

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية
République Algérienne Démocratique et Populaire
وزارة التعليم العالي و البحث العلمي
Ministère de l'enseignement Supérieur et de la Recherche scientifique



Université Mohamed Khider Biskra
Faculté des Sciences et de la Technologie
Département de Génie Electrique
Filière : Electronique
Option : Signaux et Communications

Réf:.....

Mémoire de Fin d'Etudes
En vue de l'obtention du diplôme:
MASTER

Thème

Diagnostic de la machines asynchrone par
mesure du courant statorique

Présenté par :
BENCHABANA Ahmed Ramzi
Soutenu le : 23 Juin 2016

Devant le jury composé de :

Mr GHOGGAL Adel

MC.A

President

Mr ZOUZOU Salah -Eddine

Pr

Encadreur

Mr Yahia Khaled

MC. A

Examineur

Année universitaire : 2017 / 2018

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية
République Algérienne Démocratique et Populaire
وزارة التعليم العالي و البحث العلمي
Ministère de l'enseignement Supérieur et de la recherche scientifique



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

Option : Machine électrique

**Mémoire de Fin d'Etudes
En vue de l'obtention du diplôme:**

MASTER

Thème

**Diagnostic de la machine asynchrone
Par mésur du courant statorique**

Présenté par :

Avis favorabel de l'encadreur

BENCHABANA Ahmed Ramzi

ZOUZOU Salah eddine

signature

Avis favorable du Président du Jury

GHOGGAL Adel

Signature

Cachet et signature

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية
République Algérienne Démocratique et Populaire
وزارة التعليم العالي و البحث العلمي
Ministère de l'enseignement Supérieur et de la Recherche scientifique



Université Mohamed Khider Biskra
Faculté des Sciences et de la Technologie
Département de Génie Electrique
Filière : Électrotechnique
Option : Machine électrique

Thème :

Diagnostic de la machine asynchrone par mesure
de courant statorique

Proposé par : BENCHABANA Ahmed Ramzi

Dirigé par : ZOUZOU Salah Eddine

RESUMES (Français et Arabe)

Il est impossible d'imaginer notre vie d'aujourd'hui sans machines électriques (tournantes). Ces dernières ont un impact significatif sur la plupart des produits et des œuvres, d'être présentes dans de nombreux domaines.

Le diagnostic des défauts s'effectue de diverses techniques, et la nouvelle technique utilisée pratiquement, aujourd'hui, est la technique d'analyse des flux dispersion, car elle se base principalement sur l'analyse spectrale (FFT). L'objectif de cette étude est de faire une comparaison entre la méthode d'analyse du courant par MCSA-FFT avec la méthode d'analyse flux dispersion afin d'accéder à une décision précieuse.

Nous avons étudié le défaut d'excentricité du rotor par différentes techniques mentionnées plus haut, et aussi, notre étude des différents défauts a été réalisée analytiquement et pratiquement, ensuite un cas réel dans l'industrie a été étudié.

Mots clés : machines asynchrones à cage d'écureuil, diagnostic, transformée de Fourier, excentricité du rotor,

ملخص :

ينصوي هذا العمل تحت إطار تشخيص الأخطاء في الماكينات الكهربائية اللامتزامنة. حاليا تعتبر الماكينة اللامتزامنة العنصر المفتاح في أغلب التجهيزات الصناعية بفضل صلابتها و ثمنها المنخفض نسبيا. بالرغم من هذه الايجابيات قد تتعرض هذه الماكينة إلي إجهادات مختلفة تؤثر على أدائها و مدة حياتها الافتراضية، مما يؤدي إلى خسائر اقتصادية معتبرو هذا ما يفرض وضع نظام مراقبة لتفادي هذه الخسائر أصبح التحليل الموجي من الجزء الثابت الحالي للمحرك اللامتزامن يستخدم علي نطاق واسع لتقديم الوضع الصحي للمحرك غير متزامن من اجل تجنب الأعطاب قبل حدوثها والاستفادة من استمرارية زيادة عمر المحرك. في هذا المعنى، وقد وضعت دراسة تحليلية لتحديد التوافقيات المختلفة التي تشكل محتوى الطيفية للتيارات الموالي و تحليل الحقل المغناطيسي في حالة الصحية وحالة وجود العطب ثم تم تحديد عدة مؤشرات . تم إجراء دراسة تجريبية والمقارنة بين المؤشرات بهدف تصنيفها و استنتاج أفضلها الذي يمكن أن يعطي معلومات متأكدة و واضحة على الحالة الصحية للآلة.

