

République Algérienne Démocratique et Populaire
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la
Recherche Scientifique Université A. Mira – BEJAIA



Faculté de Technologie
Département de Génie Électrique

Mémoire

Présente en vue de l'obtention du diplôme de Master en
Electromécanique

Option

Electromécanique

Préparé par :

Mr KESSOURI Bourhane

Mr KANIN Hakim

Thème

*Diagnostic d'un Système Multi-source
à base d'énergie renouvelable*

Proposé et dirigé par :

Mr TAMALOUZT Salah

M^{me} BOUHAFS Lina

Promotion 2021/2022

Remerciements

Nous tenons tout d'abord à remercier ALLAH tout puissant pour nous avoir guidés et aidés durant toute notre vie et durant ce travail.

*Nous tenons aussi à remercier vivement notre promoteur **Mr TAMALOUZT***

***Salah** pour son encadrement, ses conseils et sa disponibilité.*

*Nous remercions également particulièrement **Madame Bouhafs Lina** pour nous avoir suivi jusqu'à la fin de notre travail, et nous remercions aussi tous les enseignants qui ont contribué à assurer notre formation durant tout notre cycle universitaire.*

Dédicaces

Je dédie ce modeste travail

*A mes très chers parents pour toute l'aide qu'ils n'ont
cessé de me donner, pour que je puisse réussir.*

A Mes frères

A Toute ma famille

A Tous mes amis et tous ceux que je connais qui m'ont souhaité la réussite.

K.bourhane

Dédicaces

Je dédie ce modeste travail d'abord à mes très chers parents, pour leurs soutiens, leurs encouragements, leurs sacrifices, eux qui m'ont guidé durant toutes mes années d'études vers le chemin de la réussite.

A mes chers parents : pour tous les efforts consentis pour m'assurer une bonne éducation.

A Tous mes amis.

K.Hakim

Résumé

Le domaine de production de l'électricité à partir des sources d'énergies renouvelables est en progrès continu, et les systèmes éoliens de leurs parts suivent cette tendance, et ils ont connu un développement révolutionnaire pendant les dix dernières années. Similairement à tous les systèmes industriels, les éoliennes sont fréquemment exposées aux défaillances menant à une panne ou à un endommagement affectant leurs bons fonctionnements. Dans ce mémoire une approche de diagnostic de défauts basée sur les techniques de diagnostic classiques appliquée, afin de détecter et d'isoler les différents défauts dans un système éolien.

SOMMAIRE

Introduction générale	01
Chapitre I : Généralités sur le diagnostic des systèmes multi-source à énergie renouvelable.	
I.1 Introduction	03
I.2 Généralités sur les systèmes multi-source à énergie renouvelable	03
I.2.1 Système photovoltaïque.....	04
I.2.1.1 Avantages et inconvénients de l'énergie photovoltaïque	05
I.2.1.2 Différents défauts dans le système photovoltaïque	05
I.2.2 Système éolien	06
I.2.2.1 Avantages et inconvénients de l'énergie éolienne	07
I.2.2.2 Système éolien basé sur une MADA	08
A. MADA à rotor bobiné.....	08
I.3 Quelques concepts utiles	09
I.4 Détection et localisation des défauts	09
I.4.1 Diagnostic	09
I.4.2 Etapes du diagnostic	10
I.4.3 Approche de diagnostic	11
I.4.3.1 Approche modèle	11
I.4.3.2 Approche signal	11
A. Transformée de Fourier rapide (FFT)	11
B. Transformée de Hilbert	12
I.4.3.3 Approche basé sur la connaissance	12
I.5 Différentes défaillances au niveau de MAS	13
I.5.1 Différents défaillances électrique	14
I.5.1.1 Défauts rotoriques	14
A. Défaut rupture de barre	14
B. Défaut d'anneaux	14
I.5.1.2 Défauts statoriques	15
A. Défaut d'isolation dans un enroulement	15
B. Court-circuit entre spires	16

C. Court-circuit entre phases	16
I.5.2 Défaillances mécanique	18
I.5.2.1 Défaut de roulement à billes	18
I.5.2.2 Défauts d'excentricité.....	20
I.5.2.3 Défauts Balourd	21
I.5.3 Différents défauts d'une machine à rotor bobiné	22
I.6 Classification des défaillances	22
I.6.1 Classification des défaillances par causes	22
1- Défaillances aléatoires	22
2- Défaillances systématiques.....	23
I.6.2 Classification des défaillances en fonction de leur impact	23
1- Défaillances intermittentes.....	23
2- Défaillances entendues.....	23
I.7 Différentes défaillances au niveau de la turbine éolienne	24
A. Défauts de systèmes d'engrenages	24
A.1. Défauts généralisés	26
A.2. Défauts localisés	26
I.8 Conclusion	27
Chapitre II : Etude et analyse d'une MAS dans le cas d'un déséquilibre électrique au rotor	
II.1 Introduction	28
II.2 Modèle mathématique	28
II.3 Description de l'expérience	29
II.4 Résultats de l'analyse des composantes fréquentielles	30
II.4.1 Le courant statorique	30
II.4.2 Puissance électrique	33
II.5 Conclusion	35
Chapitre III : Etude et analyse de la boîte à vitesse d'une turbine éolienne	
III.1 Introduction	36
III.2 Description de l'expérience	37
III. 3 Résultats de l'analyse des composantes fréquentielles	37
III.3.1. Cas d'engrenage sain	38

III.3.2 .Cas d'engrenage défectueux	39
III.5 Conclusion	41
Conclusion générale	42

Liste des Tableaux

Tableau (I-1) : Principaux défauts et anomalies rencontrés dans un générateur PV.

Tableau (I-2) : Différents défauts d'une machine à rotor bobiné.

Table des figures

Figure I.1. Présentation d'un système photovoltaïque.....	04
Figure I.2 : Présentation d'un système éolien.....	07
Figure I-3. Schéma de rotor de la MADA à rotor bobiné.....	08
Figure I.4 : Présentation des étapes de diagnostic.....	10
Figure I.5. Représentation temporelle vers fréquentielle.....	12
Figure I.6 : Répartition des défauts.....	13
Figure I.7. Représentation des défauts statoriques possibles dans la MAS.....	15
Figure I.8. Différents défauts statoriques de la machine asynchrone.....	17
Figure I.9 : Répartition des causes des défauts pour une machine asynchrone.....	17
Figure I.10 : Dimension du roulement à bille.....	18
Figure I.11, Vue des roulements sains et défectueux.....	19
Figure.I.12 : Moteur asynchrone avec rotor excentrique.....	20
Figure I.13 : Balourd de masse d'un rotor.....	21
Figure I.14. Distributions de nombre de défaillances en comparant avec les temps d'arrêt par composant	24
Figure I.15. Défauts d'engrenages.....	25
Figure II.1 : Schéma d'expérience sur le banc d'essai et ces instruments.....	30
Figure II.2 : Spectres de courant statorique pour différents pourcentage de défaut à une vitesse 1560.....	31
Figure II.3 : Spectres de courant statorique pour différents pourcentage de défaut à une vitesse 1590.....	31
Figure II.4 : Spectres de l'enveloppe du courant statorique pour différents pourcentage de défaut à 1560.....	32
Figure II.5 : Spectres de l'enveloppe du courant statorique pour différents pourcentage de défaut à 1590	33
Figure II.6 : Spectre de la puissance électrique pour différents pourcentage de défaut à une vitesse 1560.....	34
Figure II.7 : Spectre de la puissance électrique pour différents pourcentage de défaut à une vitesse 1590.....	34
Figure III.1 : Banc expérimental de Peter Rig	37
Figure III.2 : Signal temporel d'un engrenage sain.....	38
Figure III.3 : Signal fréquentiel d'un engrenage sain.....	38
Figure III.4 : Signal d'enveloppe d'un engrenage sain.....	39
Figure III.5 . Signal temporel d'un engrenage avec défaut.....	39
Figure III.6. Signal fréquentiel d'un engrenage avec défaut.....	40
Figure III.7. Spectre d'enveloppe, en présence d'un défaut.....	40

Liste des abréviations

PV	Système photovoltaïque.
MADA	Machine asynchrone à double alimentation.
GADA	Génératrice asynchrone à double alimentation.
MAS	Machine asynchrone.
FFT	Transformée de Fourier Rapide.
HT	Transformé de Hilbert.
$x(t)$	Le signal.
f_{rot}	Fréquence de rotation.
nb	Nombre des billes du roulement.
nb	Le nombre de barres rotoriques.
nd	Le nombre d'ordre d'excentricité.
p	Le nombre de paires de pôles.
v	L'ordre des harmoniques de temps de la F.M.M.
p	Nombre de pair de pôles.
s	Glissement.
f	Fréquence d'alimentation.
f_r	Fréquence de rotation mécanique.
r	Rapport de vitesse deux roues.
Z_1	Nombre de dents de pignon.
Z_2	Nombre de dents de la roue.
f_e	Fréquence d'engrènement.

g	Glissement du moteur.
f_s	Fréquence des courants statoriques.
U	Valeur du balourd.
m	Masse de déséquilibre.

Introduction générale

Actuellement, le monde voudrait un très haut niveau de développement d'exploitation et de production d'énergies. Également, la consommation énergétique mondiale a évolué en rapport au développement industriel et aux multi-besoins domestiques, elle ira en s'amplifiant en ayant pour causes, l'invention des nouveaux appareils et de l'augmentation de la population mondiale.

La pollution des énergies fossiles, le danger du nucléaire et les perturbations climatiques de plus en plus dévastatrices ont poussés les chercheurs à trouver d'autres sources d'énergies renouvelables, ces dernières sont celles qui vont s'imposer bientôt à l'échelle planétaire [1].

L'une d'elles est l'énergie éolienne qui dépend de la force du vent, apporte une réponse viable aux problèmes environnementaux, dont les coûts sont proches de ceux des sources d'énergie traditionnelles. En effet, l'énergie potentielle des masses d'air en mouvement représente, au niveau mondial, un gisement considérable. Toutefois, les unités de production d'énergie par éoliennes deviennent des systèmes de plus en plus complexes qui nécessitent une automatisation de plus en plus développée ainsi qu'une supervision très stricte pour obtenir un bon rendement énergétique [2].

La surveillance de l'état de ces systèmes devient très sensible pour les constructeurs et les utilisateurs. La détection précoce d'un défaut est nécessaire pour permettre au personnel d'anticiper sur la maintenance avant la panne qui induirait des pertes financières importantes pour l'entreprise. Le moyen le plus efficace de réduire ces coûts serait de surveiller en permanence l'état de ces générateurs éoliens.

La surveillance de ces machines, s'appuie essentiellement sur l'extraction d'informations révélatrices des conditions de dégradation rencontrées. Dans ce contexte, plusieurs sources d'information ont été explorées et expérimentées, avec plus ou moins d'efficacité. Parmi lesquelles nous pouvons citer l'analyse vibratoire [3].

C'est dans ce contexte que nous allons citer deux méthodes d'analyse du signal classées en deux catégories : les méthodes classiques, dont on cite l'analyse de Fourier et les méthodes avancées où l'on retrouve l'analyse en ondelettes. Ces méthodes sont utilisées pour la détection et le diagnostic des défauts mécaniques et électriques d'une éolienne, qui sont principalement liés aux engrenages à la génératrice asynchrone.

Ce mémoire est organisé en trois chapitres :

Dans le premier chapitre nous allons présenter un aperçu sur le concept de diagnostic d'un système ainsi que ses techniques et une étude sur les défauts qui peuvent affecter le fonctionnement d'une machine asynchrone, et une boîte à vitesse au niveau de ces engrenages.

Le deuxième chapitre concernera la simulation de différents signaux, qui reflètent une surveillance d'une génératrice à différentes vitesses pour une phase déséquilibrée, à l'aide d'analyse des composantes fréquentielles par le suivi des amplitudes des harmoniques de deux grandeurs électriques (le courant électrique et la puissance électrique).

Le troisième chapitre sera réservé à la surveillance d'un engrenage par l'analyse vibratoire dans son état de fonctionnement, qui sera fondé sur une méthode d'analyse appliquée sur un signal mesuré. Pour détecter la présence d'un défaut nous allons utiliser une technique d'analyse spectrale pour l'interprétation de ce spectre.

Enfin, ce travail sera terminé par une conclusion générale.

Chapitre I :
Généralités sur le diagnostic des
 systèmes multi-source à énergie
 renouvelable

I.1 Introduction

Les systèmes dynamiques complexes ont posés un souci relatif à leurs surveillance, cette opération est nécessaire pour éviter les pannes et aussi pour augmenter la productivité du système. Pour cela, un module de diagnostic de défauts est nécessaire, non seulement pour améliorer les performances et la productivité des systèmes, mais aussi pour limiter les conséquences des pannes qui pourraient être catastrophiques notamment sur le plan des biens et des vies humaines [4].

Dans ce chapitre, on présentera une étude sur les systèmes multi-sources à énergie renouvelable et la distribution des différentes défaillances sur les éléments de l'éolienne, ensuite nous effectuerons une présentation des différents défauts pouvant survenir sur chacun de ces éléments ; (génératrice asynchrone et boîte à vitesse) en citant leurs causes et leurs effets sur le comportement de la machine. Et nous rappellerons brièvement les techniques de base couramment utilisées pour la détection et le diagnostic des divers défauts.

I.2 Généralités sur les systèmes multi-sources à énergie renouvelable

Ce sont des ressources naturelles permanentes et inépuisables disponibles dans la nature, qu'elles soient limitées ou illimitées, mais elles sont constamment renouvelables, propres et non polluantes de l'environnement. Par ordre d'importance ce sont : l'énergie solaire, le vent, les vagues, l'énergie géothermique, la photovoltaïque et l'hydroélectricité des mers et des océans.

Le système étudié dans notre travail est basé sur un système éolien à vitesse variable et photovoltaïque pour la production d'électricité, lié aux systèmes de distribution vers l'utilisation générale de l'énergie.

I.2.1 Système photovoltaïque

Les systèmes photovoltaïques, qui convertissent directement le rayonnement solaire en électricité, présentent beaucoup d'avantages. Ils sont non polluants, silencieux et sans pièces rotatives. Les avantages environnementaux et la modularité des systèmes photovoltaïques, ont permis l'expansion de leur utilisation pour remplacer l'électricité produite par les moyens classiques et polluants, permettent ainsi à produire de l'électricité là où elle n'est pas disponibles. Le système photovoltaïque de manière générale se compose d'un simple montage de différents dispositifs, comme indiqué dans la figure (I.1) suivante :

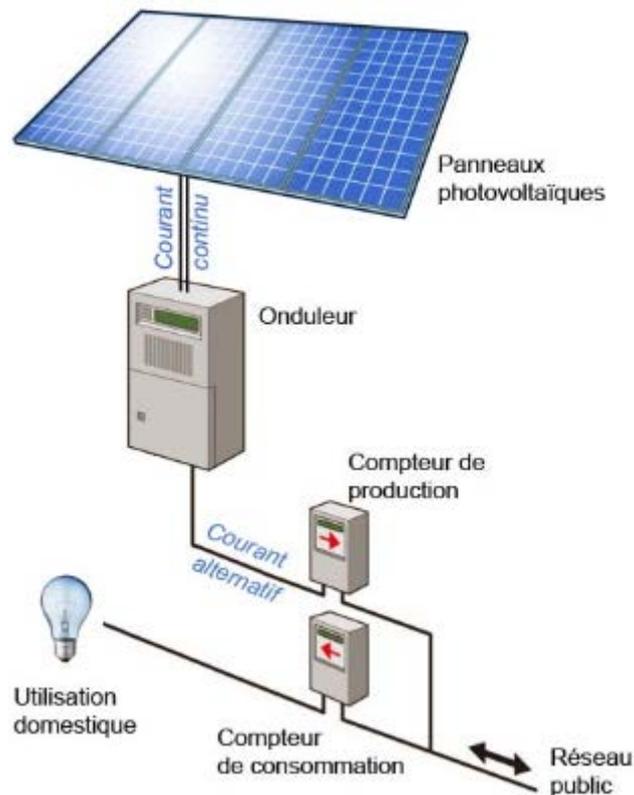


Figure I.1 : Présentation d'un système photovoltaïque [5].

