l'ensemble des applications industrielles, du fait de leur facilité de mise en œuvre, de leur bon rendement et de leur excellente fiabilité.

Dans la deuxième partie, nous avons présenté quelques concepts de la liaison mécanique de la machine asynchrone avec le mécanisme entraîné.

La fonction principale d'un accouplement mécanique est de relier deux arbres entre eux pour transmettre une puissance.

On peut demander en outre à un accouplement:

-d'amortir des chocs ou des vibrations, dans ce cas, on s'orientera plutôt vers les accouplements utilisant des élastomères (caoutchoucs).

-d'être homocinétique : Un accouplement est homocinétique si la sortie tourne exactement, à chaque instant, à la même vitesse que l'entrée.

De ce fait nous pouvons conclure que tout défaut dans la liaison mécanique conduit à l'échec de la machinerie et sa dégradation.

CHAPITRE II

Les défauts électriques

II.1. INTRODUCTION :

Le mot diagnostic peut avoir plusieurs interprétations selon le contexte et le domaine d'application. 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, est la suivante : " Le diagnostic est l'identification de la cause probable de la (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 ".

L'étude des défauts dans les dispositifs électriques et spécialement les machines électriques ont souvent conduit à l'émergence de méthode de diagnostic.

Nous examinons, dans la première partie de ce chapitre, les statistiques menées dans ce domaine depuis 1988 à ce jour, puis nous examinerons, dans la deuxième partie, les différents défauts électriques, cités dans la littérature, qui ont un impact significatif sur les performances de la machine asynchrone.

II.2. Etude statistique :

Une étude statistique, effectuée en 1988 par une compagnie d'assurance allemande de systèmes industriels sur les pannes des machines asynchrones de faible et moyenne puissance (de 50 kW à 200kW) a montré que 60% des pannes se situent au stator, 22% au rotor et le reste (18% dans les autres régions de la machine telles que les roulements,...etc [9]).

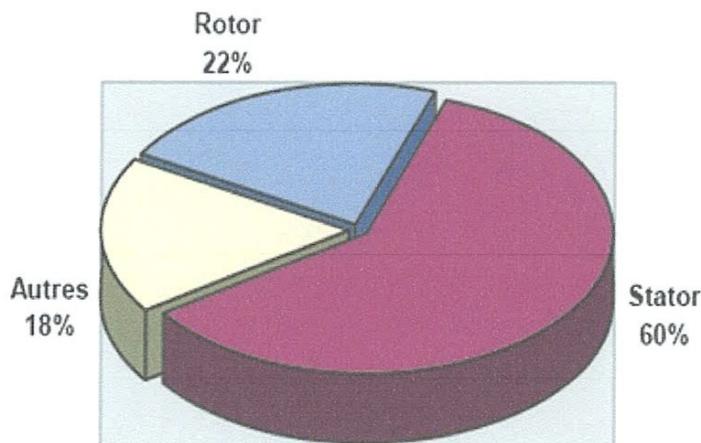


Figure 2.1. Proportion des défauts dans les machines asynchrones de faible et moyenne puissance

D'autre part, les mêmes études montrent qu'entre 1973 et 1988, les pannes au stator sont passées de 78% à 60% et les pannes au rotor sont passées de 12% à 22%. Ces variations sont dues à l'amélioration des isolants sur cette période. La répartition des pannes dans les différentes parties du moteur est donnée sur la figure suivante [9] :

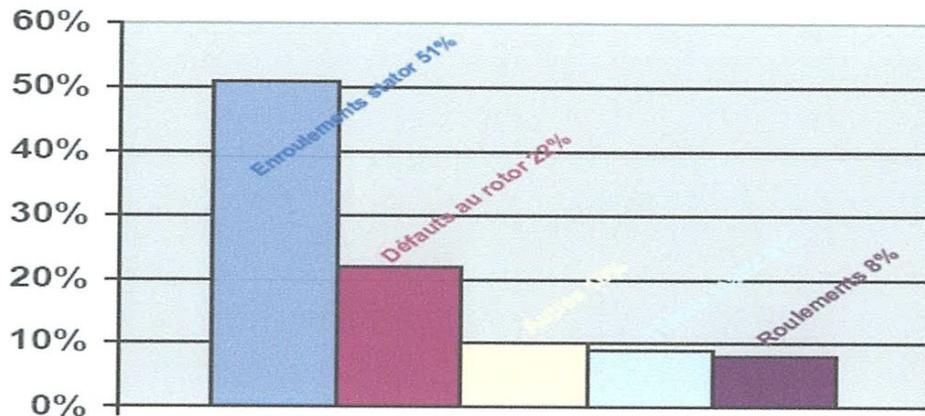


Figure2.2. Répartition des pannes sur les machines de faibles et moyennes puissances

Les défauts électriques statoriques sont les plus rencontrés dans ces types des machines [10].

Une autre étude statistique faite sur des machines de grande puissance (de 100kW à 1MW) a montré que pour cette gamme de puissance, les pannes les plus fréquentes se situent dans les roulements. Le stator et le rotor sont le siège de 12% et 8% des pannes respectivement (Figure 2.3). Les contraintes mécaniques sont plus grandes pour ces types de machines ce qui explique le taux élevé des pannes dues aux roulements. Celles-ci exigent une maintenance mécanique accrue [9].

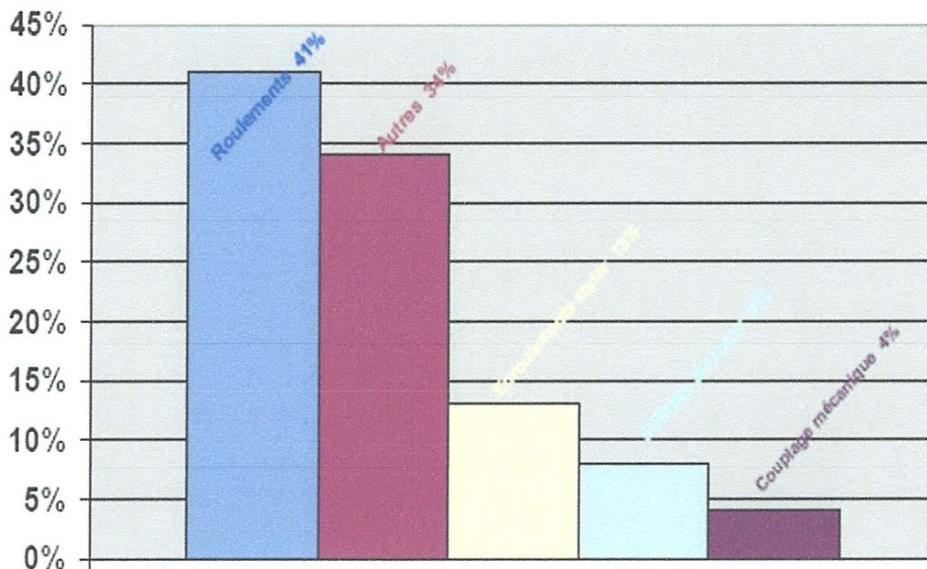


Figure 2.3. Répartition des pannes sur les machines de fortes puissances

Le défaut d'un élément est une condition de la réduction de capacité liée à des exigences minimales, cela peut être le résultat d'une dégradation normale, une mauvaise spécification en conception, un mauvais montage (y compris les mauvais alignements), une mauvaise utilisation ou une combinaison de ceux-ci si un défaut n'est pas détecté, on s'il est laissé se développer, il conduira à la défaillance du composant et provoquera sa sortie prématurée du fonctionnement [11].

Plusieurs études ont été menées sur la fiabilité des machines électriques réalisées par différents groupes industriels. L'étude principale, effectuée par la compagnie « General Electric », a été publiée dans EPRI (Electric Power Research Institute) en 1982 et couvrant environ 5000 moteurs, dont 97% d'entre eux ont été des moteurs asynchrones à cage. Il est connu que l'occurrence d'un type quelconque de défauts dépend fortement de l'application spécifique de la machine. Par exemple, il a été constaté que dans les moteurs asynchrones à cage, les défauts de la cage rotorique sont plus fréquents que les défauts d'enroulement statorique pour les applications où la machine est fréquemment arrêtée et démarrée sous une charge importante telles que dans les machines à outils et celles utilisées dans les minières et les forages [12].

Le travail de Thorsen et Dalava, a mis en évidence la distribution de défauts parmi les organes défectueux dans 483 grands moteurs asynchrones fonctionnant dans un même domaine lié à l'industrie pétrochimique. De tels

moteurs fonctionnent très souvent en conditions extrêmes dans des activités sous-marines. Ils sont souvent directement amorcés, ce qui génère de grands courants de démarrage et des variations de couple assez importantes.

Ces conditions sont nocives pour le moteur, et mènent à l'usure rapide des différents composants de la machine. En Comparant les résultats de ce travail à EPRI, il apparait clairement que l'occurrence d'un type spécifique de défaut dépend considérablement de l'application spécifique de la machine et de l'environnement de fonctionnement. Il est aussi important d'avoir une idée de la dépendance de la panne à l'environnement.

Thorsen et Dalva indiquent que le taux de panne pour des moteurs utilisés dans un milieu à billonnant humide (usines terrestres et en mer), peut-être 2 à 5 fois plus grand que le taux d'échec pour des moteurs utilisés à l'intérieur.

Une étude statistique menée par [13] sur les machines asynchrones à cage d'écureuil, exploitées dans le domaine de l'industrie pétrochimique, nous révèle que certaines pannes sont plus fréquentes que d'autres susceptibles de se produire dans des machines de grande puissance, données par le diagramme de la figure2.4 [12].

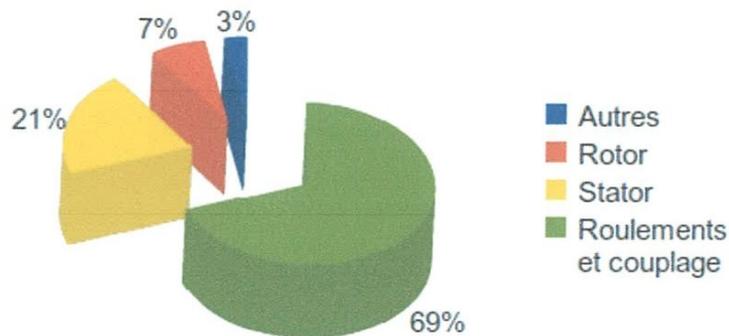


Figure 2.4. Pourcentage des défauts (2008)

Cette répartition montre que les défauts des machines de grande puissance proviennent principalement de roulements et du bobinage statorique, ceci est dû aux contraintes mécaniques qui sont plus importantes dans le cas de ces machines.

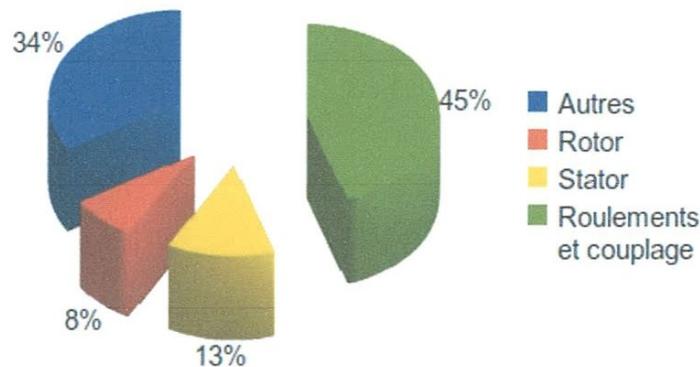


Figure 2.5. Pourcentage des défauts (1995)

En comparant ces résultats à ceux issus de publications plus anciennes, données par [14] le diagramme de la figure 2.5, réalisés sur des machines de même type (100KW à 1MW), nous remarquons que, ces dernières décennies, la répartition du pourcentage de ces défauts a changé, du fait des conditions de fabrication des moteurs. Les défauts dans le stator et le rotor sont de moins en moins fréquents, (la principale source de défaillances est constituée actuellement par les défaillances mécaniques (roulements, excentricité, balourd, désalignement.....). Il est à remarquer que ces défauts sont très sensibles aux conditions d'exploitation et que leurs origines peuvent être très variées. Contrairement à la conception du stator, la conception du rotor à cage et la fabrication ont peu changé au fil des années. Les cas de rupture du rotor comptent environ 10% du total des défaillances du moteur asynchrone cependant, dans le domaine du diagnostic de défaut et la surveillance des machines électriques, la plupart des recherches présentées dans la littérature traite les défauts du rotor, alors que les défauts mécanique (*excentricité, palier, roulement, balourd, désalignement,.....*) comptant plus 50% des pannes des entraînements électriques ne sont pas aussi largement étudiés. L'attention suscitée au défaut de la cage peut être due au fait que les composantes fréquentielles des défauts sont très bien définies et que leur modélisation numérique est maîtrisée comparée aux défauts mécaniques internes et externes au moteur asynchrone d'entraînement.