Liste des figures

Chapitre I : *Etat de l'art*

Fig. I.1 Enroulements statoriques d'une phase d'une machine à 4 pôles.....	04
Fig. I.2 Photo du stator d'une machine asynchrone.....	04
Fig. I.3 Rotor à cage d'écureuil.....	05
Fig. I.4 Types de maintenance. [1].....	06
Fig. I.5 : (a) court-circuit entre spires (b) le courant de circulation (c) court-circuit entre deux faisceaux.....	09
Fig. I.6 : Défaut d'une barre cassée.....	10
Fig. I.7 :Rupture d'une et deux portions adjacentes d'anneau de court-circuit.....	11
Fig. I.8 . Structure d'un roulement à billes.....	12
Fig. I.9 . (a) rotor concentré; (b) excentricité statique;(c) excentricité dynamique.....	13
Fig. I.10 . Proportion des défauts [7].....	14
Fig. I.11 . Répartition des pannes sur les machines de faibles et moyennes puissances [7].....	15
Fig. I.12 . Répartition des pannes sur les machines de fortes puissances.....	15
Fig. I.13 les mesures utilisées pour la surveillance et le diagnostic des machines asynchrones.....	18
Fig. I.14 Dimension du roulement à billes.....	21
Fig. .I.14 Mesures vibratoires sur la machine asynchrone.....	22

Chapitre II: *Analyse des défauts par la méthode de MCSA-FFT*

Fig. II.1 : Représentation temporelle vers fréquentielle.....	27
Fig. II.2 Schéma synoptique du banc d'essai	28
Fig. II.3 Banc d'essai expérimental.....	29
Fig. II.4 Création d'excentricité statique et dynamique	29
Fig. II.5 Les différents harmoniques dans le spectre du courant statorique.....	31
Fig. II.6 Spectre du courant statorique, machine à vide (a,c) état sain (en bleu) et (b,d) état défectueux(ED) en rouge ($s=0.0044$, $\delta_s=30\%$).....	33
Fig. II.7 le signal de courant en fonction du temps (a) l'état sain , (b) l'état défectueux.....	34
Fig. II.8 . Spectre du courant statorique, machine en charge (a)état sain (en bleu) et(b) état défectueux(ED) en rouge ($s=0.035$, $\delta_d=30\%$).....	36

[Liste des figures]

Fig. II.9 : Spectre du courant statorique, machine en charge (a)état sain (en bleu) et(b) état défectueux(ED) en rouge ($s=0.035$, $\delta d=30\%$) la charge est 50%.....	37
Fig. II.10: Spectre du courant statorique, machine en charge (a)état sain (en bleu) et(b) état défectueux(ED) en rouge ($s=0.035$, $\delta d=30\%$) la charge est 20%.....	38
Chapitre III: diagnostic par analyse de flux dispersion	
Fig.III.1 Répartition de lignes de flux de fuite dans une machine électrique.....	39
Fig. III.2 Parties du champ extérieur.....	40
Fig.III.3 Mesure de champ de dispersion.....	41
Fig.III.4 : Banc d'essai expérimental et le capteur de flux.....	41
Fig.III.5 : Spectre du flux de dispersion, machine à vide état sain (en bleu) et état défectueux(ED) en rouge	42
Fig.III.6 le signal de flux en fonction du temps (a) l'état sain , (b) l'état défectueux.....	43
Fig.III.7 : Spectre du flux de dispersion, machine en charge état sain (en bleu) et état défectueux(ED) en rouge	44
Chapitre IV: Étude d'un cas réel	
Fig. IV.1 Principales stations de ligne.....	46
Fig. IV.2 Vue globale (par satellite) de la station.....	47
Fig. IV.3 le banc d'essai réel.....	48
Fig. IV.5: (a,b) Spectre du courant statorique, machine de 150 kw.....	49
Fig. IV.6 Plaque signalétique des moteurs électriques.....	50
Fig. IV.7 Photo des électropompes principales	50
Fig.VI.8 le capteur de courant.....	51
Fig.IV.9 Spectre du courant statorique, machine de 1550 kw.....	51

[Liste des figures]