I.2.1.1 Avantages et inconvénients de l'énergie photovoltaïque

Le système photovoltaïque présente un certain nombre d'avantages et inconvénients [5] :

Avantages ;

- ✓ Renouvelable ;
- ✓ Préserve l'environnement ;
- ✓ Disponibilité permanente.

Inconvénients ;

- ✓ Coût d'équipement élevé ;
- ✓ Tributaire de la météo ;
- ✓ Il faut beaucoup d'espace pour installer les toitures.

I.2.1.2 Différents défauts dans le système photovoltaïque

Au cours de son fonctionnement, une installation PV peut être éventuellement soumise à différents défauts et conditions de fonctionnement anormales.

Nous décrivons dans cette partie les différents défauts et anomalies associés aux différents composants dans un générateur photovoltaïque (Tableau I-1) [6].

Tableau I-1 : Principaux défauts et anomalies rencontrés dans un générateur PV [6].

Eléments du générateur PV	Origines de défauts et d'anomalies
Générateur PV	<ul style="list-style-type: none">- Détérioration des cellules, fissure, échauffement des cellules- Pénétration de l'humidité, dégradation des interconnexions, corrosion des liaisons entre les cellules.- Module cassé,- Modules court-circuités,
Boîte de jonction	<ul style="list-style-type: none">- Rupture du circuit électrique.- Court-circuit du circuit électrique.- Destruction de la liaison.- Corrosion des connexions.
Câblage et connecteur	<ul style="list-style-type: none">- Circuit ouvert.- Court-circuit.- Mauvais câblage.- Corrosion des contacts.- Rupture du circuit électrique.
Diode de protection.	<ul style="list-style-type: none">- Destruction des diodes.- Absence ou non fonctionnement de diodes.- Diode mal connectée.

I.2.2 Système éolien

Un aérogénérateur, appelé éolienne, transforme l'énergie cinétique disponible dans le vent en énergie mécanique puis électrique. Le système éolien se compose par des pâles qui tournent à une vitesse variable selon celle du vent, entraînant ainsi son induit dans l'inducteur générant par ce fait de l'électricité, la figure (I.2) suivante indique les différents organes de l'éolienne.

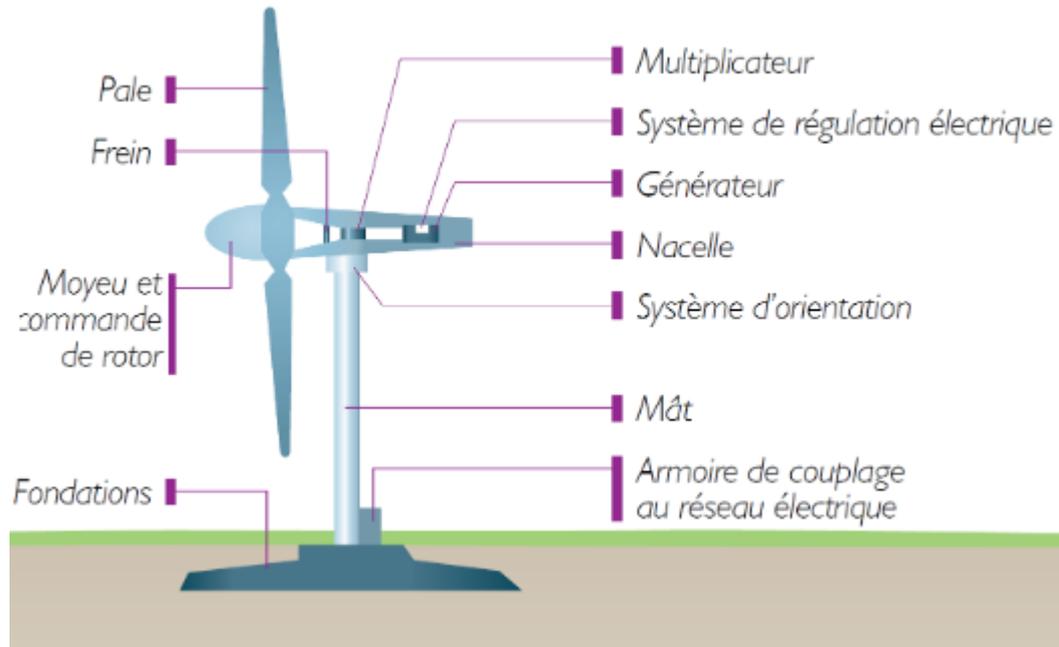


Figure I.2 : Présentation d'un système éolien [7].

I.2.2.1 Avantages et inconvénients de l'énergie éolienne

L'énergie éolienne a un certain nombre d'avantages et d'inconvénients [7] :

Avantage

- ✓ Énergie renouvelable propre, gratuit et inépuisable ;
- ✓ Technologie développée et bien maîtrisée ;
- ✓ Sans risque majeur et sans déchets ;
- ✓ Disponible durant toute l'année.

Inconvénients

- ✓ Système éolienne se compose des organes coûteux et chers à l'entretien ;
- ✓ Rendement de production moyen ;
- ✓ Fonctionne seulement si le vent souffle ;
- ✓ Durée de vie limite (20-30 ans).

I.2.2.2 Système éolien basé sur une MADA

Le système éolien à vitesse variable est basé sur une MADA (machine à double alimentation), Cette dernière est une machine triphasée à courant alternatif avec deux enroulements triphasés accessibles, dans lesquels la puissance peut être fournie ou extraite de la machine à travers ces enroulements.

Parmi les plusieurs avantages que propose cette machine on cite [8] :

- ✓ L'accessibilité au stator et au rotor offre l'opportunité d'avoir plusieurs degrés de liberté pour bien contrôler le transfert des puissances et le facteur de puissance ;
- ✓ La capacité de pouvoir augmenter la variation de la vitesse autour de la vitesse de synchronisme ;
- ✓ La possibilité de fonctionner à couple constant au-delà de la vitesse nominale.

Selon la conception du rotor, plusieurs types de machines asynchrones à double alimentation ont été envisagés. Parmi ces types on trouve une MADA à rotor bobiné.

A. MADA à rotor bobiné

La machine asynchrone à double alimentation à rotor bobiné est composée, comme toute machine à courant alternatif, d'un stator et d'un rotor. Le stator est identique à celui d'une machine asynchrone classique. Le rotor est constitué d'enroulements triphasés connectés en étoiles dont les trois phases sont reliées à un système de contacts glissants [8].

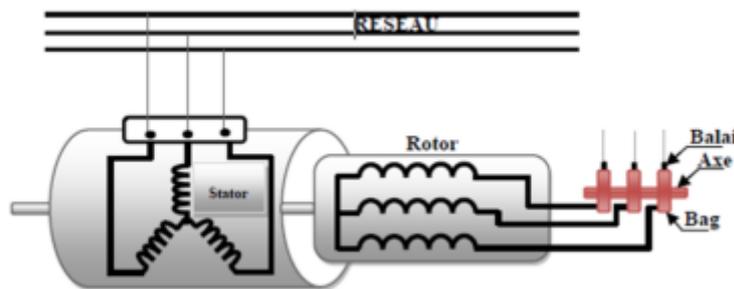


Figure I-3 : Schéma de rotor de la MADA à rotor bobiné [8].

I.3 Quelques concepts utiles

Avant de passer aux différentes méthodes et approches de diagnostic, certains termes de différentes notions utilisées dans la détection du défaut doivent être introduits d'après la norme AFNOR [9].

Stresse : On appelle stress l'ensemble des conditions et facteurs extérieurs variables, généralement imprévus, susceptibles d'affecter le bon fonctionnement d'un système.

Dégradation : Evolution irréversible des caractéristiques d'un bien liée au temps ou à la durée d'utilisation. Une dégradation peut conduire à la défaillance.

Défaillance : C'est la cessation de l'aptitude d'un ensemble à accomplir sa fonction requise avec les performances définies dans les spécifications techniques. L'ensemble est indisponible suite à la défaillance.

Une panne : La panne est l'inaptitude d'un dispositif à accomplir une fonction requise. Dès l'apparition d'une défaillance, caractérisée par la cessation du dispositif à accomplir sa fonction, le dispositif sera déclaré en panne.

Détection : Action de déceler par une surveillance accrue, l'apparition d'une défaillance.

I.4 Détection et localisation des défauts

I.4.1 Diagnostic

Le diagnostic des défauts des machines est un domaine de l'ingénierie, qui s'intéresse à la recherche de défauts survenant dans les machines. Dans la majorité des cas il est établi en interprétant les signaux émis par les machines en fonctionnement, et pour identifier ces erreurs possibles qui conduisent à défaillance, plusieurs méthodes de collecte de données sont utilisées, et le diagnostic n'est posé que lorsque la surveillance détecte une anomalie ou une évolution grave de signal.

I.4.2 Étapes du diagnostic

Dans le but de faire un diagnostic des défauts qui peuvent se produire dans un système physique, avant l'échec total, et dans la mesure du possible déterminer les causes qui en sont à l'origine, une procédure de reconnaissance doit être appliquée. Cette procédure comporte les étapes suivantes [10].

Détection : La détection des défauts est la première décision qu'un système de surveillance doit prendre. Il est donc essentiel de pouvoir classer les situations observables en situations normales ou anormales.

Localisation : c'est l'isolation de défaut qui permet la détermination de types, de la localisation et de l'instant d'occurrence d'un défaut.

Identification : L'identification ou l'estimation vise à fournir des informations quantitatives sur les caractéristiques du défaut, l'identification est faite pour connaître les valeurs des différents paramètres du système.

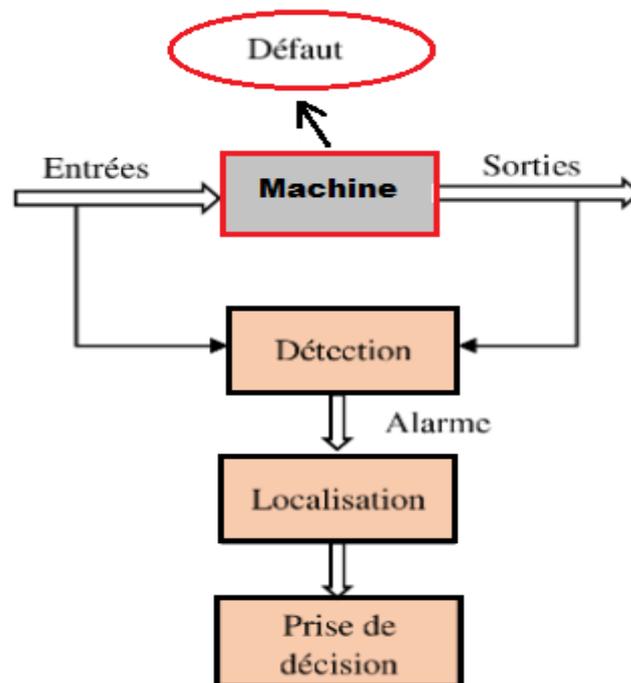


Figure I.4 : Présentation des étapes de diagnostic.

I.4.3 Approche de diagnostic

La plupart des systèmes de surveillances de l'état et de détection des défauts dans les systèmes éoliens ou PV sont basés sur de nombreuses méthodes tirées par différentes analyses. On peut classer les techniques de diagnostic en trois catégories principales : les méthodes basées sur l'approche modèle, les méthodes basées sur l'approche signal, les méthodes basées sur la connaissance.

I.4.3.1 Approche modèle

Elles sont connues sous le terme des approches à base de redondances analytiques. Ces approches sont basées sur les signaux d'entrée, les signaux de sortie et selon le modèle mathématique développé, les méthodes de détection génèrent une estimation des paramètres de système pour les employer dans le diagnostic. Ces signaux sont comparés à leurs correspondants normaux pour détecter le changement entre eux qui vont être utilisés comme signature pour le diagnostic de la panne [11].

I.4.3.2 Approche signal

L'apparition d'une défaillance sur un système étudié engendre des modifications d'harmoniques au niveau des spectres des signaux. L'approche de signal s'appuie sur la collecte et l'analyse des données mesurables du processus pour réaliser la détection et l'identification des défauts [11]. De nombreux outils de traitement du signal sont utilisés afin de caractériser les origines des défauts à partir des spectres [12].

A. Transformée de Fourier rapide (FFT)

Considérons un signal temporelle $X(t)$, sa transforme de Fourier à la fréquence f est la suivante [12] :

$$X(f) = \int_{-\infty}^{+\infty} x(t)e^{-2\pi f t} dt \quad (I.1)$$

$$x(t) = \int_{-\infty}^{+\infty} X(f)e^{-2\pi f t} df \quad (I.2)$$

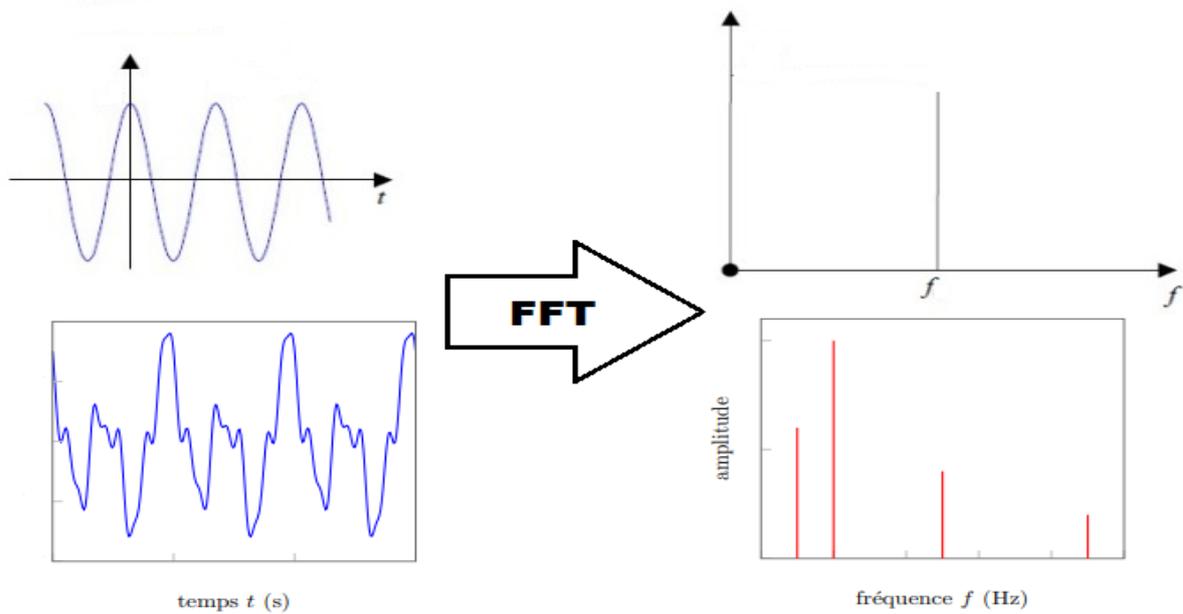


Figure I.5. Passage temporelle vers fréquentielle

B. Transformée de Hilbert

L'analyse d'enveloppe repose sur l'étude du signal enveloppe obtenu grâce à la transformée de Hilbert.