Dans la littérature, des statistiques ont été émises concernant les défauts qui peuvent affecter la machine [12].

La classification se fait selon des critères précis mais diffère d'un auteur à un autre comme par exemple le critère des variations dues à l'amélioration des

isolants. Pour (voir la figure 2.6) plus de 50% de défauts affecte les roulements, environ 16% comme des défauts localisés au stator, 5% apparaîtront au rotor et 2,5% seront des défauts de l'axe et d'accouplement



Figure 2.6. Répartition des défauts selon [15]

II.3. Intérêt du diagnostic :

La signification du mot diagnostic réside dans la détection précoce des défaillances ou défauts et donc identifier les causes de l'échec et de gagner du temps qui conduirait au bon fonctionnement et contribuer ainsi à une productivité accrue ce qui permet d'assurer la compétitivité de l'outil de production optimale.

II.3.1. Caractéristique d'un système de diagnostic :

L'ensemble de caractéristiques souhaitées qu'un système de diagnostic devrait posséder est :

- a) Détection rapide.
- b) Isolation : c'est l'habileté pour différencier les défauts.
- c) Robustesse vis-à-vis de certains bruits et d'incertitudes.
- d) Identification de nouveauté : on se réfère à la capacité de décider si le processus est un état normal ou anormal, dans le cas d'anomalie, il faut identifier s'il s'agit d'un défaut connu d'un nouveau défaut.
- e) Estimation de l'erreur de classification du défaut (diagnostic) en vue de sa fiabilité.
- f) Adaptabilité : le système de diagnostic devrait être adaptable aux changements de conditions du processus (perturbations, changements d'environnement).
- g) Facilité d'explication de l'origine du défaut et de la propagation de celui-ci, ceci est important pour la prise de décision en ligne.

- h) Conditions de modélisation : pour le déploiement rapide et facile des classificateurs de diagnostic en temps réel, l'effort de modélisation devrait être aussi minimal que possible.
- i) Identification de multiples défauts : pour de grands processus, l'énumération combinatoire de multiples défauts est trop importante et ils ne peuvent être explorés de manière exhaustive.

II.3.2. Synthèse des Méthodes de Diagnostic :

II.3.2.1. Méthode de Détection des défauts de Moteur asynchrone :

Tous les types de défauts évoqués se rapportent habituellement à la détérioration progressive de la machine qui peut mener à l'immobilisation de celle-ci s'ils ne sont pas détectés au moment opportun de leur naissance.

Pour détecter de tels défauts, plusieurs méthodes de diagnostic ont été développées impliquant plusieurs domaines scientifiques et technologiques. Elles peuvent être décrites comme suit [12] :

1. Surveillance du champ électromagnétique
2. Mesures de la température.
3. Rayonnement infrarouge.
4. Surveillance du bruit et de vibration.
5. Analyse de la signature du courant
6. Analyse chimique.
7. Mesures acoustiques.
8. Méthodes basées sur le modèle électrique de la machine, intelligence artificielle et Réseau de neurones.

II.3.2.2. Panorama des Méthodes de diagnostic des machines asynchrones :

On retrouve, dans les différents travaux, les trois axes constituant le domaine du diagnostic des machines électriques, qui conduisent à définir trois méthodologies de diagnostic : méthodes de connaissances, méthodes de redondances analytiques et méthodes par modélisation de signaux données sur la (figure 3.7).

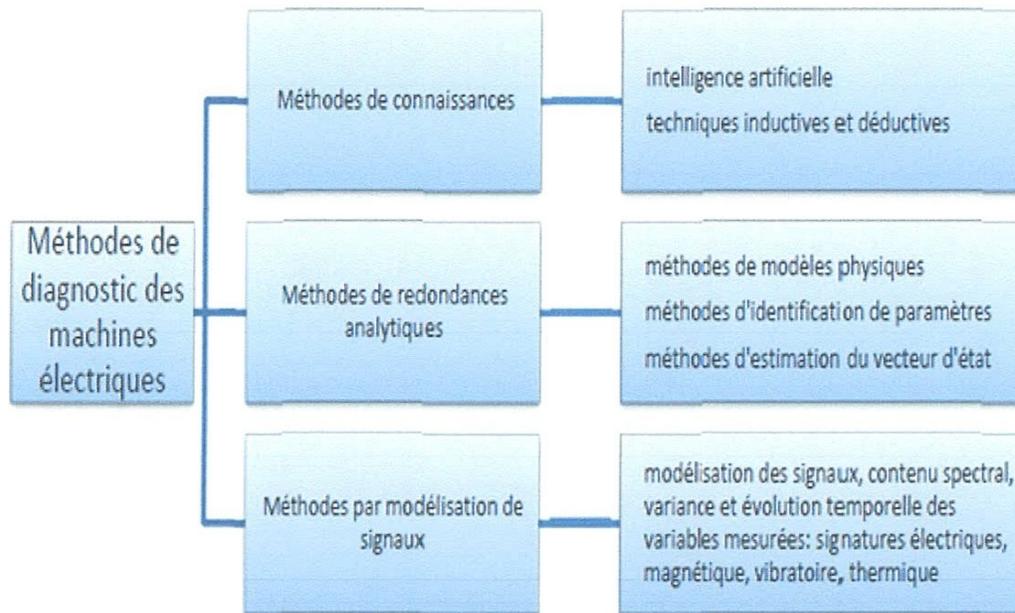


Figure 2.7. Diaporama des méthodes de diagnostic de machine électrique.

- **Les méthodes de connaissance :** N'utilisent pas de modèle mathématique. Pour décrire les relations de cause à effet la seule connaissance repose sur les retours d'expérience accumulée par les spécialistes. Dans la littérature sont présentées plusieurs techniques de détection de défauts par ces méthodes. Les techniques basées sur l'intelligence artificielle mettent en œuvre la reconnaissance de formes.
- **Les méthodes de redondances analytique :** Se basent sur une modélisation quantitative des systèmes et exploitent les relations entre les variables du système pour identifier les paramètres à surveillance on distingue trois classes : physiques, d'identification et d'estimation.
- **Les méthodes par modélisation des signaux :** pour des raisons de simplicité et d'efficacité, l'approche signal est très utilisée actuellement en diagnostic. Sont des méthodes basées sur une modélisation des signaux. Le contenu spectral, la variance et l'évolution temporelle des variables mesurées. Ces méthodes exploitent essentiellement les signaux électriques, magnétique, vibratoire, thermique ou la puissance instantanée.

II.4. Présentation des différents défauts :

Dans ce paragraphe sont présentés différents défauts des machines électriques, leurs origines et leur classification.

Une défaillance de machine électrique représente tout incident donnant lieu à un comportement anormal de la machine et qui peut à court ou long terme provoquer son endommagement. Les raisons de défaillances dans les machines tournantes électriques ont leur origine dans la conception, la tolérance de fabrication, l'assemblage, l'installation, l'environnement de travail, la nature de la charge et le calendrier de maintenance.

Selon leurs origines, les défauts peuvent être classés en deux catégories : interne et externe. Les défauts internes sont provoqués par les constituants de la machine (bobinages du stator et du rotor, circuits magnétiques, cage rotorique, entrefer mécanique, etc.). Les défauts externes sont causés par le type d'alimentation, la charge mécanique ainsi que par l'environnement d'utilisation de la machine [7].

Une classification des défauts qui peuvent apparaître dans les machines électriques selon leurs origines est présentée dans le Tableau II.1.

Tableau II.1 : Défauts des machines électriques selon leurs origines

Défaillances des Machines électriques	Interne	Mécanique	Contact entre le stator et rotor
			Défaut de roulement
			Excentricité
			Mouvement des enroulements et des tôles
		Electrique	Défaillance au niveau de l'isolation
			Rupture de barre
	Externe	Mécanique	Défaillance au niveau du circuit magnétique
			Charge oscillaire
			Surcharge de la machine
		Environnementale	Défaut de montage
			Humidité
			Température
		Electrique	Propreté
Fluctuation de la tension			
Sources de tension déséquilibrée			
Réseau bruité			

II.5. Défauts électriques :

Les défauts d'ordre électriques peuvent dans certains cas être la cause d'une panne au niveau de la machine.

II.5.1. Défauts due au réseau d'alimentation :

Les réseaux et les installations électriques sont le siège d'incidents de nature aléatoire, dont les plus fréquents sont:

- Court-circuit entre les phases
- Coupure de phase d'alimentation
- Déséquilibre des tensions d'alimentation

Les répercussions de ces anomalies sur la continuité du service et le fonctionnement des équipements dépendent de la nature du défaut. Ce dernier est provoqué soit dans les réseaux aériens soit par des contraintes de nature:

- Climatique (pluie, foudre ...)
- D'environnement (branches d'arbres, plombes de chasses,...)
- Par suite de l'interconnexion des différents réseaux.

Il en résulte que les installations électriques peuvent subir un nombre difficilement prévisible de perturbations de tension dont l'influence se caractérise par, soit une chute de tension transitoire, soit une coupure brève. Dans les cas les plus graves, cela provoque la coupure de longue durée.

II.5.2. Défauts statoriques :

Les défauts qui apparaissent dans le stator sont essentiellement causées par des problèmes thermiques (surcharge,...), électriques (diélectrique,...), mécaniques (vibrations,...), environnementaux (agression,...) ; on peut citer, par exemple, les défauts de type courts-circuits entre spires. On peut citer aussi les courts-circuits apparaissant entre une phase et le neutre, entre une phase et la carcasse métallique de la machine ou encore entre deux phases statoriques.

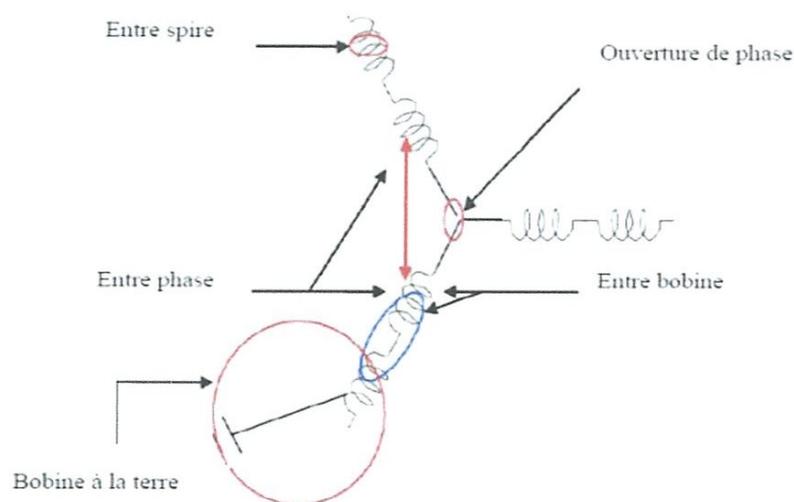


Figure 2.8. Représentation des différents défauts statoriques possible

Les techniques de diagnostic des défauts, discutés dans ce qui suit, sont basées sur le traitement et l'analyse du signal. La décomposition des paramètres du signal du courant statorique en termes de phase instantanée, de fréquence instantanée et d'amplitude instantanée, ce qui permet de mieux caractériser et quantifier les défauts. L'avantage de ces techniques est qu'elles permettent de mettre en évidence les composants de défauts et ceci, parfois indépendamment de l'amplitude des signaux mesurés ou en d'autres termes indépendamment du niveau de charge. Les techniques présentées seront appliquées aux courants de phase de la machine alimentée directement par réseau ou par onduleur en régime permanent. Les bases théoriques de ces techniques sont présentées et leurs performances sont discutées et comparées entre elles.