LISTE DES SYMBOLES

f_{exc}	: Fréquence d'excentricité
λ_{br}	: Nombre de barre rotorique
N_b	: Nombre de bille
s	: Glissement
f_s	: Fréquence d'alimentation
f_r	: Fréquence rotorique
$f_{exc-mix}$: Fréquence excentricité mixte
ν	: Ordre de l'harmonique de temps ($\nu=1,3,5,\dots$)
k	: un nombre entier
p	: Nombre de paire de pole
n_d	: Ordre d'excentricité
δ_s	: Degré d'excentricité statique
δ_d	: Degré d'excentricité dynamique
ES	: Excentricité statique
ED	: Excentricité dynamique
j	: Unité imaginaire
t	: Temps
f_{he}	: Fréquence des harmoniques d'encoches rotoriques.
f_{roul}	: Fréquence de vibration relative aux défauts de roulements.
f_v	: Fréquence caractéristique de vibration.
f_{bille}	: Fréquence de vibration relative aux défauts de billes.
$f_{b,int}$: Fréquence de vibration relative au défaut de bague intérieure.
$f_{b,ext}$: Fréquence de vibration relative au défaut de bague extérieure.
f_b	: Fréquence caractéristique du défaut de barres.
f_{ecc}	: Fréquence d'ordre supérieur caractéristique du défaut d'excentricité.
f_{st}	: Fréquence caractéristique du défaut statorique.
n_b	: Nombre d'éléments roulant du roulement.
n_{ws}	: Ordre des harmoniques de temps de la FMM
θ	: L'angle de contact des bielles avec les bagues du roulement.
D_b	: Le diamètre d'un élément roulant.
D_c	: La distance entre les centres des billes diamétralement opposées.
T_a	: Le temps d'acquisition

Liste des symboles

Ne	:Le nombre d'échantillons
Δf	:La résolution fréquentielle
f_e	:La fréquence d'échantillonnage
PSH	: Principal slots harmonics (Harmoniques d'encoches principales).
RSH	: Rotor slots harmonics (Harmoniques d'encoches rotoriques).
TH	: Time harmonics (Harmoniques de temps).
L	: Lower
U	: Upper
FFT	:Fast Fourier transform (Transformé Fourier rapide)
MCSA	:Motor current signature analysis
f_{her}	:fréquence des harmonique d'encoche rotorique
f_{enc}	: fréquence d'encoche
Ns	: Vitesse rotation synchronisme
Nr	: Vitesse rotation moteur

LISTE DES TABLEAUX

Chapitre I : *État de l'art*

Tableau I.1 Signature des défauts.....23

Chapitre II: Analyse des défauts par la méthode de MCSA-FFT

Tableau II.1 Les harmoniques du courant statorique. [3]30

Tableau II.2 Valeurs théoriques et pratiques des harmoniques à vide.....33

Tableau II.3 Valeurs théoriques et pratiques des harmoniques en charge.....36

Sommaire

SOMMAIRE

Liste des figures	I
Liste des tableaux.....	III
Liste des symboles.....	VI
INTRODUCTION GENERL	1
CHAPITRE I	
INTRODUCTION.....	3
I.1 CONSTITUTION DE LA MACHINE ASYNCHRONE.....	3
I.1.1 Le stator.....	3
I.1.2 Le rotor.....	4
I.1.3 Organes mécaniques	5
I. 2 Maintenance.....	5
I.2.1 But de la maintenance.....	5
I.2.1.1 Objectifs financiers.....	5
I.2.1.2 Objectifs opérationnels	5
I.2.2. Types de la maintenance.....	6
I.2.2.1 Maintenance corrective.....	6
I.2.2.2 Maintenance préventive.....	6
I.2.3.La maintenance préventive conditionnelle	7
I.2.3.1. Organisation de la maintenance conditionnelle	7
I.2.3.2 Maintenance prévisionnelle.....	7
I.3. LES DEFAILLANCES DE LA MACHINE ASYNCHRONE	8
I. 3.1. Défaillances d'ordre électriques.....	8
I.3.1.1 Défauts du circuit électriques statoriques.....	8
I.3.1.2 Défauts des circuits électriques rotoriques.....	9
I.3.2. Défaillances d'ordre mécanique.....	11
I.3.2.1. Défauts des roulements à billes.....	11
I.3.2.2. Excentricité.....	12