Les principaux d'applications de l'analyse d'enveloppe sont :

- Démodulation d'amplitude (détection par représentation spectrale et temporelle du signal de modulation).
- Identification spectrale (fréquence d'apparition) et temporelle des impulsions associées à des défauts mécaniques en développement dans les machines tournantes.

I.4.3.3 Approche basé sur la connaissance

Dans certaines applications industrielles, il est difficile d'obtenir le modèle de système, à cause de la complexité du système. Donc, les méthodes de diagnostic sans modèles sont opérationnelles pour ce type de système. Ces méthodes de diagnostic se basent sur des informations préalables issues d'une expérience préalable, ils utilisent une connaissance explicite des relations causales entre les symptômes, les défaillances et les fautes. Ces techniques sont utilisées pour identifier les causes des défaillances possibles d'un système à

l'aide de relations qui se présentent sous la forme d'associations directes entre les effets et les causes [13].

Les signatures des défauts obtenus par modélisation, sont généralement classées dans une base de données, pour les traiter en tant que connaissance a priori du diagnostic. Parmi les techniques utilisées on trouve [11] :

- La reconnaissance de forme ;
- Les réseaux de neurones et les algorithmes génétiques ;
- Les systèmes experts.

I.5 Différentes défaillances au niveau de MAS

On trouve dans la recherche, plusieurs études statistiques effectuées sur la machine asynchrone et les principaux défauts pouvant se produire dans une machine asynchrone ce qui pourrait conduire à avoir des graves conséquences. Dans cette partie nous allons présenter les défaillances électriques et mécaniques que l'on peut trouver dans MAS.

Une étude conduite a établi une statistique des différents défauts pouvant se produire sur une machine asynchrone (figure I.6).

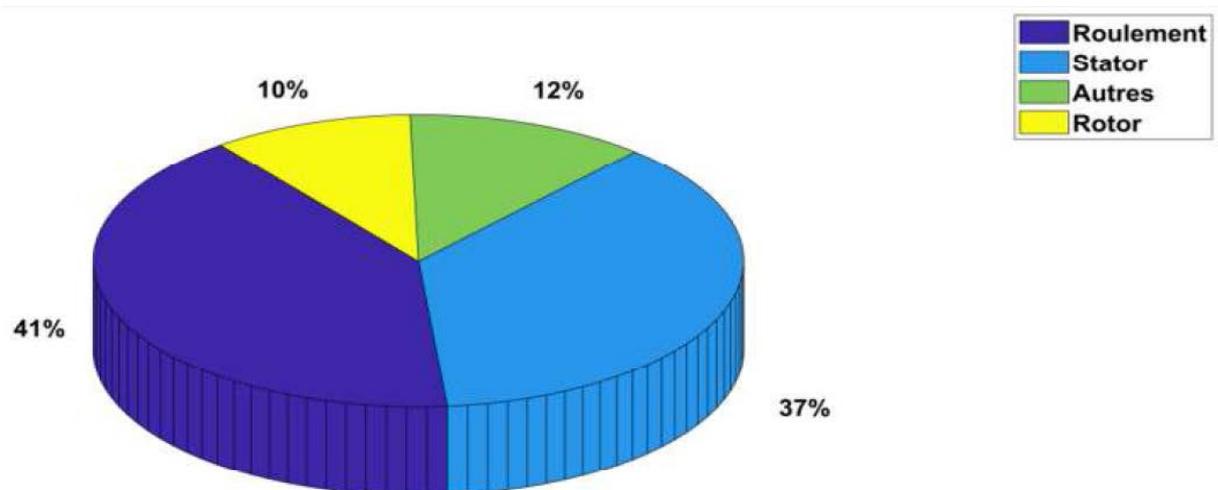


Figure I.6 : Répartition des défauts [14]

I.5.1 Différents défaillances électrique

Les défaillances électriques peuvent être d'origines diverses, leurs causes sont multiples. Dans cette partie nous allons décrire brièvement différents défauts électriques rotorique et statorique rencontrés dans la machine asynchrone.

I.5.1.1 Défauts rotoriques

Ces courants de grande valeur traversent les enroulements du rotor. Et donc causer des dommages importants aux conducteurs de champ et au noyau du rotor. Parmi ces défauts on trouve une rupture des barres rotoriques, et un défaut d'anneaux, par suit ce rotor est soumis à des contraintes à cause des vibrations et la chaleur, etc.

A. Défaut rupture de barre

Parmi les défauts les plus étudiés, la rupture de barres de la machine asynchrone, fait sans doute partie des plus courants, Elle peutse 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 [15].

B. Défaut d'anneaux

Ce type de défaut est plus présent que la rupture de barre pour la machine asynchrone à cage. Elles peuvent être dues à des bulles de coulées ou aux dilatations des différentielles entre les barres et les anneaux.

La rupture de portion d'anneau est un défaut qui apparaît aussi fréquemment. Comme il est difficile de le détecter, ce défaut est généralement groupé. Ce défaut d'anneau peut être dû, par exemple, à une surcharge mécanique (démarrages fréquents,..) et aussi une détérioration des conditions de fonctionnement (température. humidité,) [15].

I.5.1.2 Défauts statoriques

Les défauts qui sont les plus récurrents, localisés au niveau du stator, peuvent être définis comme suit dans la figure (I.7).

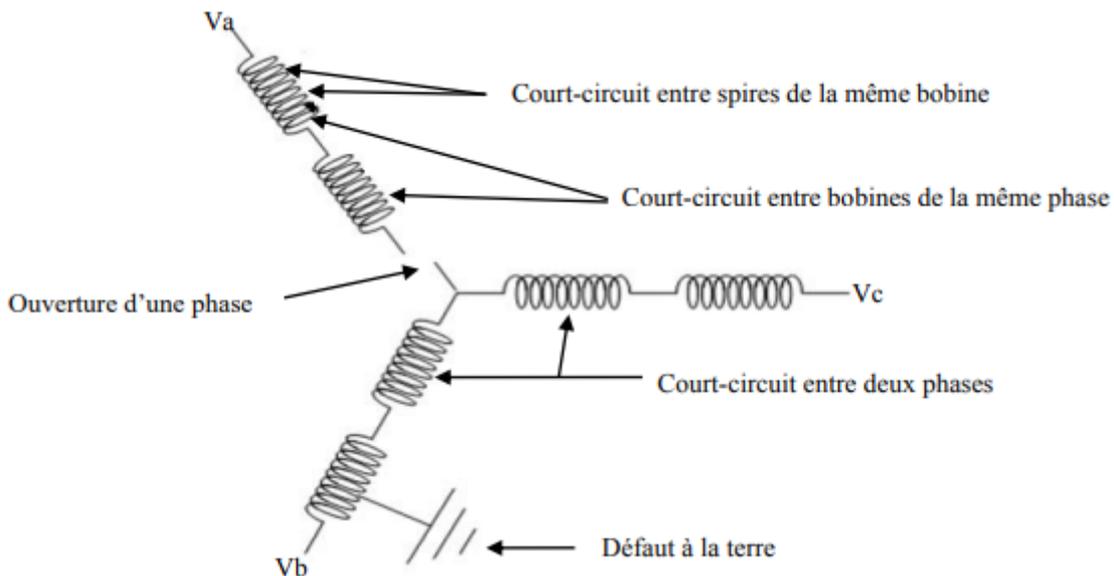


Figure I.7. Représentation des défauts statoriques possibles dans la MAS [14].

A. Défaut d'isolation 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 de température, de tension 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 [14].

Dans ce cas, un court-circuit peut apparaître dans l'enroulement concerné. Les différentes causes pour ce type de défaut sont [14] :

- dégradation de l'isolant à la fabrication.

- tension de l'enroulement supérieure à la limite du matériau d'isolation.
- courant élevé dans l'enroulement dû à un court-circuit, un défaut du convertisseur, une surcharge. Ceci entraîne une élévation de la température dégradant prématurément le matériau d'isolation.
- vibrations mécaniques.
- vieillissement naturel des isolants. Tous les matériaux isolants ont une durée de vie limitée.
- fonctionnement dans un environnement sévère.

B. Court-circuit entre spires

Un court-circuit entre spires de la même phase survient souvent. Cette défaillance a pour origine une mauvaise isolation de l'enroulement concerné. Il entraîne une augmentation des courants statoriques dans la phase affectée, une légère variation de l'amplitude sur les autres phases, modifie le facteur de puissance et amplifie les courants dans le circuit rotorique dans le cas des machines asynchrones.

Cela a une conséquence d'augmentation de la température au niveau du bobinage et, de ce fait, une dégradation accélérée des isolants pouvant provoquer un défaut en chaîne (apparition d'un 2ème court-circuit) [14].

C. Court-circuit entre phases

La détection de ce type de défaut peut reposer sur le déséquilibre des courants de phases. Il peut arriver en tous points du bobinage, cependant les répercussions ne seront pas les mêmes selon la localisation. Cette caractéristique rend difficile l'analyse de l'incidence de ce défaut sur le système [14].



Ouverture dans une phase de l'alimentation



Courts-circuits entre - phase



Déséquilibre de l'alimentation



Endommagement dû à la surcharge

Figure I.8. Différents défauts statoriques de la machine asynchrone [16].

La figure (I.9) suivante représente quelque statistique des causes des défauts pour une machine asynchrone d'une manière générale dans ces parties.

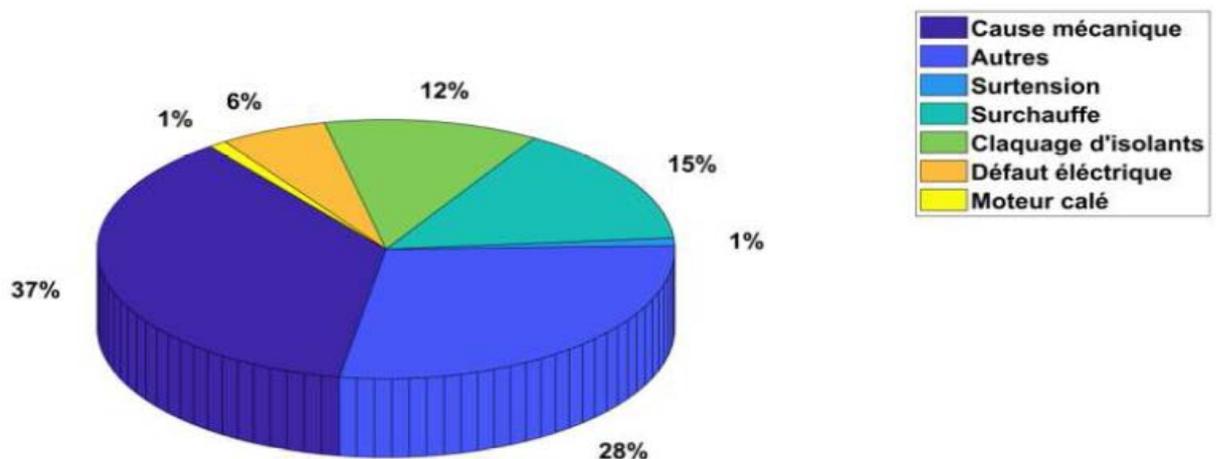


Figure I.9 : Répartition des causes des défauts pour une machine asynchrone [14]

I.5.2 Défaillances mécanique

I.5.2.1 Défaut de roulement à billes

Les roulements se composent généralement de deux bagues, une intérieure et une extérieure, séparées par des billes ou des rouleaux tronconiques (Figure I.10). En fonctionnement normal, la défaillance due à la l'usure commence par des petites fissures situées à la surface du chemin de roulement. Tout changement de l'uniformité du roulement produit des vibrations [17], [18].

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 sont liées à l'usure due au vieillissement, la température de fonctionnement élevée, à la perte de lubrification, au défaut de montage...etc.

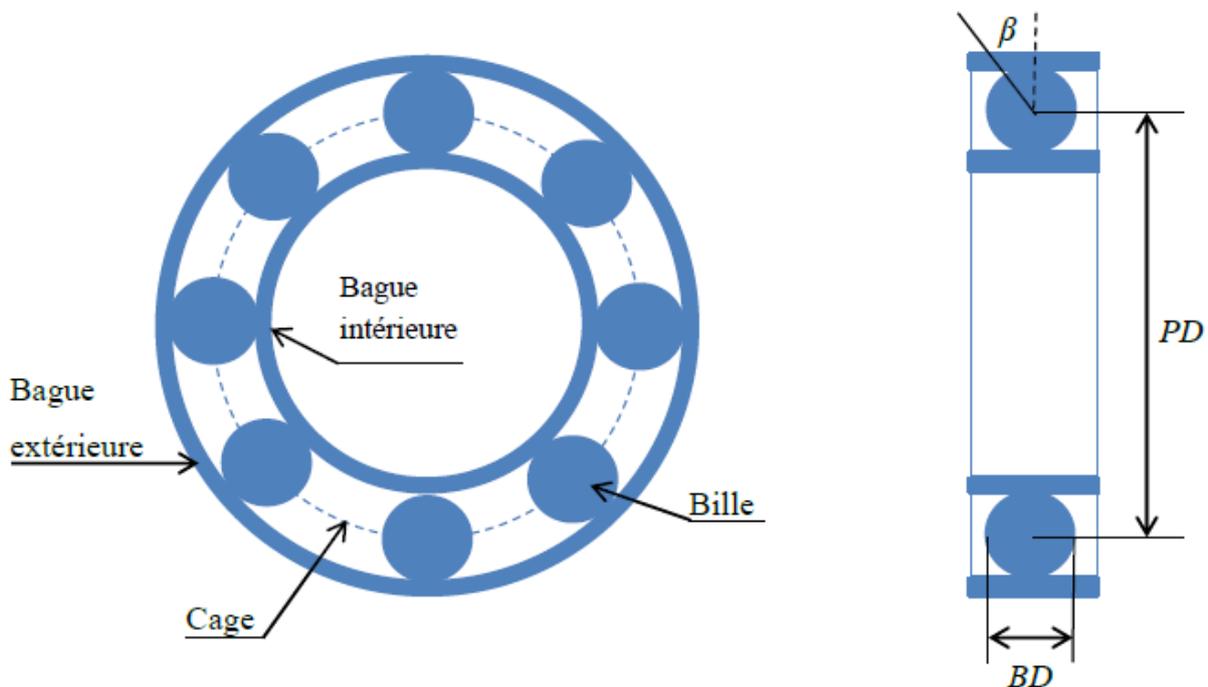


Figure I.10 : Dimension du roulement à bille [10].