II.5.2.1. Phase du spectre :

Le diagnostic des défauts de la machine asynchrone fait appel souvent à l'analyse fréquentielle des signaux, plus particulièrement, le module de la transformée de Fourier du courant statorique de la machine. La technique de la phase du spectre [16] est employée plus, généralement, en traitement d'image où la phase du signal analysé contient une information plus pertinente que son module. L'information fournie par la phase du spectre du courant statorique permet de mettre en évidence la présence de défauts au niveau du rotor. Cette investigation permet de proposer une technique de diagnostic de défauts rotoriques basée, exclusivement, sur le spectre de la phase [17].

II.5.2.1.1. Phase du spectre du courant statorique :

La transformée de Fourier d'une suite finie $\{p_s(0), \dots, p_s(N-1)\}$ est donnée par:

$$F(k) = \frac{1}{N} \sum_{n=0}^{N-1} p_s(n) e^{-j \frac{2\pi nk}{N}} \dots\dots\dots (2.1)$$

Le résultat de cette relation mathématique donne un signal complexe et permet d'écrire la transformée de Fourier du signal $p(n)$ sous la forme :

$$F(k) = \Re(F(k)) + j\Im(F(k)) = F_{\Re}(k) + jF_{\Im}(k) \quad (2.2)$$

La phase de cette transformée de Fourier $F(k)$ est donnée par :

$$\varphi(TF(k)) = \arctan\left(\frac{F_{Im}(k)}{F_{Re}(k)}\right) \dots \dots \dots (2.3)$$

II.5.2.2. Défaut d'isolement dans un enroulement :

La dégradation des isolants dans les enroulements peut provoquer des courts-circuits. En effet, les différentes pertes (Joule, fer, mécanique,.....) engendrent des phénomènes thermiques se traduisant par une augmentation de la température des différents constituants du moteur, or les matériaux d'isolation ont une limite thermique, électrique et mécanique. De ce fait, si l'environnement de travail d'un matériau d'isolation dépasse une de ces limites, ce matériau se dégrade de manière prématurée ou accélérée, puis finit par ne plus assurer sa fonction dans ce cas, un court-circuit peut apparaître dans l'enroulement concerné [17].

Les différentes causes pour ce type de défaut sont :

- Dégradation de l'isolant à la fabrication.
- Tension de l'enroulement supérieure à la limite du matériau d'isolation.
- Vibrations mécaniques.
- Courant élevé dans l'enroulement dû à un court-circuit, un défaut du convertisseur, ou à une surcharge. Ceci entraîne une élévation de la température dégradant prématurément le matériau d'isolation.
- Vieillesse naturelle des isolants. Tous les matériaux isolants ont une durée de vie limitée. Même dans une utilisation 'normale', l'isolant finit naturellement par se dégrader.
- Fonctionnement dans un environnement sévère.

II.5.2.3. Court-circuit entre spires :

Le défaut de court-circuit entre spires est un défaut assez fréquent au stator de la machine asynchrone. Il a, en général, pour origine un défaut d'isolation dans l'enroulement concerné. Il entraîne une augmentation importante du courant circulant dans les spires en court-circuit, une légère variation de l'amplitude sur les autres phases et modifie le facteur de puissance. Ceci a comme conséquence l'augmentation de la température qui entraîne une destruction en cascade du matériau isolant recouvrant les conducteurs. Les risques de dégagement de fumées ou même d'incendie sont alors importants [17].

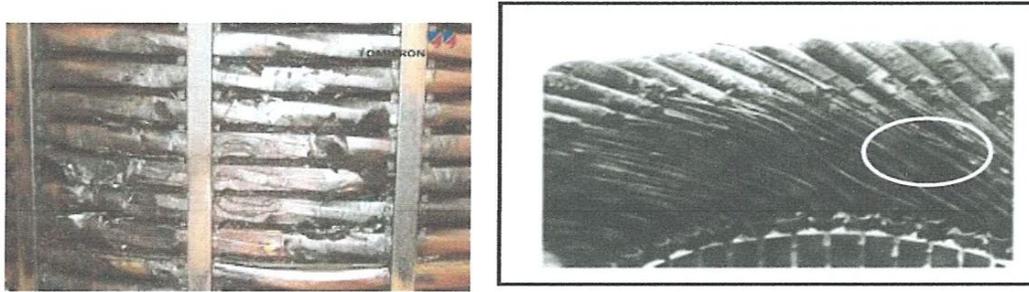
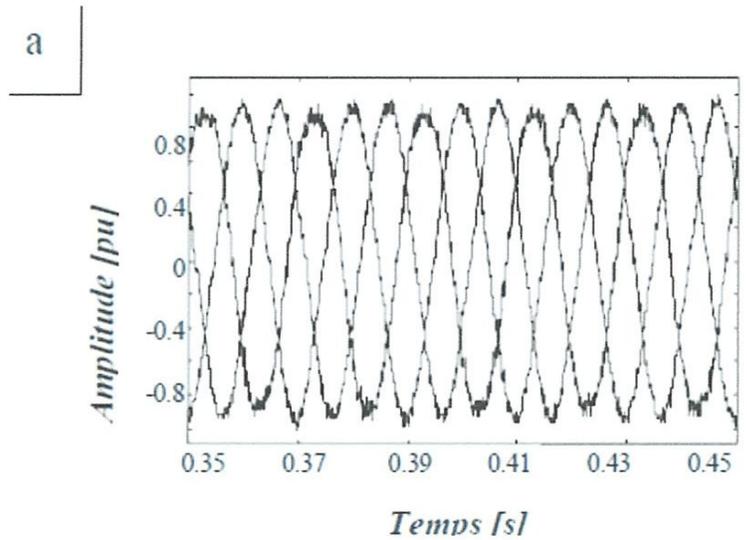
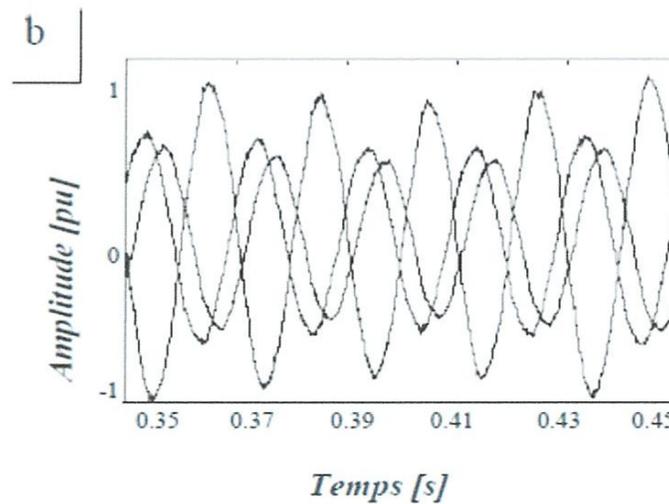


Figure 2.9. Image de court-circuit entre spire



a) Cas sain



b) Déséquilibre des courants dû à un court-circuit entre spires d'une phase statorique de 30%

Figure 2.10. Courants statoriques d'un moteur

Les formes d'onde des figures 2.10a et 2.10b représentent, respectivement, les courants statoriques du moteur asynchrone sans court-circuit et avec un court-circuit dans une phase. La durée d'acquisition est d'une seconde avec une fréquence d'échantillonnage de 10[kHz].

II.5.2.4. Court-circuit entre phase :

Ce type de défaut peut arriver en tout point du bobinage, cependant les répercussions ne seront pas les mêmes selon la localisation.

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. Le déséquilibre des courants statoriques (augmentation de l'amplitude des courants) provoque l'augmentation des courants dans les enroulements ou barres/anneaux du rotor. La détection de ce type de défaut repose sur le déséquilibre des courants de phases [18].

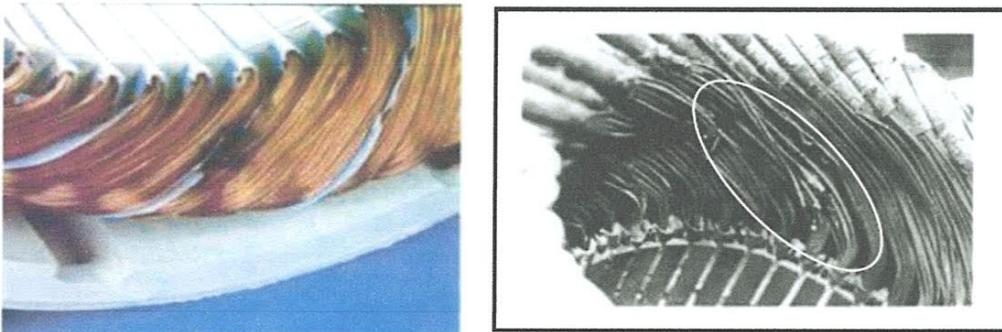


Figure 2.11. Court-circuit dans une phase

II.5.2.5. Court-circuit phase /bâti :

Le bâti 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). En présence de ce type de défaillance, la tension de la phase concernée ne change pas [17].

Cependant le courant circulant dans cette phase augmente avec la réduction de la résistance et de l'inductance. Cette augmentation du courant se traduit par une augmentation de la température pouvant entraîner des défauts d'isolant dans l'enroulement. De plus, cette défaillance va générer une composante homopolaire entraînant l'apparition d'un couple pulsatoire. Une mesure du courant de fuite pourrait permettre de détecter ce type de défaut [18].

II.5.2.6. Défaut de circuit magnétique :

Ces défauts aboutissent dans la plupart des cas à une dissymétrie au niveau du fonctionnement de la machine, qui à son tour peut accentuer le problème par des phénomènes de surchauffe, de surtension, d'élévation importante du courant, etc [18].

II.5.3. Défauts rotoriques :

Pour le rotor, les défauts sont essentiellement dus à un problème :

- Thermique (surcharge...)
- Electromagnétique (force,...)
- Résiduel (déformation,...)
- Dynamique (arbre de transmission....)
- Environnemental (agression,...)

Les défauts qui sont plus récurrents, localisés au niveau du rotor, peuvent être définis comme suit :

- Rupture de barres dans les machines asynchrones.
- Rupture d'une portion d'anneaux de court circuit dans les machines asynchrones.
- Excentricités statique et dynamique.

II.5.3.1. Ruptures des barres :

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 et augmente l'amplitude des oscillations, qui elles-mêmes provoquent des oscillations de la vitesse de rotation, ce qui 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 [14].

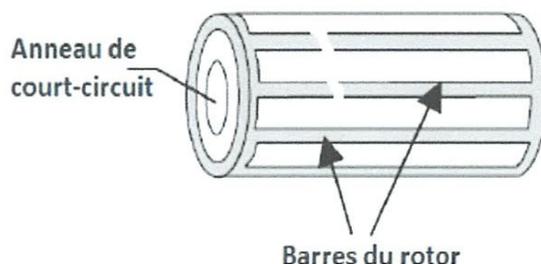


Figure 2.12 Défaut d'un rotor (rupture de barres)

Le diagnostic du défaut rotorique se fera à partir de l'équation (3.3). Le module et la phase du spectre du courant statorique lorsque la cage rotorique présente 4 barres cassées (connexion au réseau d'alimentation triphasé) sont représentés sur les figures 3.1 et 3.2. Il apparaît, clairement, la présence des composantes de fréquence [16] $(1 \pm 2 k g) f_s$ dans le module du spectre du courant statorique comme nous le montre la (figure 2.13) [17].