Sommaire

I.4. ETUDE STATIQUE.....	14
I.5.METHODES DE DIAGNOSTIC DES MACHINES ASYNCHRONES.....	16
I.5.1 L'estimation de paramètres physiques.....	16
I.5.2 L'estimation d'état.....	16
I.5.3 Traitement de signaux.....	16
I.6.PARAMETRES INDICATEURS DE DEFAUT.....	17
I.6.1 Le flux magnétique axial de fuite.....	17
I.6.2 Le courant statorique.....	18
I.6.3 Les vibrations.....	18
I.6.4 Le couple.....	19
I.6.5 La température.....	19
I.7.SIGNATURES SPECTRALES POUR REVELER LE DEFAUT.....	19
I.7.1courant statorique.....	19
I.7.1.1 Les défauts des barres rotoriques.....	19
I.7.1.2 Les défauts d'excentricité.....	20
I.7.1.3 Les défauts de roulements.....	21
I.7.2Analyses vibratoires des défauts de la MAS.....	22
CONCLUSION.....	24

CHAPITRE II

INTRODUCTION.....	25
II.1 ANALYSE SPECTRAL DE COURANT STATORIQUE	25
II.2 La Transformée de Fourier.....	26
II.3 PRESENTATION ET REALISATION DU BANC D'ESSAI.....	27
II.3.1 schéma synoptique	27
II.3.2 banc d'essai	28
II.4. ANALYSE DU DU COURANT A L'ETATS SAIN ET DEFECTUEUX.....	30
II.4.1 Résultats expérimentaux à l'état sain.....	30
II.4.2 Résultats expérimentaux dédiés à l'excentricité dynamique.....	32
II.4.2.1 fonctionnement à vide	32

Sommaire

II.4.2.2 fonctionnement en charge.....	34
CONCLUSION	38

CHAPITRE III

INTRODUCTION.....	39
III.1.Champ de dispersion.....	39
III.2.1 Mesure de champ de dispersion.....	40
III.3 ANALYSE SPECTRALE De flux de dispersion.....	42
III.3.1. fonctionnement à vide.....	42
III.3.2.fonctionnement en charge.....	43
Conclusion.....	45

CHAPITRE IV

INTRODUCTION.....	46
IV .1 STATION DE POMPAGE (SP2).....	46
IV.1.1 Les principales stations de la ligne.....	46
IV.1.2 Les éléments principaux de la station(SP2).....	47
IV.2 ACQUISITION DES DONNEES EXPERIMENTAUX ISSUS DES POMPES.....	48
IV.2.1 ETUDE de Cas N°1 : Pompe à eau.....	48
IV.2.1.1 TRAITEMENT DES DONNEES EXPERIMENTALES.....	49
VI.2.2.ETUDE de Cas N°2 : Pompes entraînées par des moteurs électriques de vitesses variables.....	50
VI.2.2.1.Caractéristique du moteur.....	50
IV.2.2.2. TRAITEMENT DES DONNEES EXPERIMENTALES.....	52
CONCLUSION.....	52

Sommaire

CONCLUSIONGENERAL.....	53
BIBLIOGRAPHIE.....	54

Introduction générale

Introduction générale

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

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

Cependant, nul système n'est à l'abri d'une défaillance, par conséquent, ceci exige la mise en œuvre de systèmes de prévoyance et de détection de défauts de manière précoce. Pour cela, des nombreuses méthodes ont été proposées pour la détection des défauts et le diagnostic

L'observation avec l'analyse spectrale de courant est une technique largement utilisée dans l'industrie, notamment pour la surveillance des composants sensibles ou stratégiques d'un système, par exemple les roulements à billes, les engrenages ou les rotors ; elle permet de dénoter et de déceler quelques problèmes.

La procédure de l'analyse des signatures courant du moteur (ASCS ou MCSA en Anglais) consiste à détecter l'apparition d'un défaut sans démontage de la machine en prélevant l'image courant à l'aide d'un capteur de courant. Dans la plupart des cas, le traitement des signaux s'effectue par l'analyse du contenu spectral.