Les fréquences caractéristiques des vibrations dépendent de l'élément du roulement affecté par un défaut et sont liées aux paramètres du roulement, ainsi que la vitesse de rotation. Les fréquences des vibrations qui caractérisent les défauts des roulements à bille sont [10] :

- Défauts au niveau d'une bille :

$$f_{b.ext} = \frac{PD}{BD} f_{rot} \left[1 - \left(\frac{BD}{PD} \cos(\beta) \right)^2 \right] \quad (I.3)$$

- Défauts sur la bague intérieure :

$$f_{b.int} = \frac{nb}{2} f_{rot} \left[1 + \frac{BD}{PD} \cos(\beta) \right] \quad (I.4)$$

- Défauts sur la bague extérieure :

$$f_{b.ext} = \frac{nb}{2} f_{rot} \left[1 - \frac{BD}{PD} \cos(\beta) \right] \quad (I.5)$$

Avec,

BD : Diamètre d'un élément roulant.

PD : Diamètre du roulement.

f_{rot} : Fréquence de rotation.

nb : Nombre des billes du roulement.

β : Angle de contact des billes avec les bagues du roulement.



Figure I.11, Vue des roulements sains et défectueux [19].

I.5.2.2 Défauts d'excentricité

L'excentricité est le résultat du non uniformité de ce dernier, ce qui signifie l'existence de longueurs radiales différentes entre le stator et le rotor, donc une asymétrie d'entrefer. Cette asymétrie va décaler les axes des deux armatures l'un par rapport à l'autre, est d'une épaisseur qui dépend du degré d'excentricité et de la longueur moyenne de l'entrefer (Fig.I.12) [20].

Les causes d'une excentricité sont multiples : elles peuvent être dues à la flexion de l'arbre, à un phénomène d'usure ou au désalignement des roulements, à un positionnement incorrect du rotor ou du stator au moment de l'assemblage, à l'ovalité du rotor ou de la partie intérieure du stator ou à un fonctionnement du moteur au-delà d'une vitesse limite qui provoque des résonances [21].

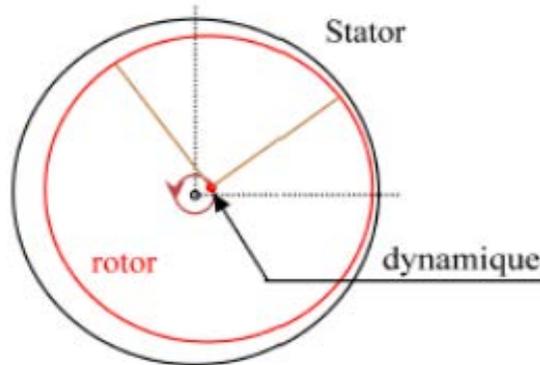


Figure.I.12 : Moteur asynchrone avec rotor excentrique [20]

La présence de l'excentricité se manifeste par la création d'harmoniques dans le spectre du courant statorique à des fréquences (f_d) données par l'expression ci-dessous [22] [23].

$$f_d = f \left[\frac{k_{nb} \pm n_d}{p} (1 - s) \pm v \right] \quad (I.6)$$

Avec,

- nb le nombre de barres rotoriques,
- nd le nombre d'ordre d'excentricité,
- $nd = 0$ pour l'excentricité statique et $nd = 1, 2, 3 \dots$ pour l'excentricité dynamique,
- p le nombre de paires de pôles,
- v l'ordre des harmoniques de temps de la F.M.M. ($v \pm 1, \pm 3, \pm 5, \pm 7, \dots etc$),

- $k = 1, 2, 3, \dots \quad k \in \mathbb{N}$.

La présence de l'excentricité mixte crée des harmoniques de basses fréquences données par la relation [20] :

$$f_m = |f \pm k f_r| \quad (I.7)$$

Où $f_r = f(1 - s)/p$ et $k = 1, 2, 3 \dots$

I.5.2.3 Défauts Balourd

Une des principales causes de vibration sur les machines rotatives, un balourd est par définition, une répartition irrégulière de la masse du rotor lors de sa rotation autour d'un axe, son principe est montré dans la figure (I.13) suivante [24].

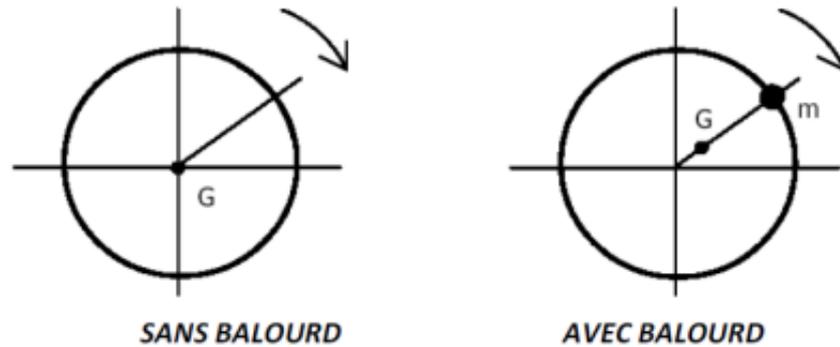


Figure I.13 : Balourd de masse d'un rotor [24]

La mesure quantitative du balourd du rotor est obtenue en faisant le produit de la masse de déséquilibre m par la distance r qui la sépare de l'axe de l'arbre (dans le cas de paliers rigides, l'axe de rotation est l'axe de l'arbre). La valeur ainsi calculée est appelée valeur du balourd U , où $U = mr$. [24].

Les unités de valeur du balourd sont les grammes millimètres ($g \cdot mm$).

I.5.3 Différents défauts d'une machine à rotor bobiné

Nous décrivons les différents défauts des machines à rotor bobiné, associés aux leurs fonctionnement (Tableau I-2) [8].

Tableau I-2 : Différents défauts d'une machine à rotor bobiné [8].

Défaut de courts-circuits	Défaut de contact balais – bague
<ul style="list-style-type: none">✓ Les spires court-circuitées dans les générateurs de puissance à rotor bobiné affectent le fonctionnement de la machine, provoquent des niveaux élevés de vibration ; et donc la détection précoce est importante.✓ le bobinage triphasé du rotor est similaire à celui du stator ; donc les défauts qui peuvent affecter le bobinage rotorique est de même type que les défauts statoriques talque des courts-circuits entre spires des enroulements de la même phase, ou de phases différentes, des courts-circuits phase-terre, ou une ouverture de phase, qui provoquent une dissymétrie au niveau du rotor.	<ul style="list-style-type: none">✓ Le défaut de contact balai-bague introduit une différence (déséquilibre) de résistances entre les trois phases rotoriques. Ce qui influe sur les performances du système parce que la commande est sensible à la constante de temps rotorique et augmente les pertes.

I.6 Classification des défaillances

Les caractéristiques d'une défaillance doivent être correctement identifiées afin de prévoir et d'organiser l'intervention nécessaire pour la remise en état initial de l'entité. Les défaillances sont classées selon leurs causes et selon leurs impacts sur les performances de système [25].

I.6.1 Classification des défaillances par causes

- 1- **Défaillances aléatoires** : Ce sont des défaillances physiques pour lesquelles les performances de système diminuent. Dont on distingue :
 - Les défaillances liées à la dégradation du système : Ces défaillances sont liées au vieillissement du système.

- Les défaillances liées au stress : Ces défaillances sont liées à des stress excessifs sur le système, qui peuvent être d'origine des causes extérieures ou des erreurs humaines durant la maintenance.

2- Défaillances systématiques

Par opposition aux pannes aléatoires, les défaillances systématiques ne sont pas physiques. Les performances du système diminuent alors que ce dernier ne se dégrade pas physiquement. Ces défaillances peuvent être éliminées uniquement par une modification de la conception, du processus de fabrication ou par des procédures d'opération [26].

I.6.2 Classification des défaillances en fonction de leur impact sur les performances de système.

1- Défaillances intermittentes

Elles résultent d'une perte de certaines fonctions du système pour une durée courte. Le système retrouve ses performances d'opération juste après la défaillance.

2- Défaillances étendues

Résultent d'une perte de certaines fonctions du système qui perdure dans le temps jusqu'à ce que le système soit restauré (réparé ou remplacé).

Les défaillances étendues peuvent être : Complete (perte totale de fonction principale) ou partielle (perte de certaines fonctions). Ces derniers peuvent être elle-même divisées en deux types :

- Défaillances soudaines : Ces défaillances ne peuvent pas être prédites par des tests.
- Défaillances graduelles : Ces défaillances sont prédites par des tests ou des inspections.

Finalement des défaillances catastrophiques appartiennent aux défaillances soudaines complètes, Alors que les défaillances dégradées appartiennent aux défaillances graduelles partielles.

I.7 Différentes défaillances au niveau de la turbine éolienne

Les éoliennes sont soumises à une variété de conditions de fonctionnement, et une fois que les analyses montrent un défaut dans les éoliennes, la phase de maintenance commence par le traitement des données.

Dans le but de suivre une turbine éolienne la figure (I.14) suivante montre une analyse réelle considérant le pourcentage du temps d'arrêt résultant de défaillance pour une centrale éolienne.

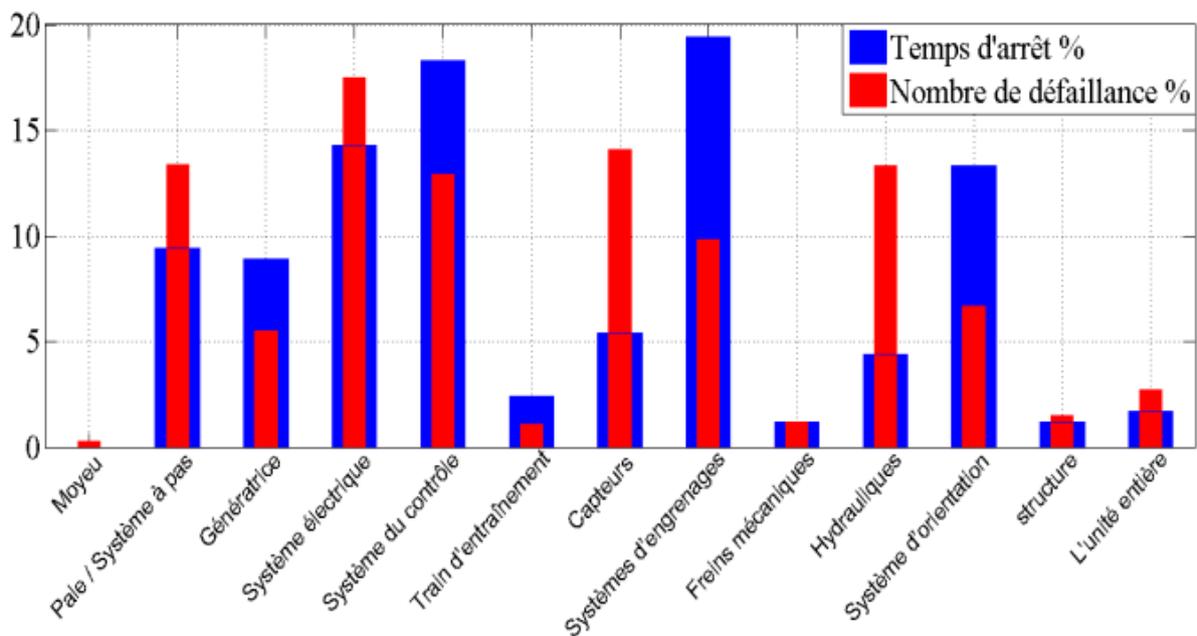


Figure I.14. Distributions de nombre de défaillances en comparant avec les temps d'arrêt par composant pour une centrale éolienne [27].

A. Défaits de système d'engrenage

La défaillance d'une boîte à vitesse est généralement concernée la partie mobile au niveau des engrenages. Les engrenages ont pour mission de transmettre un couple d'un arbre à un autre. Ce couple est généré par la force qui s'applique sur la dent en contact [28]. Les incidents caractéristiques des engrenages sont liés aux dégradations de la denture.



Figure I.15 : Défauts d'engrenages [29]

Les engrenages ont deux opérations majeures qui sont soit la réduction, soit la multiplication de la vitesse de rotation de transmission et du couple moteur associé. La vitesse de rotation augmente si la roue menée possède un nombre de dents inférieures à la roue menante et elle diminue si le nombre de dents est supérieur. Ainsi, le rapport de vitesse r entre les deux roues est donné par l'équation (I.8).

$$r = \frac{Z_1}{Z_2} \quad (\text{I.8})$$

Où Z_1 est le nombre de dents de pignon et Z_2 est le nombre de dents de la roue.

Soit un engrenage regroupant deux roues dentées dotées de Z_1 et Z_2 nombre de dents et tournants aux fréquences f_1 et f_2 respectivement. Quand une dent de pignon menant s'engrène dans la roue menée, il se crée une prise de charge périodique au rythme d'engrènement des dents [29]. Ce choc se produit selon la fréquence d'engrènement f_e qui est égale à la fréquence de rotation de la roue en question multipliée par son nombre de dents, comme suit :

$$f_e = f_1 \cdot Z_1 = f_2 \cdot Z_2 \quad (\text{I.9})$$

Quand une seule dent détériorée sur le pignon menant, à chaque fois qu'elle s'engrènera, il y aura un choc répétitif. Ce choc répétitif se manifestera donc aux harmoniques de la fréquence de rotation f_1 du pignon affecté. De la même manière, si la dent détériorée se situe sur la roue, tournant à f_2 , le choc apparaîtra à la fréquence de rotation f_2 .

Les défauts d'engrenages les plus rencontrés peuvent être classés en deux groupes selon leur caractère réparti ou localisé sur la surface de la denture [30].

A.1 Défauts généralisés

- **Usure abrasive** : Phénomène présent sur une grande partie de la denture se caractérisant par un enlèvement de matière dû au glissement des deux surfaces en contact. Le développement de cette usure est lié à la charge mécanique à transmettre et à la vitesse de glissement, ainsi qu'à la présence d'éléments abrasifs dans le lubrifiant. Elle peut être normale, inversement proportionnelle à la dureté superficielle de la denture et progressant lentement, ou anormale lorsque le lubrifiant est pollué de particules abrasives ou corrosives. Elle conduit à un mauvais fonctionnement voir à une mise hors service.

- **Pitting ou piqûres** : Il s'agit de trous plus ou moins profonds qui affectent toutes les dents et qui se produisent surtout sur des engrenages en acier de construction relativement dure. Cette avarie peut apparaître à la suite de légers désalignements d'axes par exemple, à cause de surpressions locales.

A.2 Défauts localisés

- **Écaillage** : Se manifestant par des trous moins nombreux que ceux du pitting, mais plus profonds et plus étendus. Les dégradations sont produites par fatigue en sous-couche, au point de cisaillement maximal. Ce phénomène rencontré le plus souvent dans les engrenages cémentés, évolue très rapidement vers la rupture, sans passer par une phase d'usure.