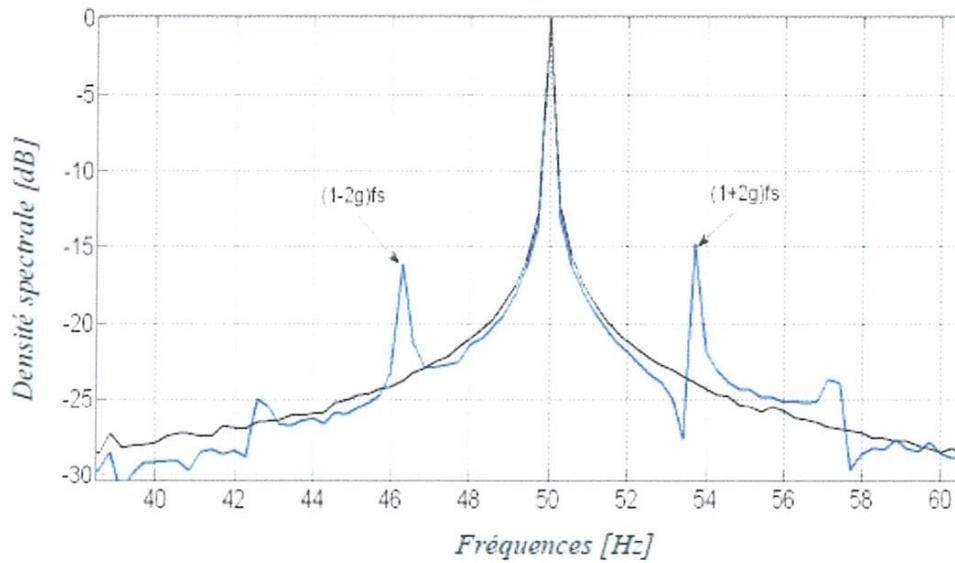


Figure 2.13. Spectre du courant statorique pour un réseau sain (noir) et 4 barres cassées (bleu) 30- 63 [Hz]

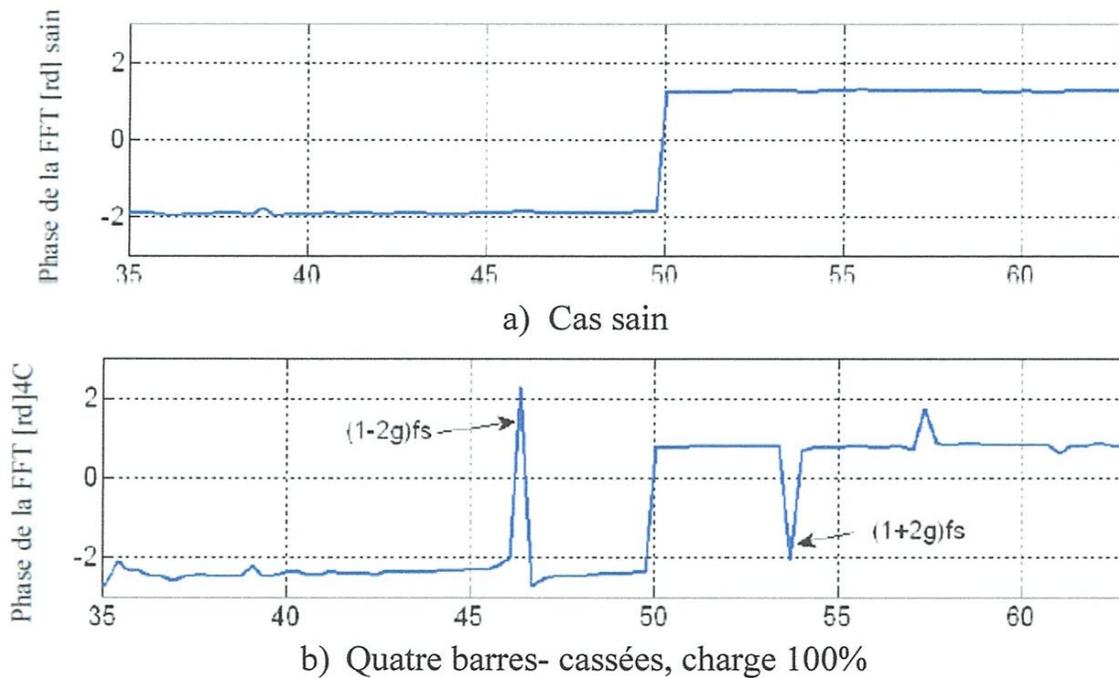


Figure 2.14. Phase du spectre du courant statorique

II.5.3.2. Ruptures d'anneaux :

La rupture de portion d'anneau est un défaut qui apparaît aussi fréquemment que la cassure de barres. Ces ruptures sont dues soit à des bulles de coulées ou aux dilatations différentielles entre les barres et les

anneaux. Comme est difficile de le détecter, ce défaut est généralement groupé, voir confondu, avec la rupture de barres dans les études statistiques. Ces portions d'anneaux de court-circuit véhiculent des courants plus importants que ceux des barres rotoriques. De ce fait, un mauvais dimensionnement des anneaux, une détérioration des conditions de fonctionnement (température, humidité,...) ou une surcharge de couple et donc de courants, peuvent entraîner leur cassure. La rupture d'une portion d'anneau déséquilibre la répartition des courants dans les barres rotoriques et de ce fait, engendre un effet de modulation d'amplitude sur les courants statoriques similaire à celui provoqué par la cassure de barres [17].

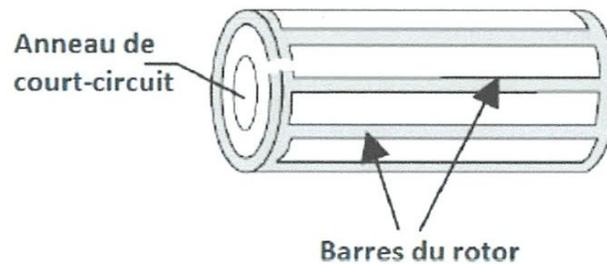
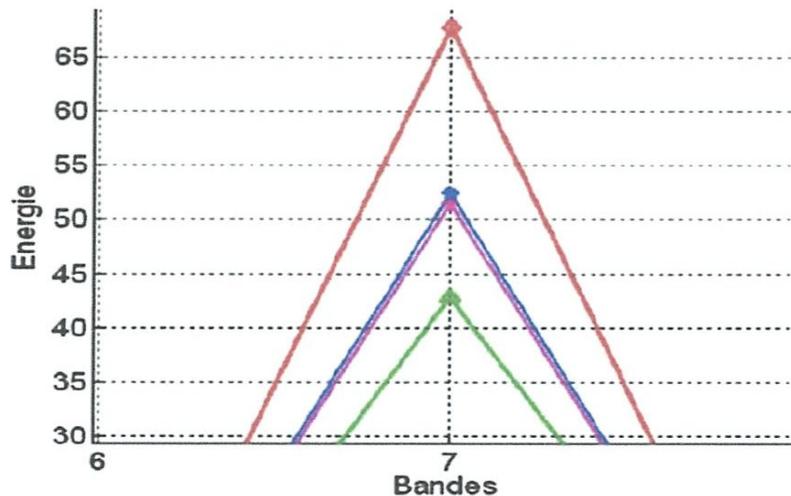


Figure 2.15. Rupture d'anneau



- Δ - : Machine saine, -+- : Machine avec une barre cassée, - \diamond - : Machine avec deux barres cassées, -* : Machine avec une portion d'anneau enlevée

Figure 2.16. Variation de l'énergie dans les bandes de fréquence

L'énergie dans le cas d'une rupture de deux barres rotoriques augmente d'une façon remarquable par rapport au cas de la machine saine et même pour les deux autres machines, type de défaut, dans les deux cas de cassure d'une barre et de portion d'anneau rotoriques [19].

II.6. Conclusion

Dans la première partie de ce chapitre, nous avons exposé un résumé des études des statistiques anciennes et récentes des défauts affectant les machines asynchrones.

Grace au développement des moyens de diagnostic des défauts, nous avons constaté que le taux des défauts mécaniques simples et multiples n'est pas négligeable et représente plus de 60% des pannes du moteur asynchrone.

Dans la deuxième partie, nous avons examiné les principaux défauts électriques d'une machine asynchrone et des organes qui lui sont liés entraînant la plupart du temps un arrêt intempestif du procédé technologique. C'est pour pallier à ce problème que le diagnostic de défaut a pris une importance de plus en plus grandissante dans les milieux industriels. Trois méthodologies de diagnostic sont utilisées : méthodes de connaissances, méthodes de redondances analytiques et méthodes par modélisation de signaux.

Les défauts électriques sont répartis en trois catégories:

1. Défauts dus au réseau d'alimentation
2. Défauts statoriques :
 - a) Défaut d'isolement dans un enroulement,
 - b) court-circuit entre spires,
 - c) Court-circuit entre phase,
 - d) Court-circuit phase /bâti,
 - e) Défaut de circuit magnétique.
3. Défauts rotoriques d'un moteur à cage:
 - a) Ruptures des barres,
 - b) Ruptures d'anneaux.

CHAPITRE III

Les défauts mécaniques

INTRODUCTION :

La machine asynchrone est la plus utilisée aujourd'hui dans le milieu industriel en raison de sa robustesse et son faible coût de fabrication et de maintenance. Néanmoins, elle peut présenter comme toute autre machine électrique, des défaillances d'ordre électrique ou mécanique.

Dans ce chapitre sont présentés différents défauts mécaniques des machines électriques, leurs origines et leur classification.

Une défaillance de la machine électrique représente tout incident donnant lieu à un comportement anormal de la machine et qui peut à court ou long terme provoquer son endommagement. Les raisons de défaillances dans les machines tournantes électriques ont leur origine dans la conception, la tolérance de fabrication, l'assemblage, l'installation, l'environnement de travail, la nature de la charge et le calendrier de maintenance.

III.1. Défauts mécaniques et le désalignement de liaison :

Idéalement, une machine parfaitement équilibrée ne vibre pas. Mais dans la pratique, tout rotor, même après équilibrage, présente un balourd.

III.1.1. Défaut de balourd :

Le balourd est la source la plus classique sur les systèmes tournants. Il est dû à un défaut d'équilibrage, Idéalement, une machine parfaitement équilibrée ne vibre pas. Mais dans la pratique, tout rotor, même après équilibrage, il vibre.

Ce phénomène se produit à la vitesse de rotation et est causé par une mauvaise répartition spatiale des masses dans la structure, entraînant un déplacement du centre de gravité en dehors de l'axe géométrique du rotor de la machine tournante. Il n'est pas possible de faire coïncider l'axe de rotation avec

le centre de gravité de chaque tranche élémentaire du rotor (figure 3.1). On dit que le rotor présente un balourd.

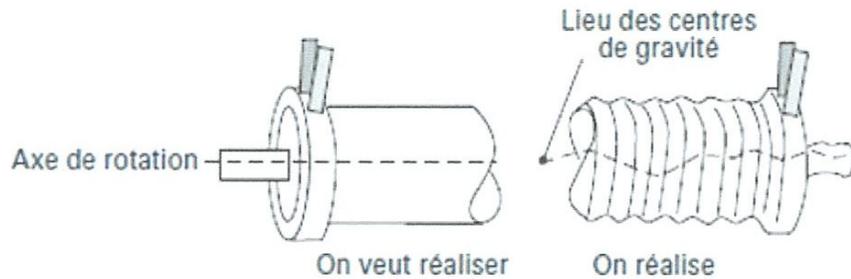


Figure 3.1. Image vibratoire théorique d'un balourd

III.1.1.1 Mesure de balourd :

Généralement, le spectre est issu d'une mesure prise radialement (souvent dans la direction radiale horizontale) (figure 3.2), excepte pour les rotors en porte-a faux pour lesquels on peut constater également une vibration dans la direction axiale (figure 3.3) [20].