Le même principe d'analyse du courant (spectre), est appliqué au flux dispersion de la machine asynchrone. Cette technique qui se base sur l'analyse des signatures du flux axial en utilisant la transformée de Fourier rapide (TFR ou FFT en Anglais)

Pour bénéficier des avantages que procurent ces approches, nous posons la question sur la méthode la plus efficace au diagnostic des machines asynchrones. L'objectif de cette étude est de faire une comparaison entre la méthode d'analyse du courant par MCSA-FFT avec la méthode d'analyse de flux dispersion

Pour arriver aux objectifs fixés, ce travail sera structuré de la façon suivante :

Introduction générale

- Dans le premier chapitre, nous présenterons les principaux défauts pouvant modifier le bon fonctionnement de la machine asynchrone, leurs origines, ainsi que leurs signatures spectrales sur le courant statorique. Nous présenterons par la suite, les différentes techniques utilisées pour la détection des défauts, ainsi qu'un bref rappel sur la maintenance.
- Dans le deuxième chapitre, nous présenterons la méthode MCSA FFT, on va l'appliquer au défaut d'excentricité rotorique.
- Le troisième chapitre sera consacré à l'étude des défauts de l'excentration du rotor par l'analyse de flux dispersion
- Le quatrième chapitre fera l'objet d'étude d'un cas réel avec l'utilisation de la méthode d'analyse spectral du courant.
- Une conclusion générale s'impose à la fin de ce mémoire, pour montrer l'état d'avancement de notre travail.

INTRODUCTION

Le moteur asynchrone est la machine la plus utilisée dans le domaine des puissances supérieures à quelques kilowatts. Ceci, parce-qu' il présente de nombreux avantages tels que sa puissance, sa robustesse, sa facilité de mise en œuvre et son faible coût, etc.

L'apparition des variateurs dans les années 1980 qui permettent de faire varier la fréquence de rotation dans une large gamme, a grandement favorisé le développement du moteur asynchrone. En effet, il entre dans la conception de nombreux procédés industriels associant des convertisseurs statiques et des machines électriques (traction électrique, levage, pompage, etc.).

Bien que la machine asynchrone ait la réputation d'être robuste, elle peut présenter comme toute autre machine électrique, des défaillances d'ordre électrique ou mécanique. Ainsi, en raison des conséquences importantes et coûteuses que peut engendrer l'apparition d'un défaut sur les processus industriels, le diagnostic des défauts fait l'objet d'un engouement prononcé depuis les deux dernières décennies [3].

I.1 CONSTITUTION DE LA MACHINE ASYNCHRONE

La machine asynchrone, souvent appelée moteur à induction, comprend un stator et un rotor, constitué de tôles d'acier au silicium et comportant des encoches dans lesquelles on place les enroulements. Le stator est fixe ; on y trouve les enroulements reliés à la source. Le rotor est monté sur un axe de rotation. Selon que les enroulements du rotor sont accessibles de l'extérieure ou sont fermés sur eux-mêmes en permanence, on définit deux types de rotor: bobiné ou à cage d'écureuil. Toutefois, nous admettrons que sa structure est électriquement équivalente à celle d'un rotor bobiné dont les enroulements sont en court-circuit. Dans ce travail, nous nous intéressant à la machine asynchrone à cage d'écureuil [4].

I.1.1 Le stator

Le circuit magnétique est un empilement de tôles fines d'acier découpées, faisant apparaître les différentes encoches statoriques. On utilise des tôles minces dont l'épaisseur varie entre 0.35 et 0.50mm pour minimiser les pertes dans le circuit magnétique. De plus, afin de limiter l'effet des courants de Foucault, on isole habituellement les tôles d'une mince couche de vernis ou de silicate de soude. Le bobinage statorique est constitué de deux parties (Figure .I.1) : les conducteurs d'encoches et les têtes de bobines. Les conducteurs d'encoches permettent de créer dans l'entrefer le champ magnétique à l'origine de la conversion électromagnétique. Les têtes de bobines permettent, quant à elles, la fermeture des courants en organisant leur circulation, l'objectif étant d'obtenir une répartition des forces magnétomotrices

et du flux la plus sinusoïdale possible dans l'entrefer, pour limiter les oscillations du couple électromagnétique[2].