- **Fissuration** : Généralement au pied de la dent, elle progresse à chaque mise en charge. Son apparition est due à un dépassement de la limite élastique en contrainte au pied de dent, du côté de la dent en traction.

- **Grippage** : Conséquence directe d'une destruction brutale du film d'huile ou d'un frottement sous charge provoquant des hausses de températures. Le grippage est favorisé essentiellement par des vitesses élevées, de gros modules, un faible nombre de dents en contact.

I.8 Conclusion

Dans ce premier chapitre nous avons rappelé brièvement de différentes généralités sur le système éolien. Après la présentation des différents défauts qui peuvent apparaître dans leur partie et après avoir présenté les principaux éléments de constituant la machine asynchrone, nous nous sommes intéressés aux différentes défaillances qui induisent, pour la plupart d'entre elles, un mauvais fonctionnement ou un arrêt intempestif de la machine, ainsi que les causes et les conséquences de leur apparition.

Ensuite, nous avons abordé les méthodes de diagnostic appliquées aux machines asynchrones et le système d'engrenage pour établir la présence d'un défaut en précisant leurs avantages et leurs inconvénients dans le système éolien en général.

Chapitre II :
Etude et analyse d'une MAS
dans le cas d'un déséquilibre
électrique au rotor

II.1 Introduction

Les génératrices asynchrones à double alimentation sont largement utilisées dans le système éolien. Comme tous les systèmes électriques, au cours de son fonctionnement, la génératrice est sujette à de nombreux dysfonctionnements qui affectent ses performances. Il est donc essentiel de surveiller son état.

La défaillance d'une génératrice peut entraîner un arrêt brutal de l'installation, ce qui peut être très coûteux. Par conséquent, différentes approches ont été proposées pour la surveillance de l'état de ces systèmes. [31], [32].

Dans ce chapitre, nous allons proposer de surveiller une génératrice asynchrone à double alimentation à l'aide d'analyse des composantes fréquentielles en observant l'amplitudes des harmoniques des deux grandeurs électriques (le courant électrique et la puissance électrique) pour un défaut de déséquilibre électrique au rotor.

II.2 Modèle mathématique

La méthode utilisée est basée sur l'analyse spectrale et d'enveloppe, ce sont des techniques de traitement de signal souvent utilisées pour la détection de défauts dans les machines électriques.

Les deux techniques utilisent l'analyse spectrale des signaux électriques et mécaniques pour évaluer le niveau de défaillance dans la machine asynchrone en fonction de l'ordre des composantes harmoniques et de l'amplitude du spectre.

Le défaut de déséquilibre électrique au rotor va générer une asymétrie qui est dans le cas d'une alimentation par un système de tension symétrique sera à l'origine d'un champ magnétique tournant inverse de fréquence dans le circuit de rotor. Cela génère des courants circulants dans

le circuit au stator à des fréquences $= (1 \pm 2ng)f_s$, une démodulation par l'analyse d'enveloppe donne la fréquence exacte liée au défaut $2nf_s$.

Dans le but d'obtenir le spectre $X(f)$ de $X(t)$, la Transformée de Fourier Rapide (FFT) est appliquée [33] :

$$X(f) = \int_{-\infty}^{+\infty} x(t) e^{-2\pi f t} dt \quad (\text{II. 1})$$

L'analyse d'enveloppe agit sur la démodulation du signal $X(t)$ à l'aide de la Transformé de Hilbert, qui s'exprime comme suit [33] :

$$Z(t) = A(t)e^{i\varphi(t)} \quad (\text{II. 2})$$

II.3 Description de l'expérience

Dans l'objectif de mener une étude expérimentale sur le cas d'un défaut de déséquilibre électrique rotorique qui peut survenir sur une génératrice asynchrone à double alimentation (GADA), l'université de Durham (Angleterre) a effectué des recherches expérimentales sur un banc d'essai, illustré sur la Figure (II.1) [34]. Ce banc est constitué d'une génératrice industrielle à double alimentation : 4 pôles, triphasée, 240V, 50Hz, 30kW, avec une résistance de phase nominale du rotor 0.066Ω . Elle est entraînée par un moteur à courant continu de 40kW. Un défaut de déséquilibre électrique au rotor (DER) est simulé sur cette génératrice en introduisant une résistance externe R_d dans un enroulement de la phase du rotor de la GADA comme il est indiqué sur la figure suivante.

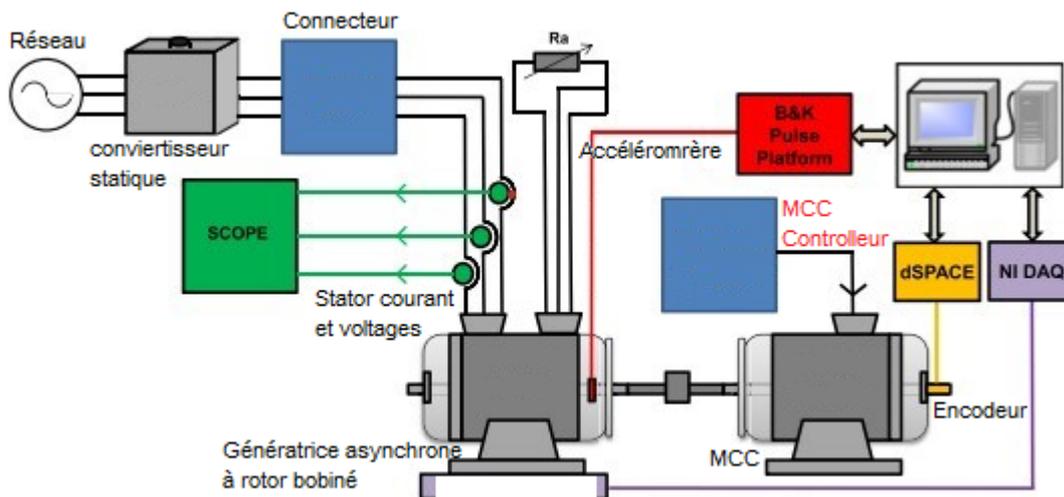


Figure II.1 : Schéma d'expérience sur le banc d'essai et ces instruments [34].

Les essais ont été menés sur la génératrice pour deux vitesses d'entraînement (1560 et 1590 tr/min) afin de mesurer différentes grandeurs électriques et mécaniques telles que les courants, la puissance, le couple et la vitesse de rotation de la génératrice pour différents cas de défauts de déséquilibre : 0, 150, 225 et 300 % de la résistance de phase rotorique (0.066Ω) dans le but de déterminer la sévérité de défaut.

II.4 Résultats de l'analyse des composantes fréquentielles

II.4.1 Courant statorique

Les figures (II.2) et (II.3) représentent les spectres des signaux de courant statorique contiennent les harmoniques liées au défaut autour de la fréquence d'alimentation f_s à des fréquences $(1 \pm 2ng)f_s$ dans le cas d'une modulation en amplitude de courant statorique en fonction de pourcentage de défaut et pour les deux vitesses d'entraînement 1560 et 1590 tr/min respectivement.

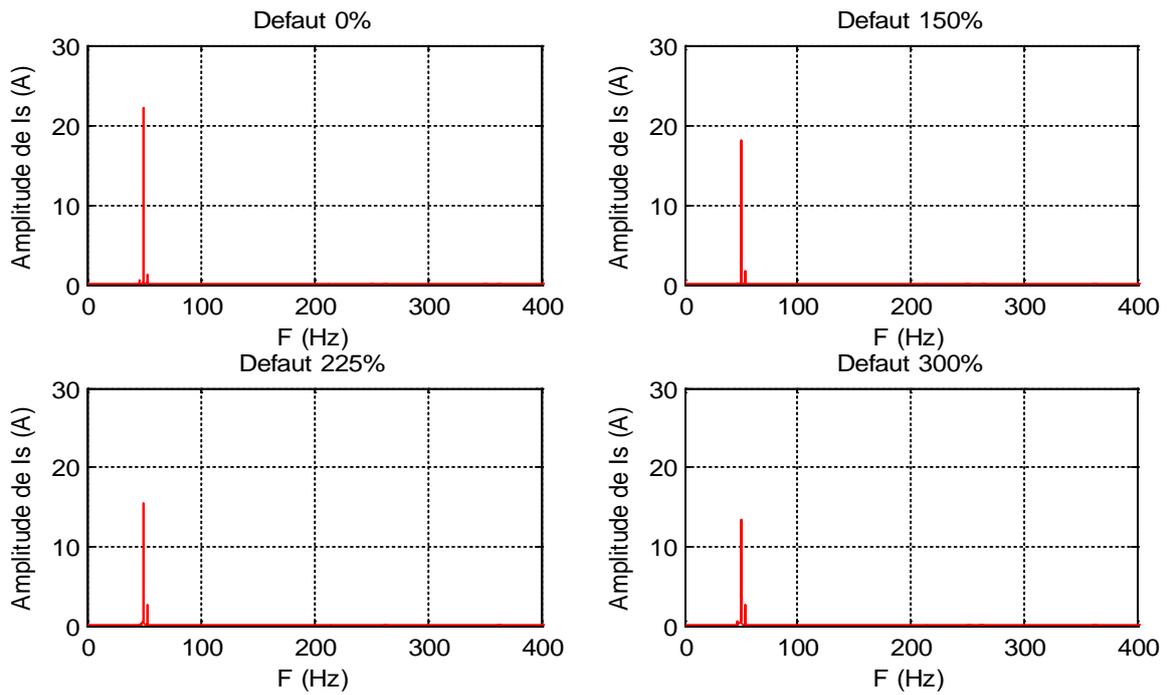


Figure II.2 : Spectres de courant statorique pour différents pourcentage de défaut (0%, 150%, 225% et 300%) à une vitesse d'entraînement de 1560 tr/min.

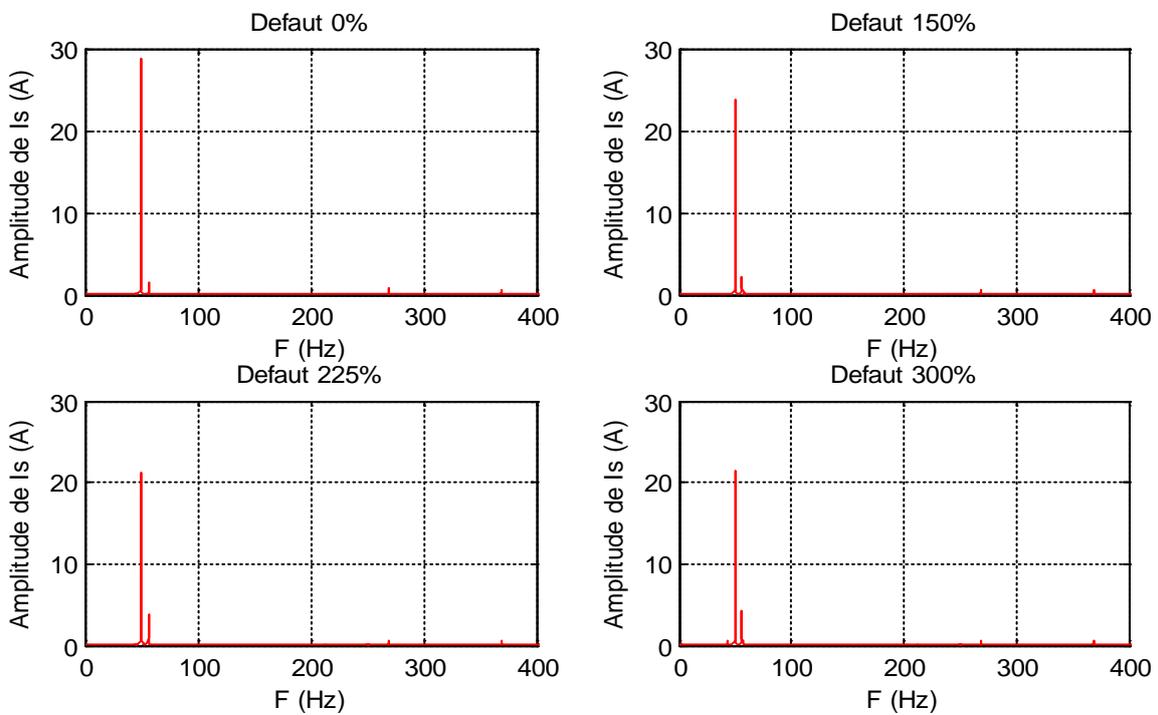


Figure II.3 : Spectres de courant statorique pour différents pourcentage de défaut (0%, 150%, 225% et 300%) à une vitesse d'entraînement de 1590 tr/min.

Les figures (II.4) et (II.5) représentent les spectres d'enveloppe des signaux de courants statoriques démodulés en amplitude et contiennent les harmoniques exactes liées au défaut de rotor $2ngf_s$ en fonction de pourcentage de défaut et pour les deux vitesses d'entraînement 1560 et 1590 tr/min respectivement. On remarque que, plus la vitesse d'entraînement augmente, plus les amplitudes du courant statorique correspondantes à la fréquence de défaut augmentent, qui augmentent aussi proportionnellement avec l'augmentation du pourcentage de défaut pour les deux vitesses d'entraînement.