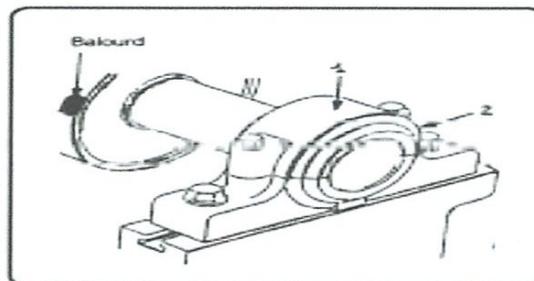


Figure 3.2. Points de mesure pour un défaut de balourd

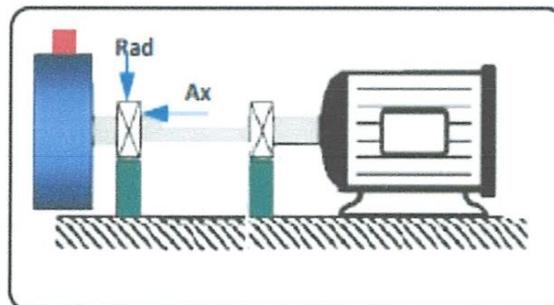


Figure 3.3. points de mesure pour un défaut de balourd sur rotor en Porte-à-faux

III.1.1.2 Signature vibratoire de balourd :

Si on mesure l'amplitude du signal vibratoire délivré par un capteur placé sur le palier supportant un rotor déséquilibré (figure 3.4), on remarque que l'amplitude sera maximale lorsque la masse sera en haut du rotor et elle sera minimale lorsqu'elle sera en bas, et ainsi de suite, à chaque tour du rotor. Le signal vibratoire est périodique de période 1 tour, donc de fréquence égale à la fréquence de rotation du rotor [20].

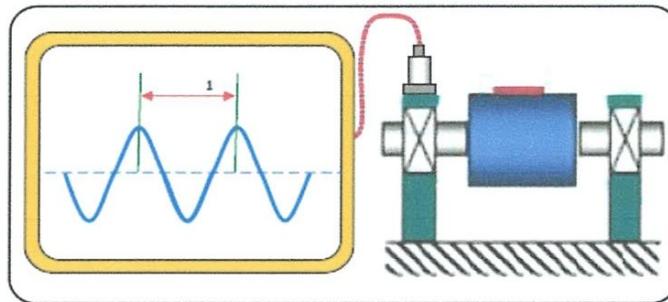


Figure 3.4 signal vibratoire génère par un balourd

Le balourd va induire, dans un plan radial, une vibration dont le spectre présente une composante dont la fréquence de base correspond à la fréquence de rotation f_r . Elle représente alors le pic le plus élevé avec des pics d'amplitudes plus faibles sur les harmoniques de f_r (figure 3.5). La bande de mesure est conçue de façon à prendre en compte de légères variations autour de la vitesse de rotation affichée par le constructeur [20].

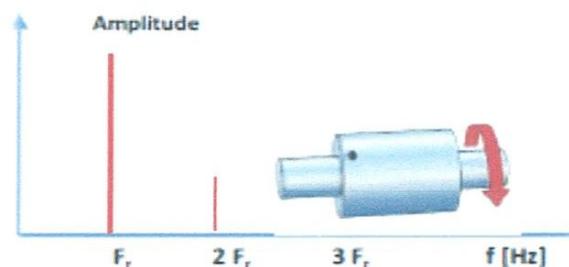


Figure 3.5. Spectre théorique d'un défaut de balourd

a) **Balourd statique** : L'axe d'inertie de l'arbre est parallèle à l'axe de rotation. Phase identique sur chaque palier et vibration principale radiale. (Figure 3.6)

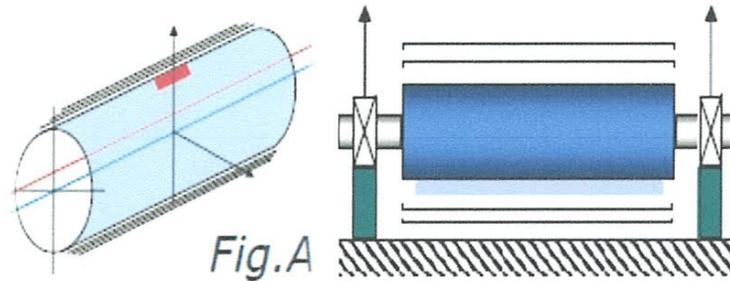


Figure 3.6. Balourd statique

b) **Balourd dynamique** : L'axe d'inertie n'est plus colinéaire à l'axe de rotation, les deux axes formant un angle. Il est caractérisé par le déphasage de 180° entre les paliers et la vibration principale radiale. (Figure 2.7).

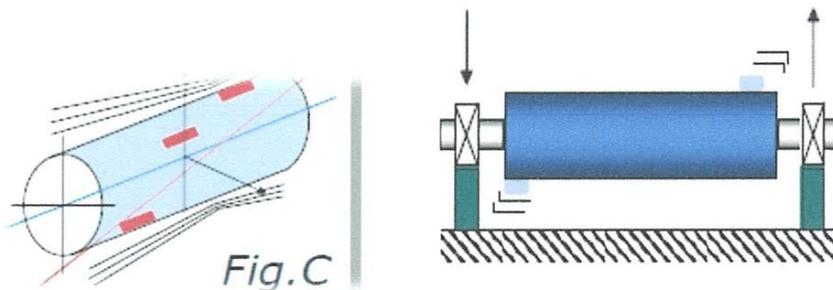


Figure 3.7. Balourd dynamique

III.1.2 Défaut d'alignement :

Le désalignement est un problème plus fréquent que le balourd, on peut dire que c'est un défaut de lignage, Le défaut d'alignement est dû à la non coïncidence des axes de rotation de deux machines accouplées. Selon les positions géométriques des deux axes.

Le défaut de l'alignement peut n'apparaître qu'en fonctionnement, sous l'effet de la charge. Les causes peuvent être :

- ❖ Déformation du stator
- ❖ Efforts dissymétriques sur le rotor
- ❖ Calage du rotor (machine à paliers lisses)
- ❖ Déformation de la structure porteuse

III.1.2.1. Désalignement d'arbres accouplés : Les axes des deux rotors peuvent présenter un *désalignement angulaire* au niveau de l'accouplement ou un *désalignement radial* (défaut de concentricité) ou la combinaison des deux (figure 2.8).

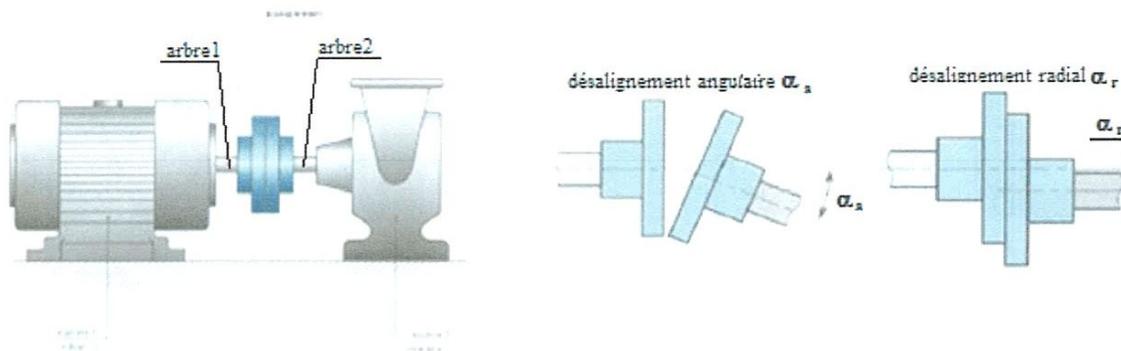


Figure. 3.8 Défauts d'alignement d'arbres

a. Désalignement radial :

Le signal temporel d'un défaut de désalignement a l'allure de la (figure 3.9). On retrouve un phénomène périodique a la fréquence de rotation (période =1tour), mais également des phénomènes se répétant chaque 1/2 tour et 1/3 tour. Cela se traduira le plus souvent par la présence des composantes de l'ordre 2, 3 ou même 4 fois la fréquence de rotation avec des amplitudes supérieures a celles de la composante d'ordre 1 [20].

Un défaut d'alignement est révèlé par un pic d'amplitude prépondérante a , généralement, 2 fois la fréquence de rotation (parfois 3 ou 4 fois). Il apparaît une vibration dans la direction **radiale** de composante d'ordre 2 de la fréquence de rotation (rarement d'ordre 3, voire exceptionnellement d'ordre 4), avec des **amplitudes supérieures** aux composantes d'ordre 1 (figure 3.10) [20].

Le même phénomène se manifeste dans la direction axiale.

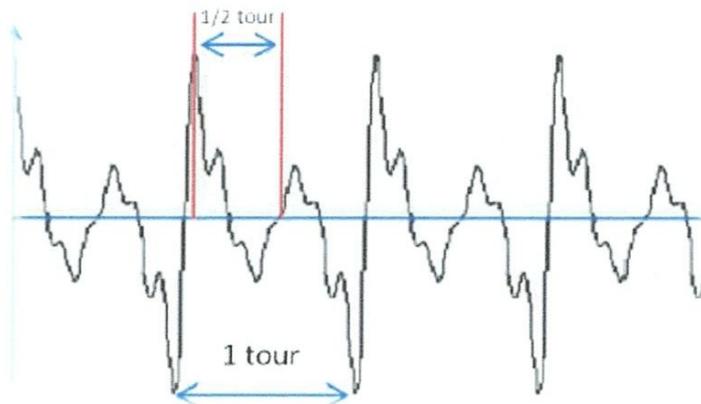


Figure 3.9. Signal temporel d'un défaut d'alignement

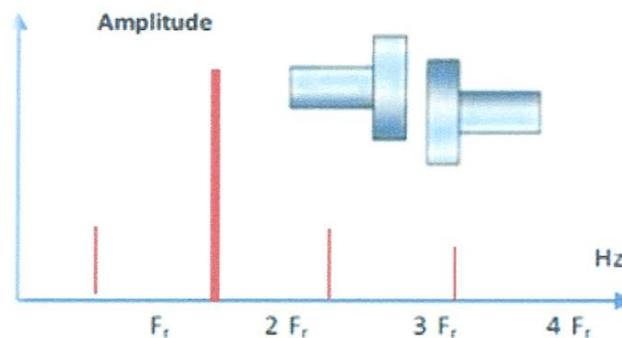


Figure 3.10. Image vibratoire d'un défaut d'alignement radial

b. Désalignement angulaire :

Il apparaît une vibration **axiale** de composante d'ordres 1, 2, 3 ou 4 de la fréquence de rotation avec des *amplitudes supérieures* à celles des composantes radiales correspondantes (figure 2.11).[20]

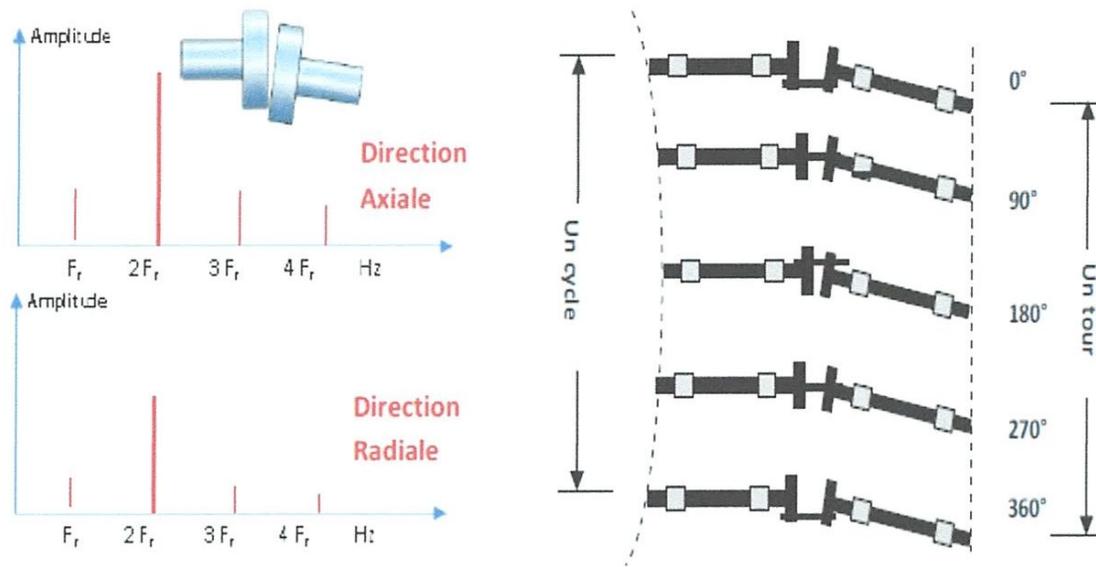


Figure 3.11. Images vibratoires d'un défaut d'alignement angulaire.