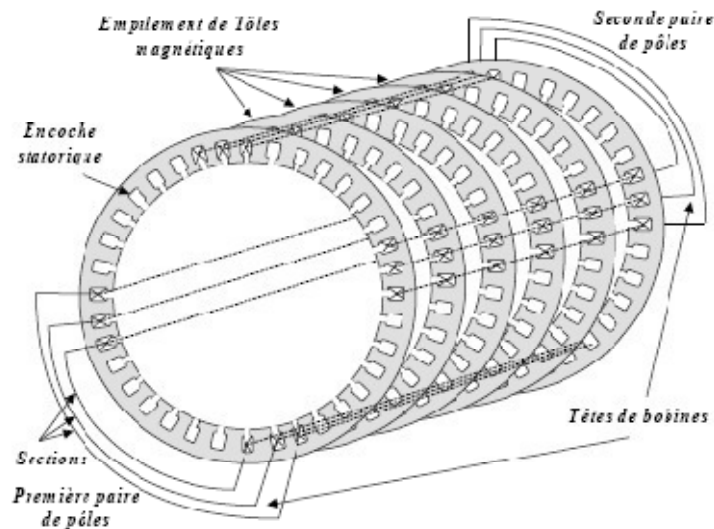


Fig. I.1 Enroulements statoriques d'une phase d'une machine à 4 pôles

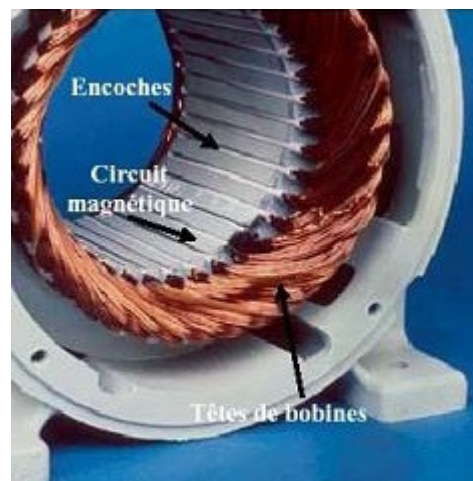


Fig. I.2 Photo du stator d'une machine asynchrone

I.1.2. Le rotor

Le rotor est constitué comme le stator de tôles empilées et habituellement du même matériau. Dans les petits moteurs, les tôles sont découpées dans une seule pièce et assemblées sur un arbre. Dans de plus gros moteurs, chaque lamination est constituée de plusieurs sections montées sur un moyeu.

Dans le cas des rotors à cage d'écureuil, les encoches peuvent être semi-ouvertes ou fermées. Les enroulements sont constitués de barres court-circuitées par un anneau terminal placé à chaque extrémité du rotor. Les conducteurs sont généralement réalisés par coulage d'un

alliage d'aluminium, ou par des barres massives de cuivre ou, à l'occasion, en laiton préformées et frettées dans les tôles du rotor. Il n'y a généralement pas, ou très peu, d'isolation entre les barres rotoriques et les tôles magnétiques. Leur résistance est suffisamment faible pour que les courants ne circulent pas dans les tôles, sauf lorsqu'il y a une rupture de barre. [8]

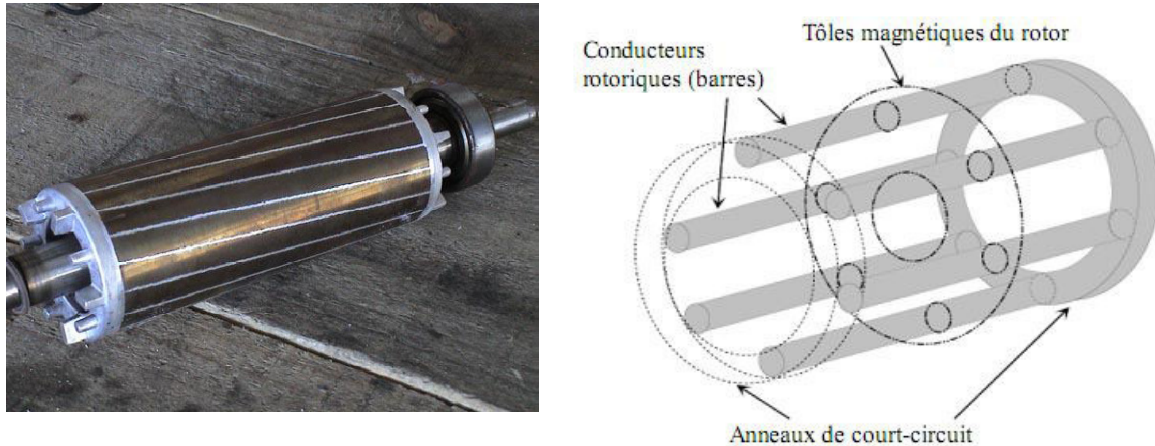


Fig. I.3 Rotor à cage d'écureuil

I.1.3. Organes mécanique

De chaque côté, un flasque est monté sur lequel le rotor sera positionné grâce à des roulements à billes ou à rouleaux, à cause de cette raison on dit que le stator est autoporteur. Pour assurer le refroidissement de la machine, un ventilateur est placé en bout d'arbre sur le rotor. Il peut être remplacé par une ventilation forcée motorisée pour le refroidissement aux vitesses lentes.