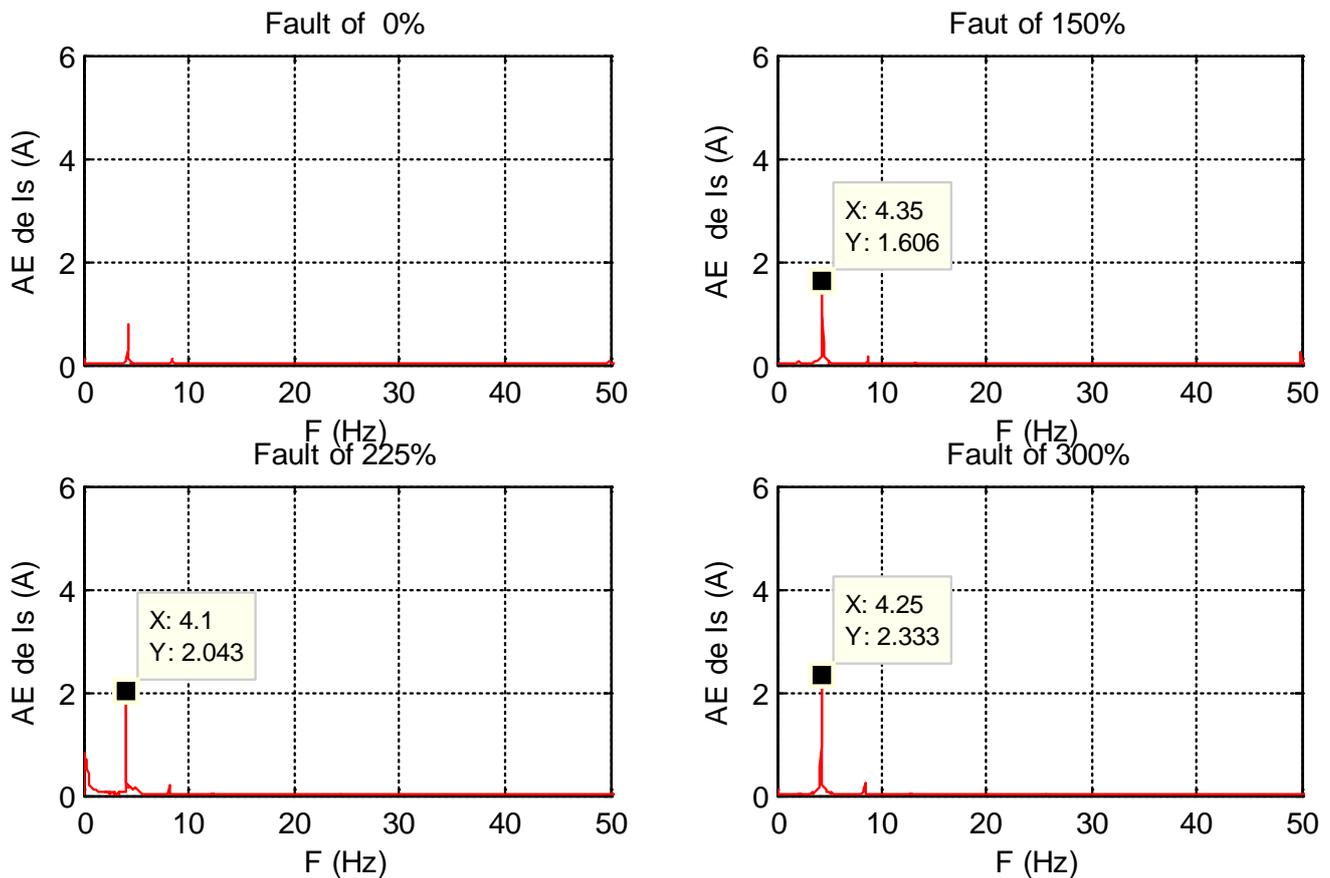


Figure II.4 : Spectres de l'enveloppe du courant statorique pour différents pourcentage de défaut à une vitesse d'entraînement de 1560 tr/min.

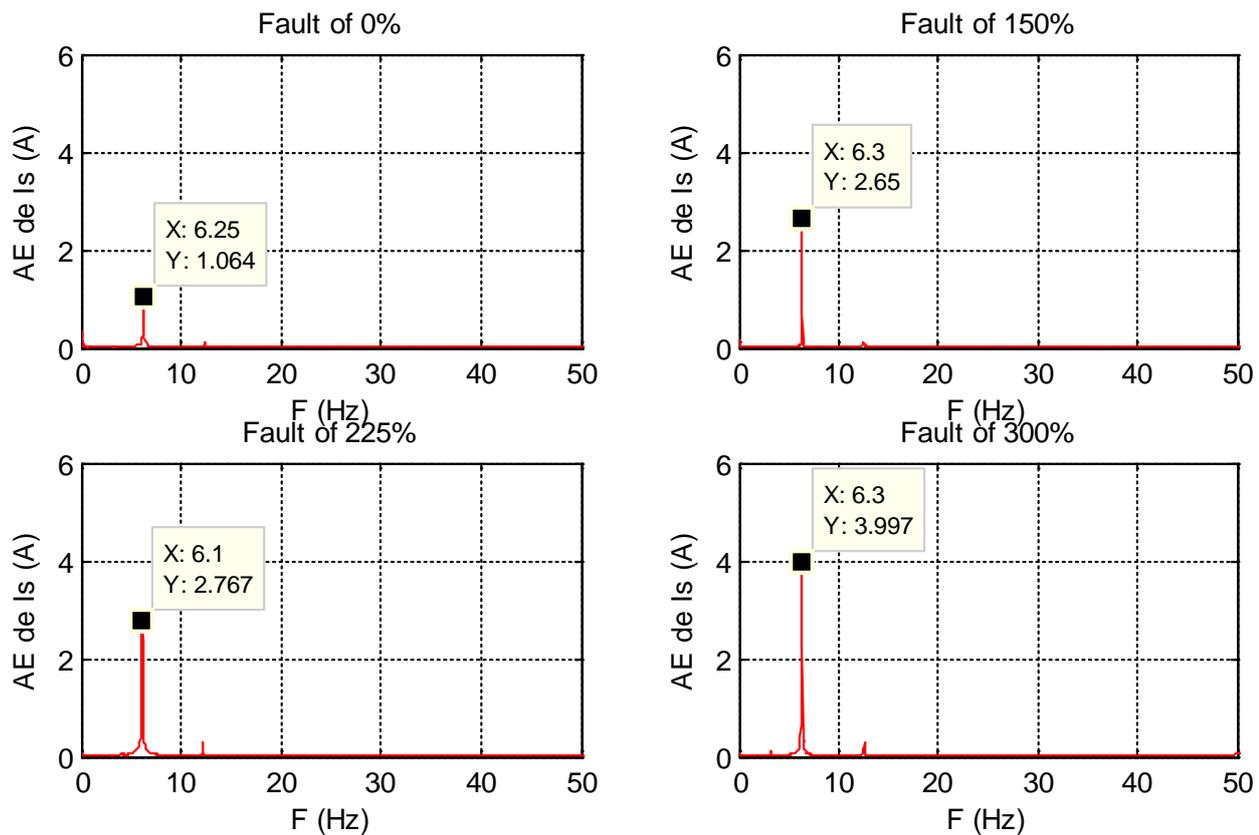


Figure II.5 : Spectres de l'enveloppe du courant statorique pour différents pourcentage de défaut à une vitesse d'entraînement de 1590 tr/min.

II.4.2 Puissance électrique

Les figures (II.6) et (II.7) représentent les spectres des signaux de puissance électrique contiennent les harmoniques liées au défaut à des fréquences $2ngf_s$ en fonction de pourcentage de défaut et pour les deux vitesses d'entraînement 1560 et 1590 tr/min respectivement. On observe que, plus la vitesse d'entraînement augmente, plus les amplitudes de la puissance électrique correspondantes à la fréquence de défaut augmentent, qui augmentent aussi proportionnellement avec l'augmentation du pourcentage de défaut pour les deux vitesses d'entraînement.

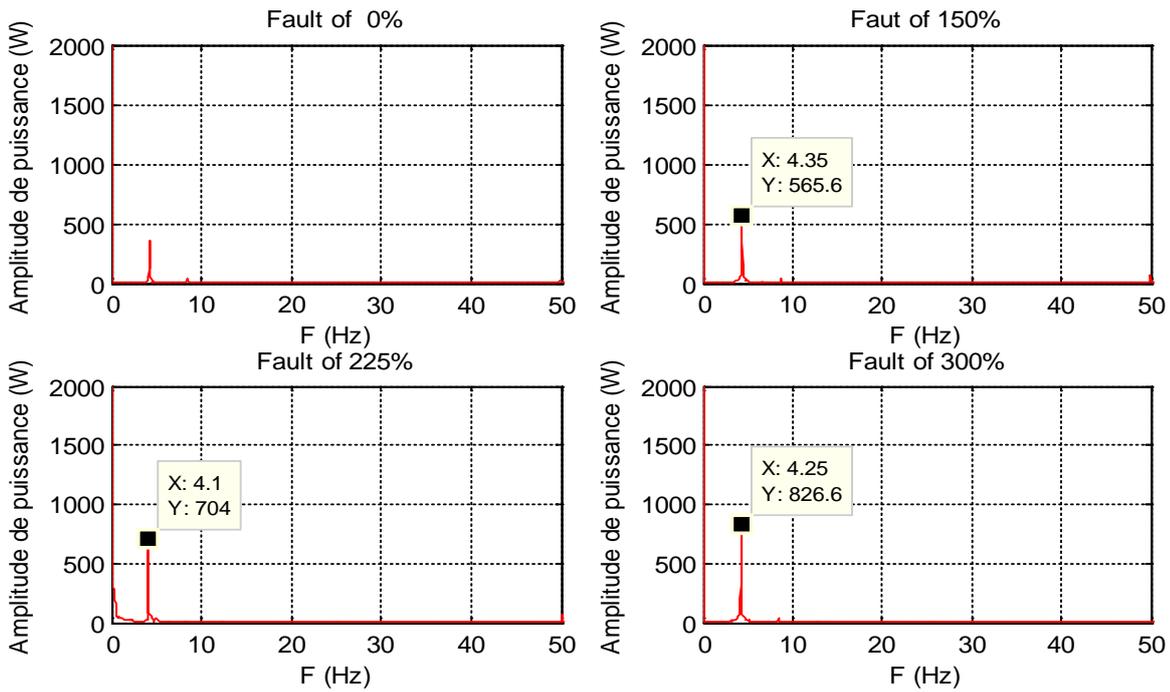


Figure II.6 : Spectre de la puissance électrique pour différents pourcentage de défaut à une vitesse d'entraînement de 1560 tr/min.

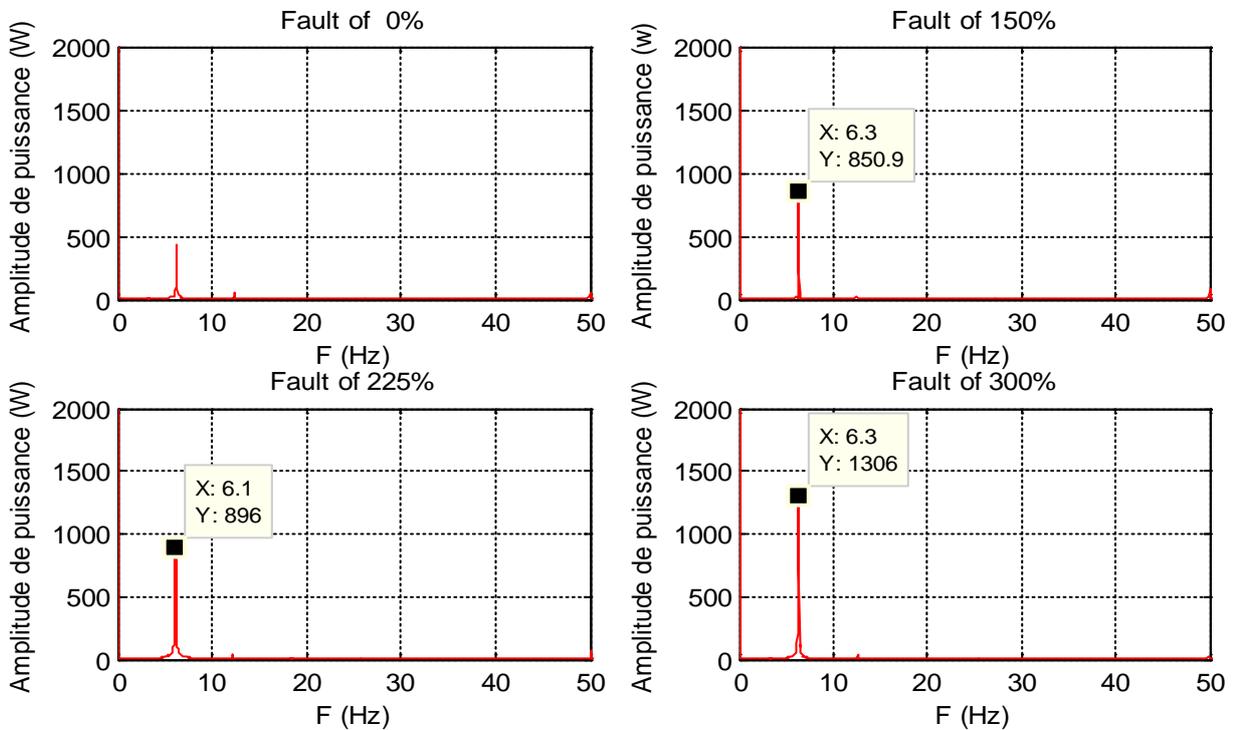


Figure II.7 : Spectre de la puissance électrique pour différents pourcentage de défaut à une vitesse d'entraînement de 1590 tr/min.

II.5 Conclusion

Dans ce chapitre, une approche de diagnostic a été utilisée, basé sur l'analyse spectrale et l'analyse d'enveloppe, dans le but de suivre le développement de défaut de déséquilibre électrique au rotor. Effectivement, l'approche nous a montré que les fréquences harmoniques liées au défaut au rotor augmentent proportionnellement avec l'évolution du défaut. Par la suite nous avons utilisé la démodulation des signaux par l'analyse de l'enveloppe basée sur la transformée de Hilbert, qui a montré que les amplitudes liées à la fréquence démodulée $2ngf_s$ varient de façon significative avec l'évolution du défaut.

Chapitre III :
Etude et analyse de la boîte à vitesse
d'une turbine éolienne

III.1 Introduction

Les engrenages font partie des mécanismes les plus courants de transmission de puissance dans les machines tournantes, ils sont utilisés quasiment partout dans la vie quotidienne, en raison de leur rôle important dans les boîtes à vitesses et les réducteurs mécaniques.

Le fonctionnement industriel a montré leur sensibilité aux conditions de fonctionnement. Cette sensibilité engendre des vibrations qui perturbent le comportement des machines et accélèrent la défaillance de quelques composants mécaniques [28].

Lors de la présence d'un défaut dans les engrenages ou l'endommagement d'une dent, leur comportement vibratoire se modifie, la détérioration des engrenages entraîne des pertes de production et une augmentation des coûts opérationnelles. Alors, le bon choix des outils de traitement du signal en analyse vibratoire nécessite des connaissances a priori sur les signaux à traiter.

Dans ce chapitre, nous exploitons deux méthodes de traitement du signal à l'aide de l'environnement MATLAB dans le but de simuler un type de défaut localisé sur un engrenage de façon à décrire un début de détérioration.

L'analyse de la réponse dynamique a été ensuite déterminée. Le signal associé à un défaut localisé va moduler en amplitude le signal dû à l'engrènement et on aura un spectre plus complexe caractérisé par l'apparition de bandes latérales autour de la fréquence d'engrènement et de ses harmoniques selon le modèle.

III.2 Description de l'expérience

Un teste expérimentale de Peter Rig a été réalisé à l'université de la nouvelle Galles, Kensington, Australie et LAPSI, Senlis, comme le montre la figure (III.1) [35], pour le cas de défauts des engrenages d'une éolienne de 3 MW dans l'objectif d'analyser les signaux vibratoires des engrenages.

Nous nous intéressons à la première partie d'essais, où le nombre de dents de roue surveillé est 32 avec une vitesse nominale de 1800 tr/min, avec une dent défectueuse sur la roue motrice. Différents capteurs ont été utilisés pour enregistrer les signaux vibratoires sur le réducteur de vitesse : 7 accéléromètres et 1 tachymètre.