III.1.2.2. Désalignement des paliers :

Les axes des deux paliers d'un même corps de machine ne sont pas concentriques (figure 3.12). Cette anomalie peut être la conséquence d'un défaut de montage d'un palier, mais également d'un mauvais calage des pattes de fixation ou d'une déformation de châssis (par exemple à la suite de contraintes thermiques), qui se traduit par une flexion de l'arbre du rotor.

La manifestation spectrale de ce type de désalignement est identique à celle du désalignement angulaire.

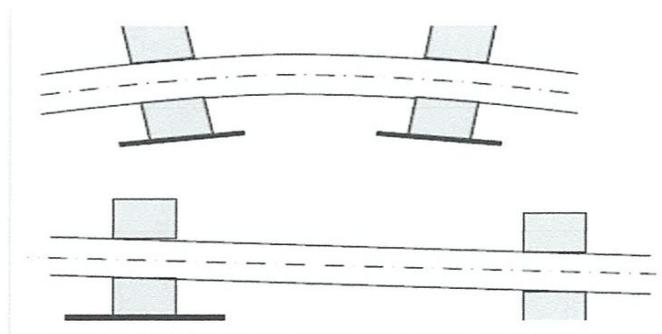


Figure 3.12. Désalignement de paliers se traduisant par une flexion de l'arbre

III.1.3. Défauts de serrage :

La (figure 3.13) montre le défaut causé par un mauvais serrage du moteur à la fondation ce qui peut engendrer un défaut d'excentricité et provoquer la destruction du roulement du aux vibrations mécaniques.

Pour éviter ce problème il faut réalisation un bon serrage mécanique de la machine [12].

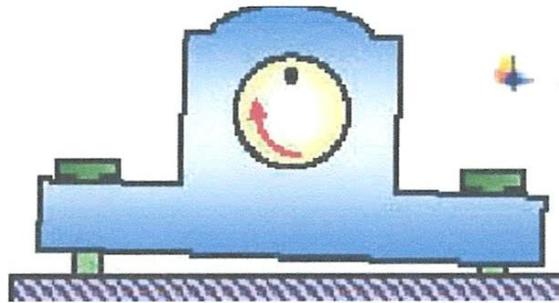


Figure 3.13. Défaut de serrage

III.1.4. Défaut de transmission par courroies :

Les principaux défauts rencontrés sur ce type de transmission sont liés à une détérioration localisée.

Le principal défaut rencontré sur ce type de transmission est lié à une détérioration localisée d'une courroie : partie arrachée, mauvaise pose, d'une usure ou par le défaut d'alignement des deux poulies, défaut de jointure (figure 3.14) [20].

Impliquant un effort ou un choc particulier à la fréquence de passage F_c de ce défaut définie par :

$$F_c = \frac{\pi D_1}{L} f_1 = \frac{\pi D_2}{L} f_2 \dots\dots\dots (3.1)$$

FC : fréquence de passage de la courroie.

D1 et **D2** : diamètres des poulies 1 et 2.

f1 et **f2** : fréquences de rotation des poulies 1 et 2.

L : la longueur de la courroie.

Les statistiques concernant les causes des défaillances et la localisation des défauts dans les machines tournantes permettent de conclure que les organes les plus sensibles sont les engrenages et les roulements [21].

✓ Le glissement mécanique de la courroie sur la poulie est de l'ordre de 2% à 5%. Si le glissement est plus important, une usure prématurée peut survenir.

✓ Une excentricité de poulie peut induire un phénomène vibratoire à la fréquence de rotation.

✓ La tension de la courroie est perceptible sur les niveaux de bruits des paliers équipés de roulements. La quantification du bruit de roulement aide à régler la tension de courroie.

✓ La principale cause d'usure de courroie est le délignage entre deux poulies.

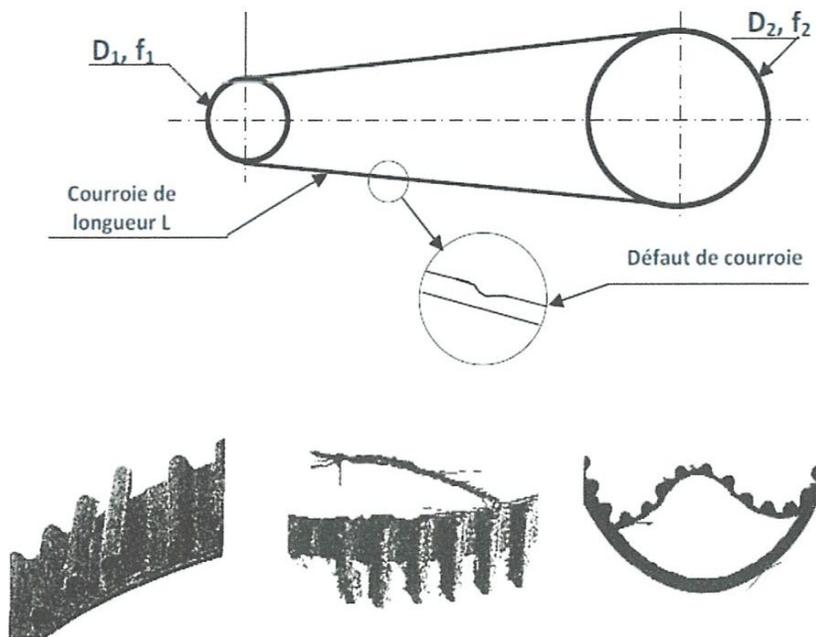


Figure 3.14 Défaut de courroie

III.1.4.1. Signature vibratoire :

L'image vibratoire donne un pic d'amplitude importante à la fréquence de passage des courroies, et ses harmoniques (figure 3.15) [20].

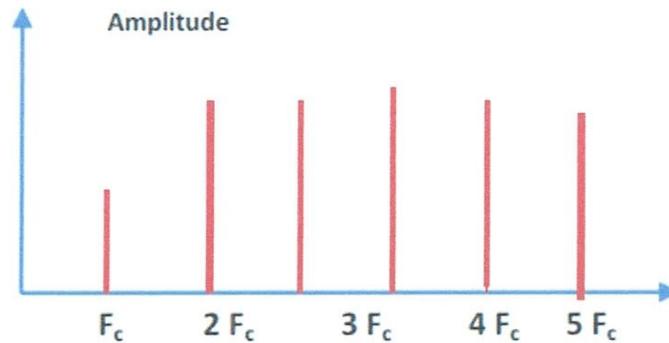


Figure 3.15. Image vibratoire théorique d'un défaut de transmission par courroie

Les figures 3.16 et 3.17 représentent les spectres des vibrations d'un palier qui guide un rotor sur lequel est montée une poulie : sans et avec courroie. La fréquence de rotation est de 29 Hz, la longueur de la courroie est 1060 mm et le diamètre de la poulie est de 78 mm [20]. D'après les spectres obtenus on constate que l'accélération est considérable pour le cas d'une poulie avec courroie, au fur et à mesure que la fréquence des vibrations augmente.

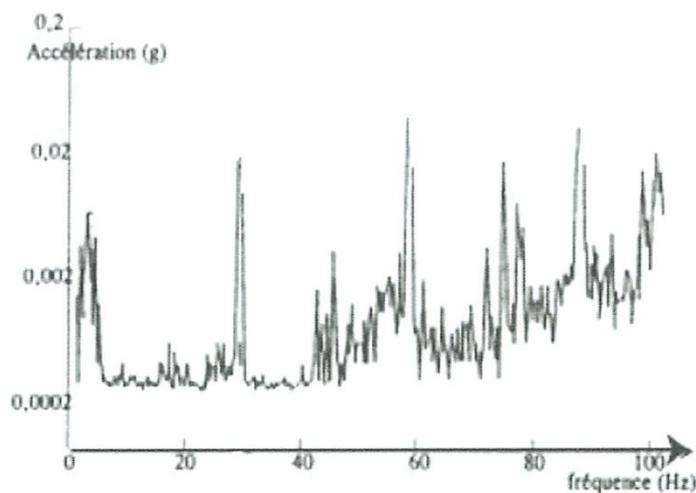


Figure 3.16. Spectre de vibration coté poulie sans la courroie.

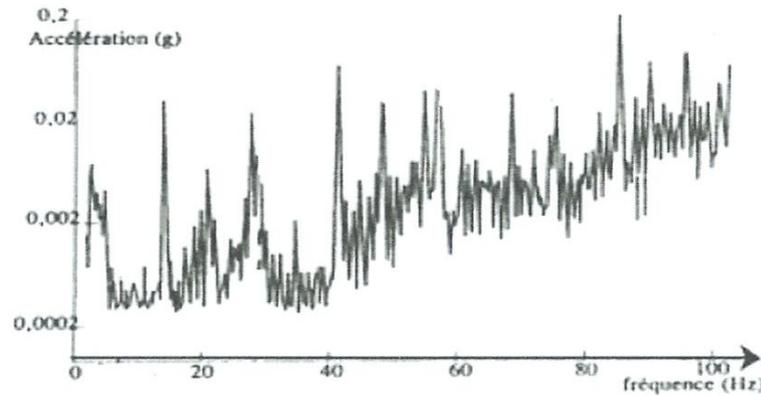


Figure 3.17. Spectre de vibration coté poulie avec la courroie.

III.1.5 Les défauts des engrenages :

Les statistiques concernant les causes de défaillances et la localisation des défauts dans les transmissions de puissance à engrenages permettent de conclure que les organes les plus sensibles sont les engrenages et les roulements.

Les principaux défauts survenant sur un couple d'engrenages d'un réducteur simple sont les défauts répartis sur toute la denture et les défauts localisés sur une partie de la denture.

Ces défauts sont liés aux dégradations de la denture (denture cassée ou abimée, usure uniforme ou non, pitting localisé ou réparti, mauvais centrage). On peut observer aussi du fretting (corrosion, frottement) qui se traduit par un enlèvement de métal lorsque l'engrenage est mal lubrifié et que les efforts sont importants.

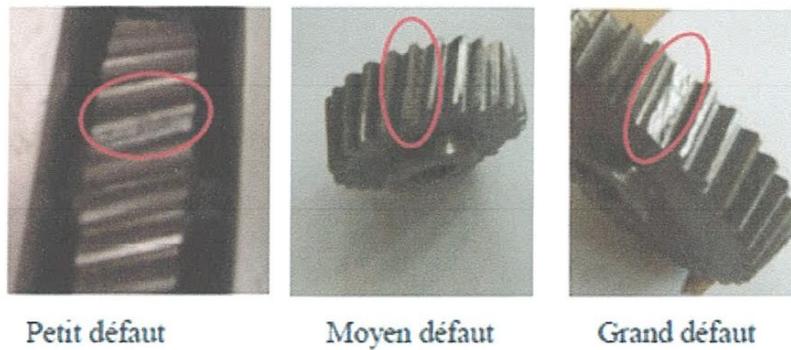


Figure 3.18. Défaut d'engrenage.