I.2 Définition de la maintenance

La maintenance c'est un ensemble des activités destinées à maintenir, à rétablir un bien dans un état ou dans des conditions données de sûreté de fonctionnement, pour accomplir une fonction requise [2].

I.2.1 But de la maintenance

Les objectifs de la maintenance peuvent être classés en deux types

I.2.1.1 Objectifs financiers

- Réduire au minimum les dépenses de maintenance
- Assurer le service de maintenance dans les limites d'un budget.

I.2.1.2 Objectifs opérationnels

- Maintenir l'équipement dans les meilleures conditions possibles.
- Assurer la disponibilité maximale de l'équipement à un prix minimum
- Augmenter la durée de vie des équipements

I.2.2. Types de la maintenance

Nous distinguons plusieurs types de maintenance (figure I.4)

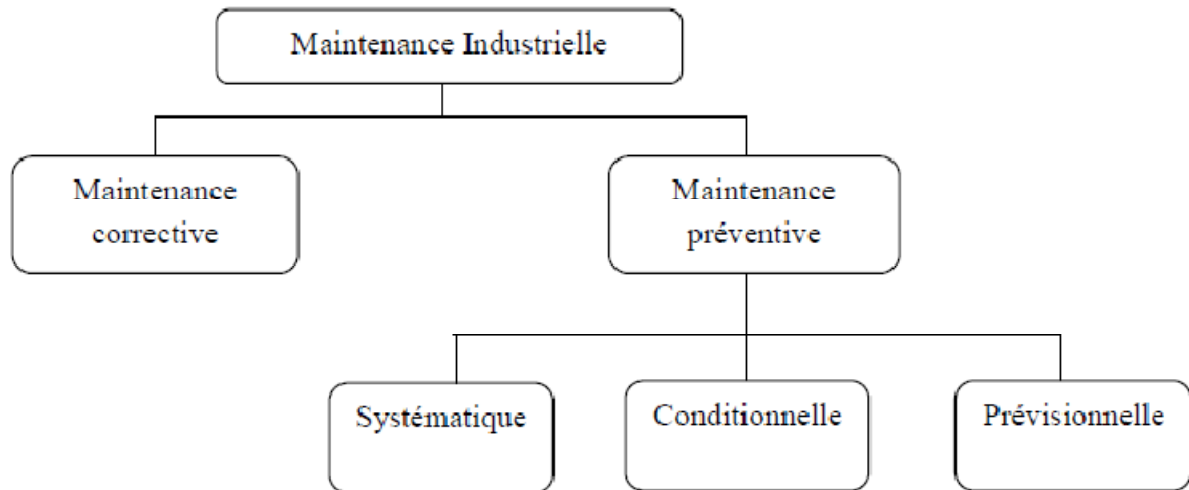


Fig. I.4 Types de maintenance [1].

I.2.2.1 Maintenance corrective

Qui vise à intervenir à la suite de pannes, cela ne veut pas dire que toutes ces pannes n'ont pas été prévisibles, ce type de maintenance sera facilité par une bonne maintenabilité (aptitudes à maintenir ou à rétablir un dispositif, dans un état, lui permettant d'accomplir sa fonction), il pourra permettre d'améliorer la fiabilité globale en analysant les problèmes rencontrés en contrôle techniques ou cercles de qualité ou avec les constructeurs [1].

a. Les avantages

- Pas d'investissement en contrôle.

b. Les inconvénients

- Dommages conséquents
- Coût de réparation élevé
- Pas de planification
- Pertes de production si la machine est critique

I.2.2.2 Maintenance préventive

Maintenance exécutée à des intervalles prédéterminés ou selon des critères prescrits et destinée à réduire la probabilité de défaillance ou la dégradation du fonctionnement d'un bien.