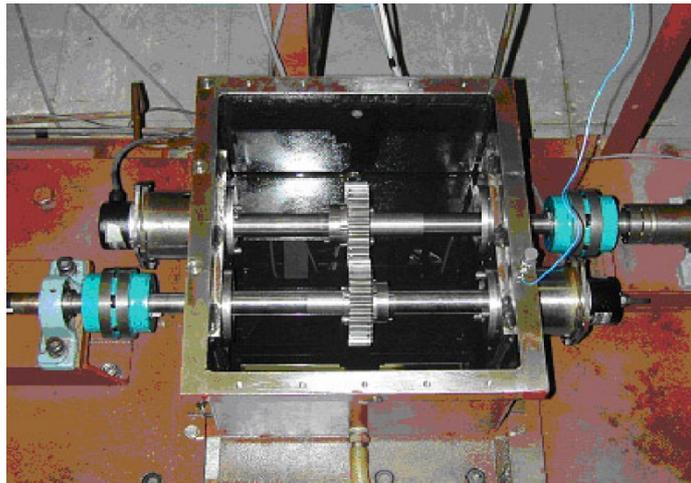


Figure III.1 : Banc expérimental de Peter Rig [35]

III.3 Résultats de l'analyse des composantes fréquentielles

Dans cette étude, nous traitons le signal temporel vibratoire mesuré dans les deux cas sain et défectueux, qui porte un pignon d'une dent détériorée. Les deux signaux sont traités dans le domaine fréquentielle à l'aide de l'analyse fréquentielle (FFT) et d'enveloppe (HT), déjà utilisé dans chapitre II. Nous évaluons les performances des techniques d'analyse pour la détection de défaut.

III.3.1. Cas d'engrenage sain

Les figures (III.2), (III.3) et (III.4) représentent le signal vibratoire mesuré et son spectre en utilisant la FFT, respectivement, pour un engrenage sain.

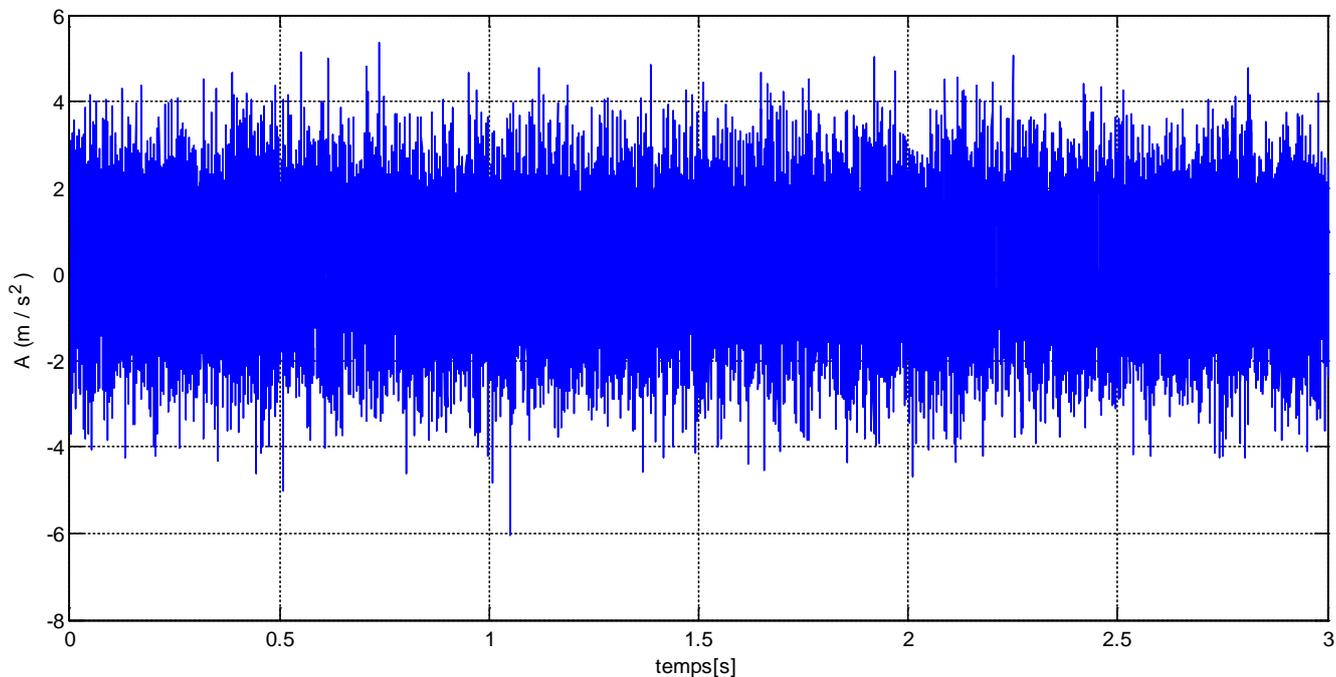


Figure III.2 : Signal temporel d'un engrenage sain.

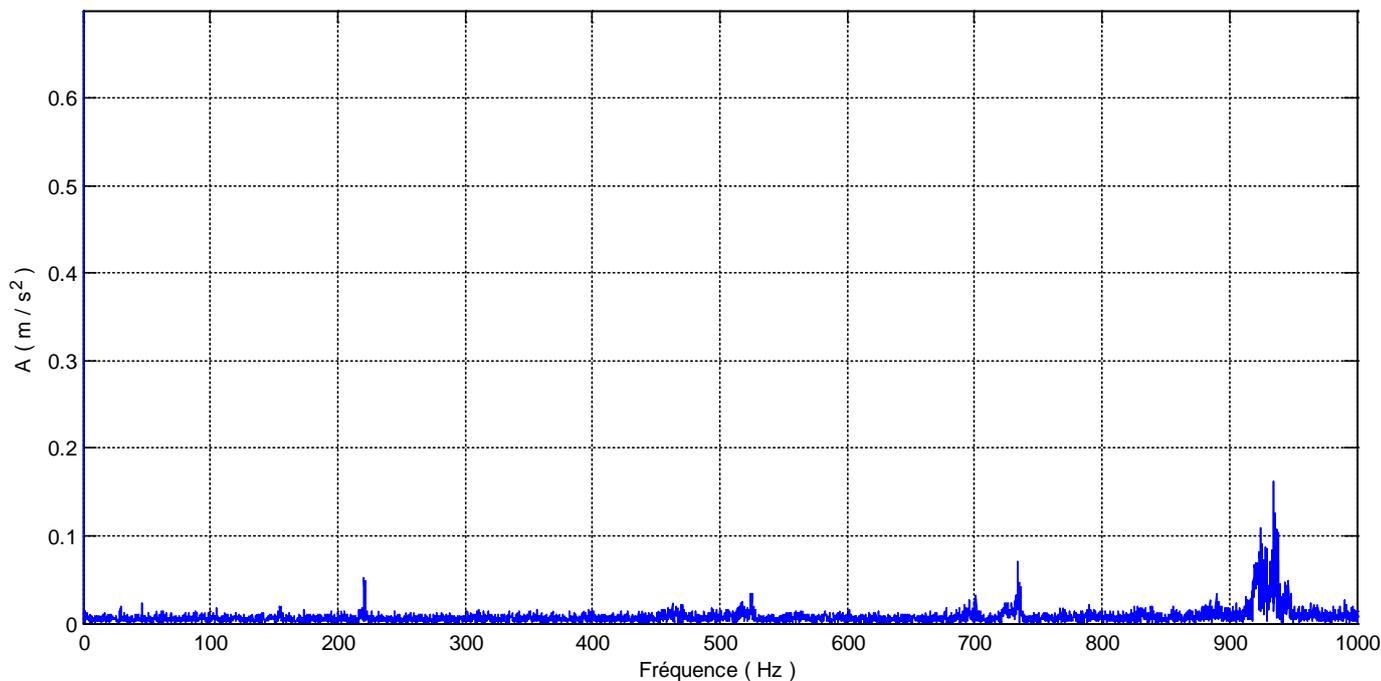


Figure III.3 : Signal fréquentiel d'un engrenage sain

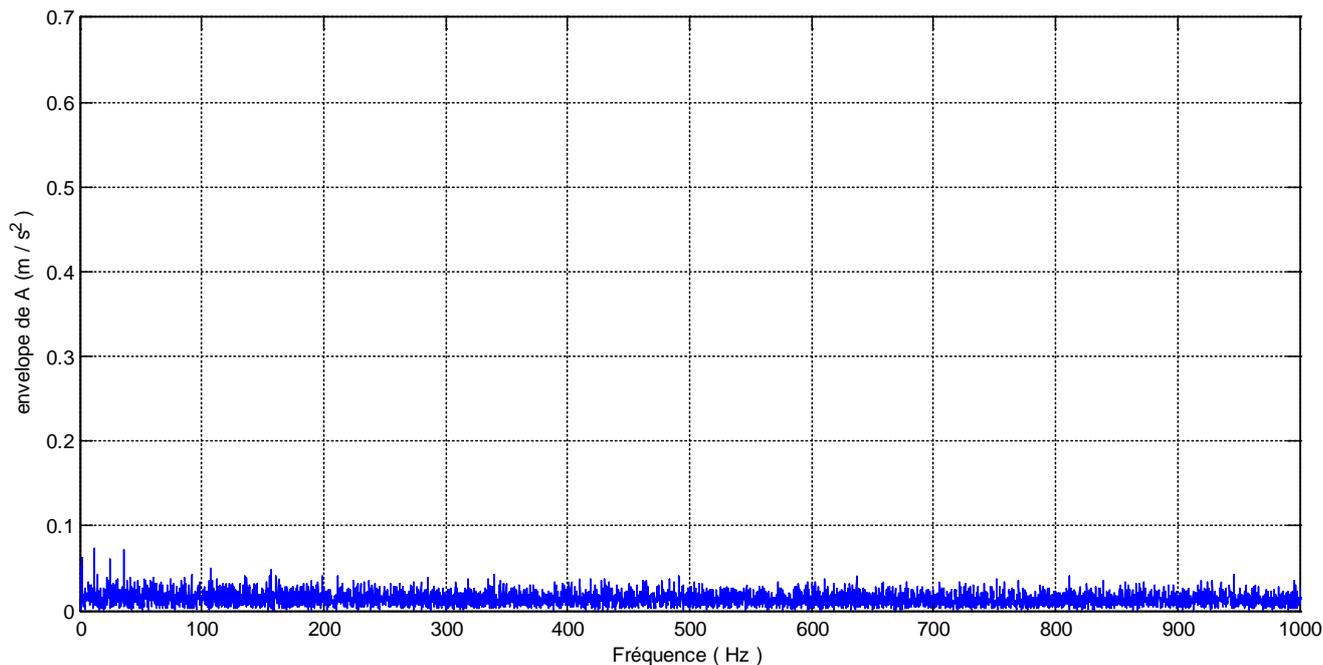


Figure III.4 : Signal d'enveloppe d'un engrenage sain

III.3.2. Cas d'engrenage défectueux

Les figures (III.5) et (III.6) représentent le signal vibratoire temporel mesuré et son spectre en utilisant la FFT, respectivement, pour un engrenage défectueux.