III.1.5.1 Fréquence d'engrènement :

Observons un engrenage, composé de deux roues dentées 1 et 2, présentant $Z1$ et $Z2$ dents et tournant aux fréquences $F1$ et $F2$. Chaque fois qu'une dent de la roue menant 1 s'engage dans la roue menée 2, il se produit une prise de charge périodique au rythme d'engagement des dents selon une fréquence d'engrènement F_e égale à la fréquence de rotation de la roue multipliée par son nombre de dents[20].

$$F_e = F1 \cdot Z1 = F2 \cdot Z2 \dots \dots \dots (3.2)$$

F_e : Fréquence d'engrènement.

$F1$ et $F2$: fréquences de rotations des roues 1 et 2

$Z1$ et $Z2$: Nombre des dents des roues 1 et 2.

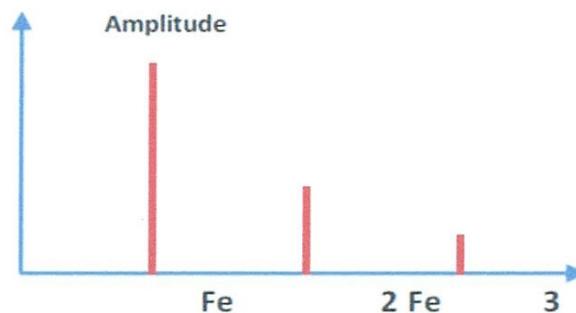


Figure 3.19. Image vibratoire d'un engrenage sain.

Si la denture est correcte, le spectre (figure 3.19), est constitué de composantes dont les fréquences correspondent à la fréquence d'engrènement ou à ses harmoniques.

III.1.5.2 Signatures vibratoires des défauts d'engrènement :

a. Détérioration d'une dent :

Si l'une des roues présente une dent détériorée, il se produit un choc dur, à chaque tour du pignon. Le spectre correspondant (figure 3.20) montre un peigne de raies dont le pas correspond à la fréquence de rotation du pignon détérioré s'étalant jusqu'aux hautes fréquences. La figure 3.22 montre l'exemple d'un spectre réel de ce type de défaut [20].

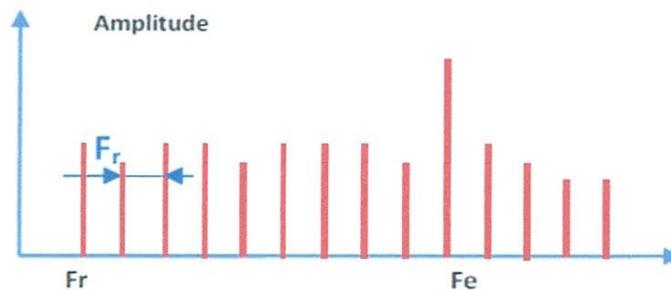


Figure 3.20. Image vibratoire théorique d'un engrenage présentant une dent détériorée

b. Détérioration de l'ensemble de dentures

Lorsque l'ensemble de la denture est usé ou détérioré, les chocs se produisent au passage de chacune des dents. Le spectre est constitué d'un peigne de raies dont la fréquence correspond à la fréquence d'engrènement, mais cette fois avec une amplitude beaucoup plus élevée (figure 3.21). Le spectre peut présenter des raies à la fréquence de rotation correspondant à des équilibrages imparfaits [20].

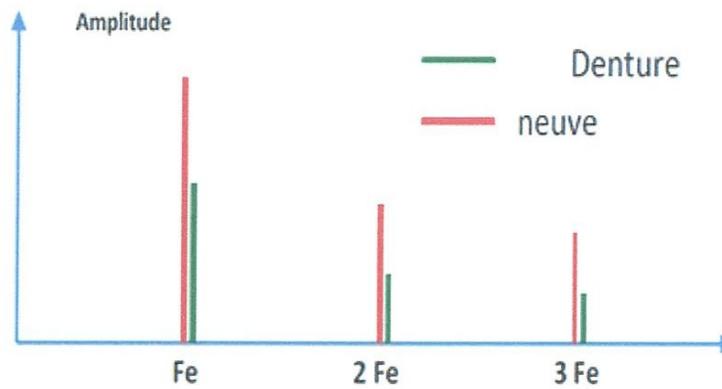


Figure 3.21. Image vibratoire théorique d'une denture

III.1.6 Les défauts de roulements :

Les roulements à bille jouent un rôle très important dans la machine asynchrone comme tout type de machines tournantes, les défauts de roulements peuvent être provoqués par un mauvais choix de matériau au cours de la fabrication, les problèmes de rotation au sein de la culasse du roulement, causés par un roulement abîmé, écaillé ou fissuré, peuvent créer des perturbations au sein de la machine, le graisse de lubrification qui garantit une bonne rotation en minimisant les effets des frottements, peut se rigidifier et causé une résistance à la rotation.

Les roulements défectueux génèrent des vibrations de fréquences égales aux vitesses de rotation de chaque pièce du roulement. Ils correspondent notamment à la rotation des billes, des rouleaux ou de la cage et au passage des billes sur les bagues.

Pour chaque type de roulement et en fonction de ses cotes de fabrication [figure 3.22], on peut considérer les fréquences caractéristiques données par les formules ci-dessous [20].

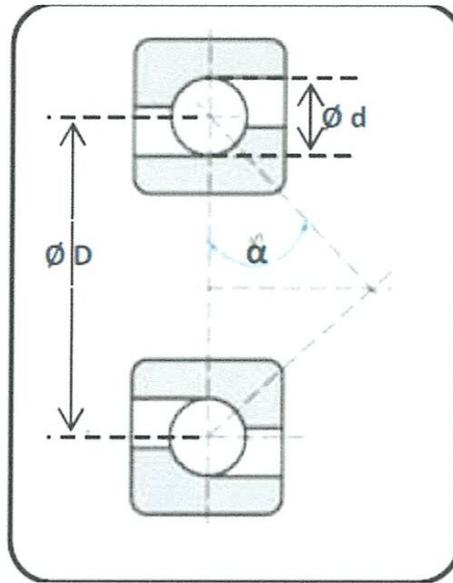


Figure 3.22. Caractéristiques géométriques d'un roulement

- n : le nombre d'éléments roulants (billes, rouleaux ou aiguilles),
- D : le diamètre primitif,
- d : le diamètre des éléments roulants,
- α : angle de contact,
- $r F$: la fréquence de rotation de la bague interne (la bague externe étant supposée fixe).

Ainsi, nous avons :

- La fréquence de passage d'un élément roulant sur un défaut de bague extérieure ($F_{b \text{ ext}}$), est donnée par l'équation suivante:

$$F_{b \text{ ext}} = 0,5 F_r n \left[1 - \left(\frac{d}{D} \cos \alpha \right) \right] \dots\dots\dots (3.3)$$

- La fréquence de passage d'un élément roulant sur un défaut de bague intérieure, supposée montée sur l'arbre tournant, " $F_{b \text{ int}}$ " est donnée par l'équation suivante :

$$F_{b \text{ int}} = 0,5 F_r n \left[1 + \left(\frac{d}{D} \cos \alpha \right) \right] \dots \dots \dots (3.4)$$

• La fréquence de passage d'un défaut de cage " F_{cage} ", est donnée par l'équation suivante:

$$F_{\text{cage}} = 0,5 F_r \left[1 - \left(\frac{d}{D} \cos \alpha \right) \right] \dots \dots \dots (3.5)$$

$$\text{Donc } F_{\text{cage}} = F_{b \text{ int}}/n$$

• La fréquence de passage d'un défaut de bille (ou de rouleau) sur la bague externe ou sur la bague interne " F_{bille} " est donnée par l'équation suivante:

$$F_{\text{bille}} = 0,5 F_r \frac{D}{d} \left[1 - \left(\frac{d \cos \alpha}{D} \right)^2 \right] \dots \dots \dots (3.6)$$

• Un défaut situe sur une bille entre en contact avec la bague intérieure ainsi qu'avec la bague extérieure a chaque révolution de la bille. La fréquence du défaut sera donc :

$$2F_{\text{bille}} = F_r \frac{D}{d} \left[1 - \left(\frac{d \cos \alpha}{D} \right)^2 \right] \dots \dots \dots (3.7)$$

III.1.6.1 Signatures vibratoires des principaux défauts :

a) Défaut de type écaillage affectant la bague externe :

Un défaut de type écaillage affectant la bague externe d'un roulement a pour image vibratoire un peigne de raies dont le pas correspond a la fréquence du défaut. à chaque *composante* de ce peigne, est associée une paire de bandes latérales espacées de la fréquence de rotation, en cas de charge dynamique importante (figure 3.23) [20].

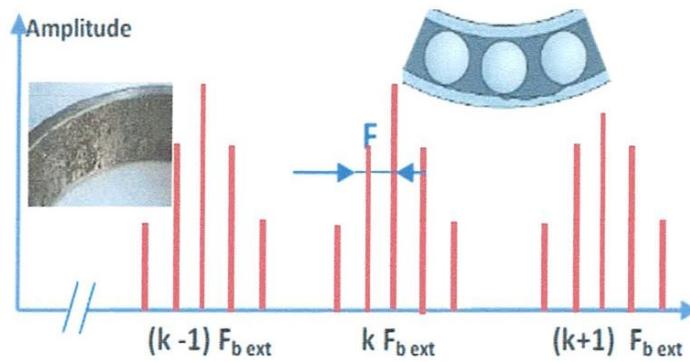


Figure 3.23. Image vibratoire théorique d'un défaut de type écaillage sur bague extérieure

a) Défaut de type écaillage affectant la bague interne :

Un défaut de type écaillage affectant la bague interne de roulement a pour image vibratoire un peigne de raies. à chaque composante de ce peigne, sont associées plusieurs paires de bandes latérales espacées de la fréquence de rotation (figure 3.24) [20].

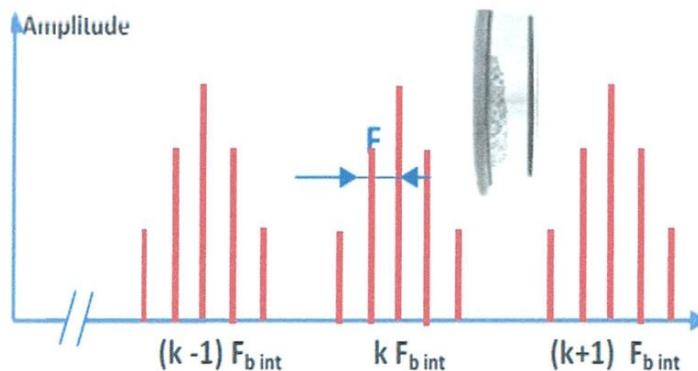


Figure 3.24. Image vibratoire théorique d'un défaut de type écaillage sur bague intérieure

b) Défaut de type écaillage sur un élément roulant :

Un défaut de type écaillage sur un élément roulant (bille, rouleau ou aiguille) a pour image vibratoire un peigne de raies. A chaque composante de ce

peigne, sont associées plusieurs paires de bandes latérales espacées de la fréquence de la cage (figure 3.25) [20].

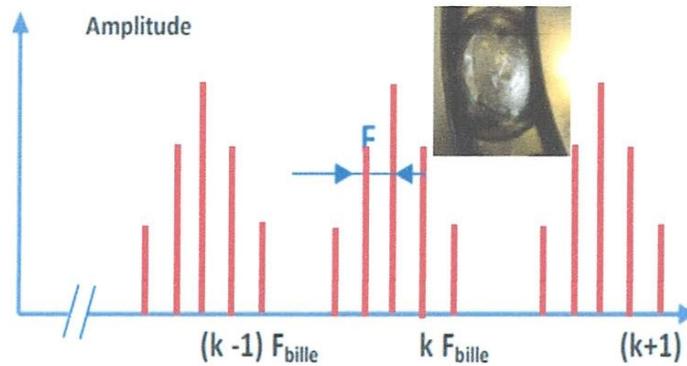


Figure 3.25. Image vibratoires théoriques d'un défaut de type écaillage sur un élément roulant

d) Défauts de type déversement de bague

Le défaut de type déversement de bague extérieure (figure 3.26) s'exprime par une composante fondamentale d'amplitude élevée dont la fréquence correspond à la fréquence du défaut de la bague déversée, et par des composantes d'ordre supérieur d'amplitude très faible (figure 3.27) [20].