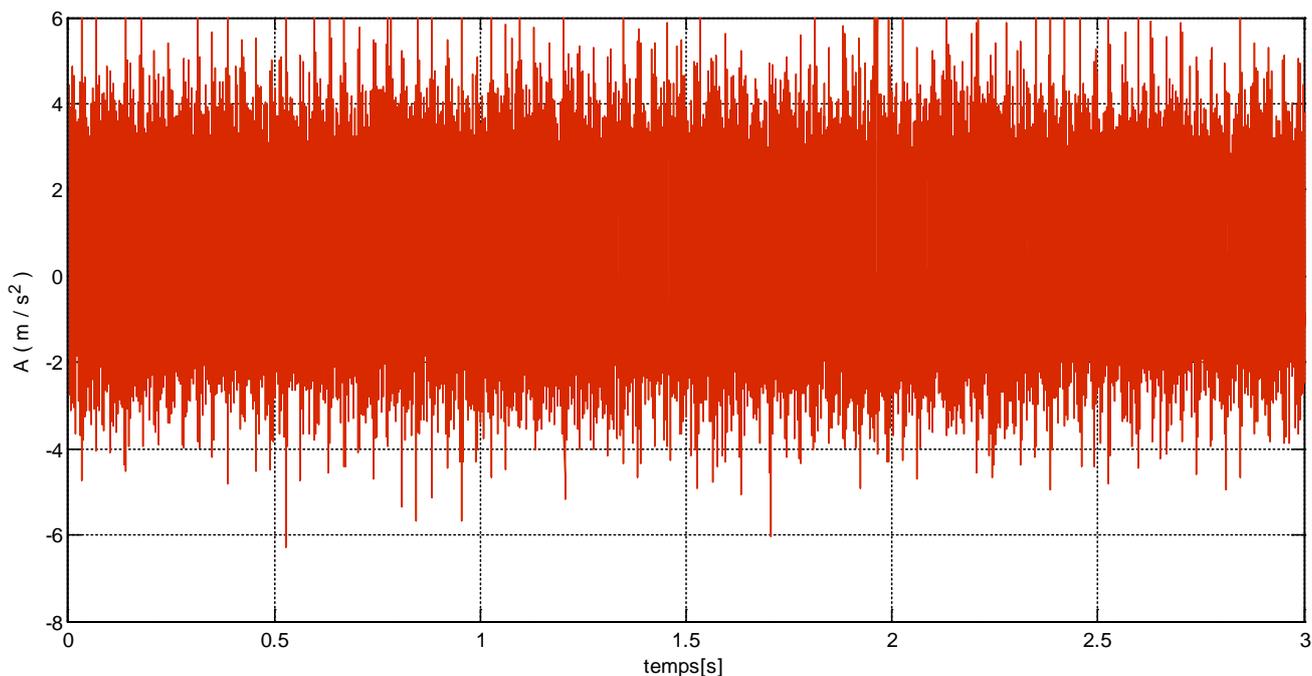


Figure III.5 .Signal temporel d'un engrenage avec défaut

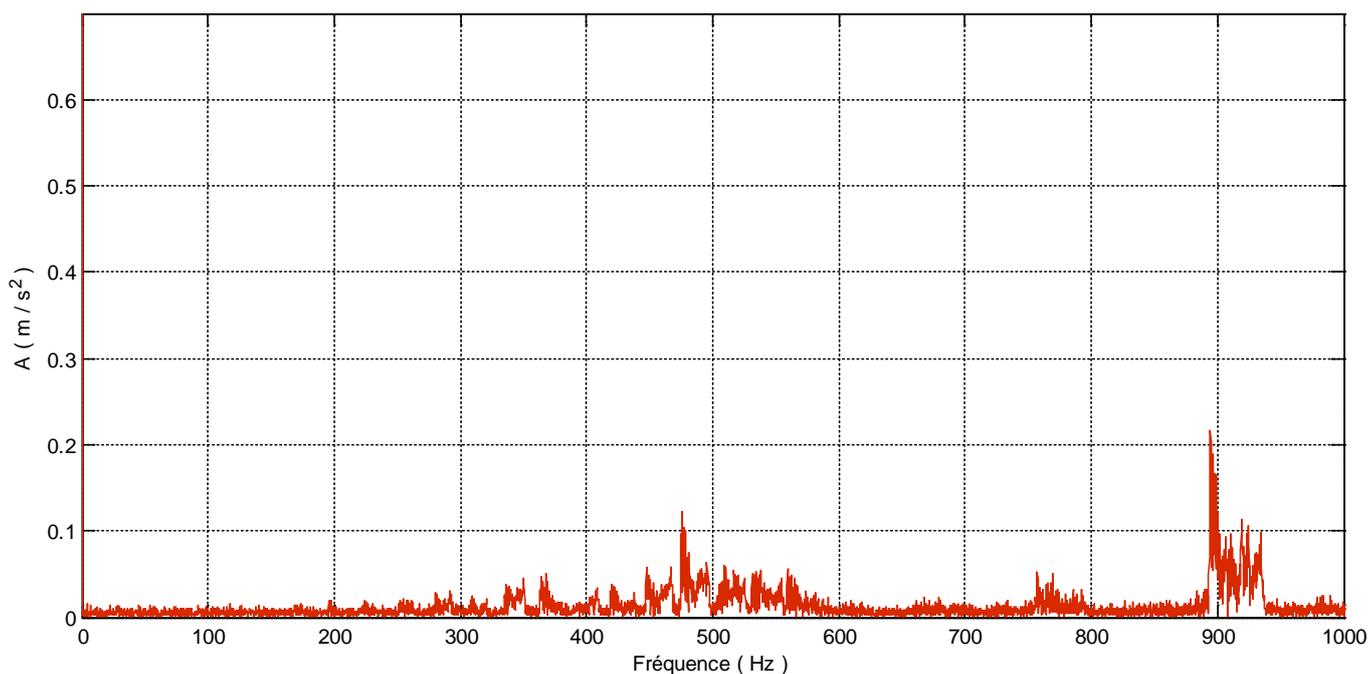


Figure III.6. Signal fréquentiel d'un engrenage avec défaut

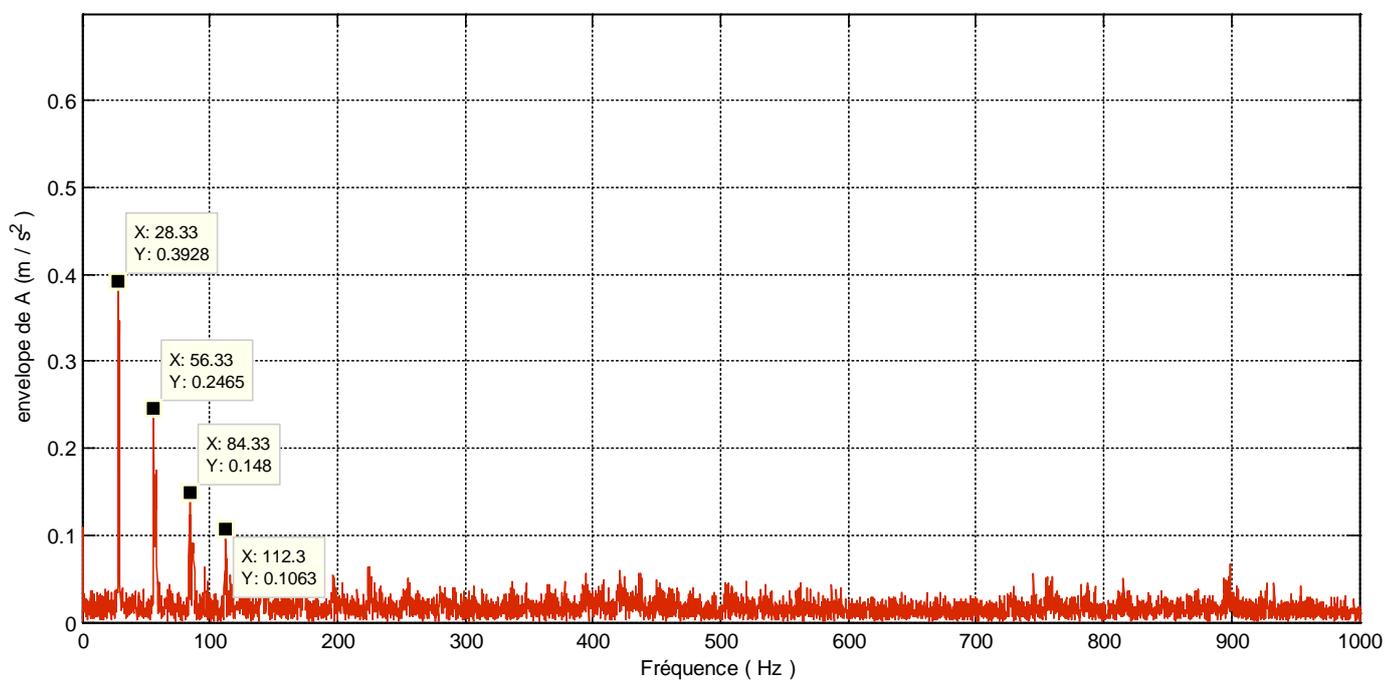


Figure III.7. Spectre d'enveloppe, en présence d'un défaut

D'après la figure (III.7), nous remarquons que la signature du défaut est évidente, grâce à HT qui permet de localiser le défaut de dent détériorée, qui se manifeste à la fréquence de pignon f_1 , à chaque fois que la dent détériorée s'engrènera, il y aura un choc répétitif.

Ce choc répétitif se manifestera donc aux harmoniques de la fréquence de rotation f_1 du pignon affecté. En revanche, dans le cas d'un engrenage sain, la figure (III.4) montre qu'aucun pic considérable n'est détecté, sauf les petits pics dus au bruit additionné à la mesure de signal.

D'après les résultats, nous pouvons déduire que la transformé de Hilbert (HT) est claire, rapide et robuste pour la détection de la signature de défaut des engrenages.

III.5 Conclusion

Ce chapitre a pour but de définir les indicatrices temporelles sensibles et capables de détecter un défaut d'engrenages dans différentes configurations, dans son état sain et dans l'état défectueux, où la simulation numérique des différents défauts a commencé à partir un modèle mathématique d'une simulation d'engrenage défectueux.

Les résultats obtenus par l'analyse spectrale et l'analyse d'enveloppe sont intéressants et ont permis de comprendre l'évolution de la sensibilité de plusieurs indicateurs sur le développement de ce défaut d'engrenage détecté.

Ensuite nous avons vu la limitation des performances des outils classiques quand il s'agit de la présence des interférences de vibration, où les résultats ne sont pas facilement lus avec la méthode classique.

Conclusion générale

Ce travail d'une manière générale apporte une contribution au domaine des énergies renouvelables, particulièrement dans le secteur dit « l'énergie éolien ».

L'objectif de cette étude était d'apporter des éléments de traitement du signal pour permettre de détecter et diagnostiquer les défauts mécaniques et électrique des éoliennes et plus particulièrement au niveau de la boite à vitesse « engrenages » et au niveau de la génératrice « asynchrone ». Nous avons montré que l'analyse vibratoire est un moyen prometteur qui permet d'obtenir des informations sur l'état d'une éolienne dans le but de sa maintenance.

Nous avons commencé dans ce projet par étudier le domaine des machines tournantes spécialement la machine asynchrone. Grâce aux différents signaux mesurés et en effectuant une approche de diagnostic basée sur l'analyse spectrale et l'analyse d'enveloppe, nous sommes arrivés à analyser un nombre important de défaillances pouvant altérer le fonctionnement des machines asynchrones et de suivre le développement du défaut de déséquilibre électrique au rotor.

La surveillance des engrenages par l'analyse vibratoire est l'un des intérêts les plus importants pour les chercheurs ainsi que les industriels et ce pour l'apport qu'elle fournit de façon continue. Le contrôle des engrenages et leur surveillance se fait par l'acquisition d'un signal quelconque, qui par la suite, sera comparé à un seuil de la valeur d'un indicateur issue d'un traitement extrêmement simple du même signal vibratoire. Cette surveillance est essentiellement destinée à permettre l'arrêt d'une machine avant qu'elle ne subisse des dégradations importantes.

Cette technique d'analyse est basée sur la décomposition des signaux vibratoires en plusieurs niveaux, ce qui nous permet de constater la richesse du signal vibratoire d'une éolienne avec défaut par rapport au cas sain. Le spectre du signal détaillé nous permet de détecter la fréquence de répétition des chocs qui est proche à celle obtenue théoriquement.

Cette étude a permis, en outre, de jumeler la décomposition des signaux avec les méthodes classiques et l'analyse de Fourier (FFT), ce qui nous a permis d'avoir une méthodologie offrant une détection aussi claire.

Enfin, comme suite à ce travail, on propose l'implémentation de la technique présentée dans ce mémoire, dans le but de faire le diagnostic pour un système photovoltaïque, pour détecter les différents défauts principaux du ce système, ainsi que les différentes méthodes les plus utilisées dans le diagnostic et la localisation des défauts au niveau d'un générateur PV.

Bibliographie

- [1] Dr. Bouaïcha faiza, simulation de l'effet des paramètres climatiques (température, poussière et éclairage) sur le rendement d'une cellule solaire. Mémoire pour l'obtention du diplôme de master en physique option : physique des matériaux, 2019
- [2] Cherfia naïm, conversion d'énergie produite par de générateurs éoliens, mémoire présenté pour obtenir le grade de magister en électrotechnique, université mentouri – Constantine, 2010.
- [3] Mr.boukoucha abdelhakim et chibani omar, diagnostic des défauts des machines : amélioration de la représentation temps-fréquence basée sur l'analyse d'enveloppe et les opérateurs, mémoire présenté pour obtenir le grade de magister en électromécanique, université de bejaia.2017.
- [4] derbel, h. Diagnostic à base de modèles des systèmes temporisés et d'une sous classe de systèmes dynamiques hybrides, université joseph Fourier, 2010
- [5] hamdi abderrazak, conception et dimensionnement d'un système photovoltaïque pour habitation et pompage, mémoire de master, université mohamed khider de biskra, 2018
- [6] long bun. Détection et localisation de défauts dans un système photovoltaïque. Énergie électrique. Université de Grenoble, 2011
- [7] Schéma de principe d'une éolienne, guide ADEME de l'énergie éolienne – juin 2013
- [8] El brazzi nacer eddine et errokrma omar, modélisation et diagnostic d'une MADA, mémoire de master, université Saad dahlab de Blida, 2019.
- [9] AFNOR Association Français de Normalisation, normes AFNOR X 60 010, 60 011, maintenance. Vocabulaire de la maintenance industrielle .1979
- [10] Boudjemai foudil, méthodes non-intrusives pour le diagnostic des défauts mécaniques d'une éolienne, mémoire de fin d'étude, université Abderrahmane mira de Bejaia, 2012.
- [11] Khaldi. L, Etude et commande des architectures de convertisseurs statiques AC/AC tolérantes aux défauts associés à une génératrice polyphasée, thèse de doctorat de l'université de Bejaia ,2021.
- [12] H. Cherif., " détection des défauts statorique et rotorique dans la machine asynchrone en utilisant l'analyse par FFT et ondelettes," , mémoire de magister, université de Biskra, 2014.
- [13] Quentin gaudel, approche intégrée de diagnostic et de pronostic pour la gestion de santé des systèmes hybrides sous incertitude, thèse doctorat ,université de toulouse,2016.
- [14] chelaghema Mohamed lamine, pronostic des défauts statoriques et rotoriques des machines asynchrones, pour l'obtention du diplôme de master, université Mohamed seddik ben Yahia – Jijel, 2019
- [15] chermat badreddine, diagnostic des défauts de mas par les méthodes paramétriques de traitement du signal, mémoire de master, université mohamed khider biskra, 2012.

- [16] kherbiche thabet et nedjai walid, commande vectorielle indirect d'un moteur asynchrone à cage sous défaut, mémoire présenté pour l'obtention du diplôme de master académique, université Mohamed Boudiaf - m'silla, 2021.
- [17] f. tafinine, « nouveaux outils de traitement du signal appliqués en diagnostic des systèmes électro- énergétiques », conférence, Sousse Tunisie, 2012.
- [18] r. bousseksou, « modélisation analytique des machines asynchrone application au diagnostic », mémoire de magister, université mentouri Constantine, 2007.
- [19] benhoumeur abderraouf et brahmia houssem eddine sabri, diagnostic vibratoire d'un roulement non lubrifié par la transformée en paquet d'ondelette discrète, présenté en vue de l'obtention du diplôme de master, université badji Mokhtar – Annaba, 2021.
- [20] Hariri Miloud, étude des défauts dans la machine asynchrone à cage d'écureuil par l'emploi de la fonction d'enroulement modifiée, ingénieur d'état en électrotechnique, université des sciences et de la technologie d'Oran Mohamed Boudiaf, 2009.
- [21] Drif. Malika, “diagnostic des défauts dans les machines électriques et leur surveillance par emploi de l'intelligence artificielle ”, thèse magister 2004.ustmbo.
- [22] p.vas,“ parameter estimation, condition monitoring, and diagnosis of electrical machines, clarendon press, oxford, 1993. iee trans.ind.appl.vol.28 n°4,july/august 1992.
- [23] j. r Cameron, w. t.thomson, and a. b.dow, “vibration and current monitoring for detecting airgap eccentricity in large induction motors”, iee proceedings, vol.133, no.3, may 1986, pp.155-163.
- [24] Hammas touhami, contribution à l'étude vibratoire du comportement dynamique d'un mécanisme bielle-manivelle, en vue de l'obtention du diplôme de master, université badji Mokhtar Annaba, 2017.
- [25] Bouhaf. L et Adjabi. L, Politique d'inspection non périodique d'un système se dégradant, mémoire fin d'étude de L'université de Bejaia, 2020.
- [26] p. Lamy. Probabilité de défaillance dangereuse d'un système : explications et exemple de calcul. [Rapport de recherche] notes scientifiques et techniques de l'inrs ns 225, institut national de recherche et de sécurité (inrs). 2002, 50 p., ill., bibliogr. hal-01420167.
- [27] Belkadi mohammed, diagnostic d'une machine asynchrone à double alimentation d'une éolienne, pour l'obtention du diplôme de master, université aboubakr belkaïd– Tlemcen, 2016.
- [28] Marc.T fiabilité, maintenance prédictive et vibrations des machines, etc. Québec, 621.8/12.
- [29] d. augeix, “analyse vibratoire des machines tournantes”, techniques de l'ingénieur, traité génie mécanique, pages 1-22, 2002.
- [30] Feki N., Modélisation électromécanique de transmissions par engrenages - Applications à la détection et au suivi des avaries. Thèse de Doctorat, INSA de Lyon – France, 2012.

- [31] m. kang, i. j. kim and k. j. e. al, "a massively parallel approach to real-time bearing fault detection using sub-band analysis on an fpga-based multicore system,» transaction on industry electronics, vol. 63, no. 10, pp.6325-6335, 2016.
- [32] m. kang, j. kim and l. m. wills, "time-varying and multiresolution envelope analysis and discriminative feature analysis for bearing fault diagnosis,» transaction on industry electronics, vol. 62, no. 12, pp. 7749-7761, 2015.
- [33] Yacine imaouchen « mesure et analyse des vibrations des machines électriques tournantes » thèse de doctorat de l'université de Bejaia ,2015.
- [34] f. Cottet, « traitement des signaux et acquisitions des données », livre, 2ème Edition dunod, juillet 2005.
- [35] Sawalhi n. et Randall r.b, simulation des interactions engrenages et roulements en présence des défauts partie ii : simulation des vibrations produites par des défauts étendus, système mécanique et traitement du signal, 22 (2008) 1952–1966.