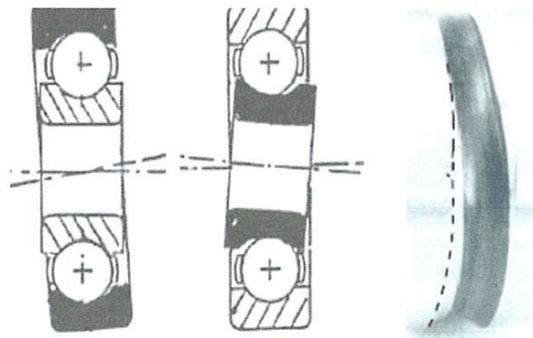


Figure 3.26. Défaut de déversement des bagues d'un roulement.

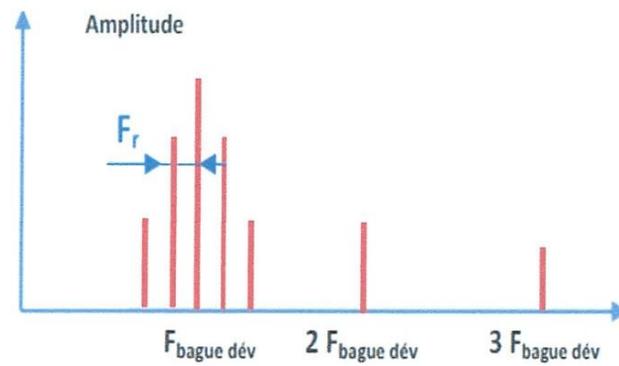


Figure 3.27. Image vibratoires théoriques d'un défaut de type déversement de bague

III.1.7 Les défauts d'excentricités :

Parfois, la machine électrique peut être soumise à un décentrement du rotor qui se traduit par des oscillations de couple (décalage entre le centre de rotation de l'arbre et le centre du rotor). Ce phénomène est appelé excentricité dont l'origine peut être liée à un positionnement incorrect des paliers lors de l'assemblage, à un défaut roulement (usure), à un défaut de charge, ou à un défaut de fabrication (usinage) [22].

L'excentricité se répartie en deux catégories. Excentricité statique et excentricité dynamique. L'excentricité statique se distingue par le fait que le centre du rotor n'est pas égal à celui du stator. L'excentricité dynamique fait que le centre du rotor tourne autour du centre du stator.

Trois cas d'excentricité sont généralement distingués :

➤ L'excentricité statique (Figure 3.28a) dans laquelle le rotor est déplacé au centre de l'alésage mais tourne toujours autour de son axe. Ce défaut peut avoir comme origine un problème d'assemblage ou une légère forme ovale du stator et/ou du rotor.

- L'excentricité dynamique (Figure 3.28b) dans laquelle le rotor est positionné au centre de l'alésage mais ne tourne plus autour de son axe.
- L'excentricité mixte (Figure 3.28c) est la combinaison des excentricités statique et dynamique. Dans la plupart des cas, on observe cette forme d'excentration.

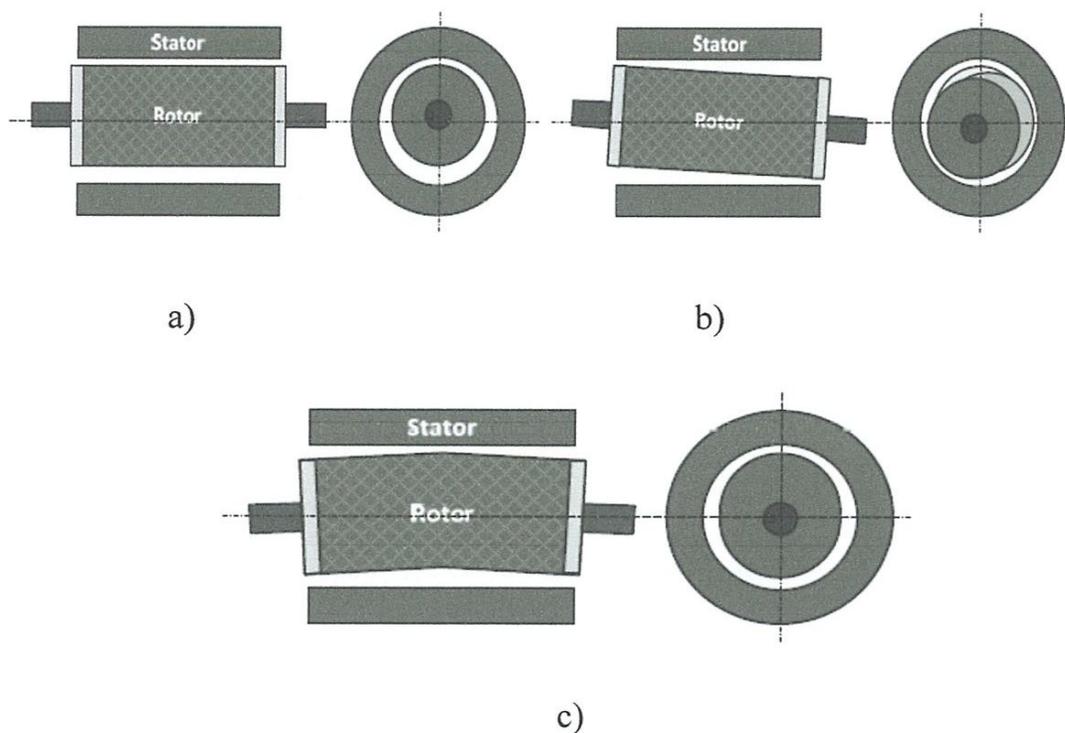


Figure 3.28. Types d'excentricité : a) statique ; b) dynamique ; c) mixte.

Conclusion :

Dans ce chapitre, nous avons présenté les différents types de défauts mécaniques et leurs signatures, apparaissant dans les machines asynchrones triphasées. Ces défauts sont classés en deux catégories: interne et externe, les défauts internes sont provoqués par les constituants de la machine (roulement,

excentricité,.....) et les défauts externes sont provoqués par les liens externes (courroies, désalignement,.....).

Bien que ces défauts ne sont pas des défauts électriques, mais ils ont un effet significatif sur les performances de la machine, le rythme de travail, le temps et la qualité de production. Donc on doit faire attention aux défauts électriques et mécaniques pour assurer un bon fonctionnement de la machine.

Conclusion générale

CONCLUSION GENERALE

Les conditions de succès techniques et économiques de l'industrie sont aujourd'hui très liées à la qualité et à la sûreté de fonctionnement des procédés industriels, car il n'y a pas de plus défavorable qu'un défaut qui apparaît en cours de fonctionnement des machines, et auquel le système de protection ne réagit pas. Pour résoudre ce problème, ceci a nécessité le développement d'une étude de sûreté de fonctionnement des systèmes industriels complexes, et des méthodes ont rendu obligatoire une approche transverse qui fédère toutes les compétences de l'entreprise. Le diagnostic est devenu ainsi et au cours de ces dernières années, l'un des éléments essentiels des outils de production, léger à traiter.

Le diagnostic en temps réel est une solution qui pourrait cerner rapidement l'anomalie à condition de faire appel à l'analyse de tous les symptômes manifestés par un système de surveillance performant.

Pour aborder l'étude, nous avons donné une description succincte de la machine asynchrone triphasée. Puis nous avons présenté quelques concepts de la liaison mécanique de la machine asynchrone avec le mécanisme entraîné, pour transmettre une puissance. De ce fait, tout défaut dans la liaison mécanique conduit à l'échec de la machinerie et sa dégradation.

D'après l'étude statistique des défauts, nous avons constaté que les défauts mécaniques des moteurs électriques de grande puissance, sont plus fréquents que les défauts électriques et ils ont un impact important sur la productivité et le rendement.

Les méthodologies de diagnostic utilisées sont de trois types : méthodes de connaissances, méthodes de redondances analytiques et méthodes par modélisation de signaux.

Les défauts électriques sont répartis en trois catégories: les défauts due au réseau d'alimentation, les défauts statoriques et les défauts rotoriques.

Les défauts mécaniques, apparaissant dans les machines asynchrones triphasées, sont classés en deux catégories: interne et externe, les défauts internes sont provoqués par les constituants de la machine (roulement,

excentricité,.....) et les défauts externes sont provoqués par les liens externes (courroies, désalignement,.....).

Bien que ces défauts ne sont pas des défauts électriques, mais ils ont un effet significatif sur les performances de la machine, le rythme de travail et le temps et la qualité de production. Donc on doit faire attention aux défauts électriques et mécaniques pour assurer un bon fonctionnement de la machine.

Bibliographie

Bibliographie :

- [1] Christophe. Palermo «Le moteur asynchrone triphasé» Université Montpellier 2 2008-2009
- [2] Philippe LE BRUN Technologie, « choix et alimentation des machines asynchrones » Lycée Louis ARMAND _ Strasbourg
- [3] Construction Mécanique « les accouplements ». ?
- [4] Laurent .Teillard « Transmission par chaines et courroies ». Paris
- [5] Engrenages coniques ?
- [6] Dominique. Dubuis ; « Transmission de puissance par engrenages » .Verdun
- [7] Andrian Ceban « Methode globale de diagnostic des machines electriques »
LILLE de nord de France 2012
- [8] Vikidia Portail des techniques .Paris
- [9]BABAK VASEGHI «Contribution a l'étude Des Machines Electriques En Présence De Défaut Entre » Spires Nancy_2009_
- [10] BELHAMDI Saad « Diagnostic des défauts de la machine asynchrone contrôlée par différents techniques de commande » Thèse de docteur Biskra 2014.
- [11] JAWAD AHMED FAROOQ « Etude du problème inverse en électromagnétisme en vue de la localisation des défauts de désaimantation dans les actionneurs à aimants permanents » Belfort_ Montbéliard 2008
- [12] Bouras Abdelkarim « Détection Prédictive des Anomalies des Moteurs de Moyenne Tension lors des Défauts Combinés ». Thèse de docteur Annaba 2014_2015

[13] Bonnett A. H, Yung C., « Increased efficiency versus increased reliability », IEEE Industry Applications Magazine, p.1077-2618, 2009.

[14] Thorsen O.V., Dalva M., « A survey of fault on induction motors in oil industry, petrochemical industry, gas terminals, and oil refineries », IEEE Industry Applications Magazine, vol.31, n5, Septembre 1995.

[15] R. Casimir, « Diagnostic des défauts des machines asynchrones par reconnaissance des formes » Thèse de l'Ecole Centrale de Lyon, CEGELY. 2003.

[16] Didier G., « Modélisation et diagnostic de la machine asynchrone en présence de défaillances » Thèse de Doctorat, Université Henri Poincaré, Nancy-I, France, 2004.

[17] MEDOUED AMMAR « Surveillance et diagnostic des défauts des machines électriques : Applications aux moteurs asynchrones » skikda 2012

[18] Abla Bouguerne « Diagnostic automatique des défauts des moteurs asynchrones » thèse de magister 2009 Constantine.

[19] A. Bouzida, O. Touhami et R. Abdelli « Application de la technique des ondelettes au diagnostic de défauts de la machine asynchrone à rotor à cage »
Revue des Energies Renouvelables Vol. 17 N°4 (2014) 549 – 557

[20] Landolsi Foued « Etude des principaux défauts »

[21] « Analyse vibratoire des machines tournantes » DTCT.A.05.09/SFO/001/
Rev.C-12/07/06.

[22] Mohamed Arhoujdam « détection des défauts électriques et mécaniques dans les machines asynchrone par l'analyse du courant statique » thèse de licence 2014 Maroc