C'est une politique qui s'adresse aux éléments provoquant une perte de production ou des coûts d'arrêts imprévisibles, mais importants.

a. Les avantages

- Planification des arrêts d'entretien
- Optimisation de l'intervention (préparation).
- Limite les risques de panne.

b. Les inconvénients

- Coût de maintenance élevé.
- Approche statistique.
- Risque induit par une intervention parfois non nécessaire [4] .

I.2.3.La maintenance préventive conditionnelle

Définition d'après la Norme NF X 60010, la maintenance préventive conditionnelle définit comme « une maintenance préventive subordonnée à un type d'événement prédéterminé (auto diagnostic, information d'un capteur, Mesure d'une usure, révélateur de l'état de dégradation du bien) » [2].

a. Les avantages

- Optimisation de la durée de fonctionnement.
- Optimisation de l'intervention (préparation).
- Evaluation réelle de l'état de la machine
- Evite les pertes de production.

b. Les inconvénients

Coût de l'investissement (homme / matériel).

I.2.3.1 Maintenance prévisionnelle

Maintenance conditionnelle exécutée en suivant les prévisions extrapolées de l'analyse et de l'évaluation de paramètres significatifs de la dégradation du bien (EN 13306) [2] .

I.3. LES DÉFAILLANCES DE LA MACHINE ASYNCHRONE

Bien que la machine asynchrone à cage d'écureuil soit réputée pour sa robustesse, elle peut parfois présenter différents types de défauts. Ces défauts peuvent être soit d'origine électrique, soit d'origine mécanique. Un problème minime à l'étape de fabrication ou le milieu dans lequel la machine est utilisée sont aussi des causes à l'origine d'un défaut.

I. 3.1. Défaillances d'ordre électrique

Les défaillances d'origine électrique peuvent, dans certain cas, être la cause d'un arrêt de la machine. Ces défaillances se séparent en deux catégories bien distinctes. Nous pouvons citer les défauts qui apparaissent au niveau des circuits électriques statoriques et ceux qui apparaissent au niveau des circuits électriques rotoriques.

I.3.1. 1. Défauts des circuits électriques statoriques

D'où proviennent les pannes statoriques dans les moteurs asynchrones ?

Même si les vibrations des conducteurs d'encoches et les divers frottements qui en résultent, suite à de grandes sollicitations de la machine, accélèrent l'usure des isolants, il reste que le facteur principal de vieillissement est l'échauffement anormal des bobinages. En effet, pour les machines fonctionnant en milieu hostile, poussière et humidité viennent de se déposer : pour les machines fermées entre les ailettes extérieures, et pour les machines ouvertes au niveau des têtes de bobines, affaiblissant ainsi l'isolation électrique et court-circuitant les conducteurs [8].

Les courts circuits internes

Le court-circuit de spires est donc le défaut le plus nuisible et le plus fréquemment rencontré au stator. Ce sont des pannes dues à un court-circuit dans une ou plusieurs phases statoriques. Ce type de défaut provoque une détérioration de la machine. Il conduit à un déséquilibre de phases, ce qui perturbe les commandes développées sur la base du modèle de Park. Un défaut de court-circuit est une connexion directe entre deux points du bobinage. Il peut se manifester soit entre les spires au milieu du bobinage ou bien entre une spire et le neutre. On distingue trois types de court-circuit au niveau du stator [8].

- *Court-circuit spire neutre* : Le courant dans la phase concernée a une amplitude supérieure par rapport au courant des autres phases. Toutefois, les courants qui parcourent ces phases sont amplifiés par rapport au cas de la machine saine. Plus important est le nombre de spires en court-circuit, plus forte est l'augmentation des courants. De plus le facteur de puissance diminue avec l'augmentation de nombre de

spires en court-circuit. Ce qui explique la modification des bobinages, qui implique une variation de l'inductance propre de la phase affectée également par le défaut et affecte les autres par couplage magnétique.

- Court-circuit au milieu de la phase: le court-circuit entre spires loin du neutre augmente les courants dans les phases statoriques, dans les barres, et les portions d'anneaux du circuit rotorique.
- Court-circuit entre phases différentes: l'apparition d'un court-circuit proche de l'alimentation entre deux phases, induirait un courant très fort conduisant à la fusion des conducteurs. Cependant, un court-circuit proche du neutre engendre un déséquilibre sans provoquer la fusion des conducteurs. De plus, les courants des barres sont amplifiés lors de l'apparition du défaut.

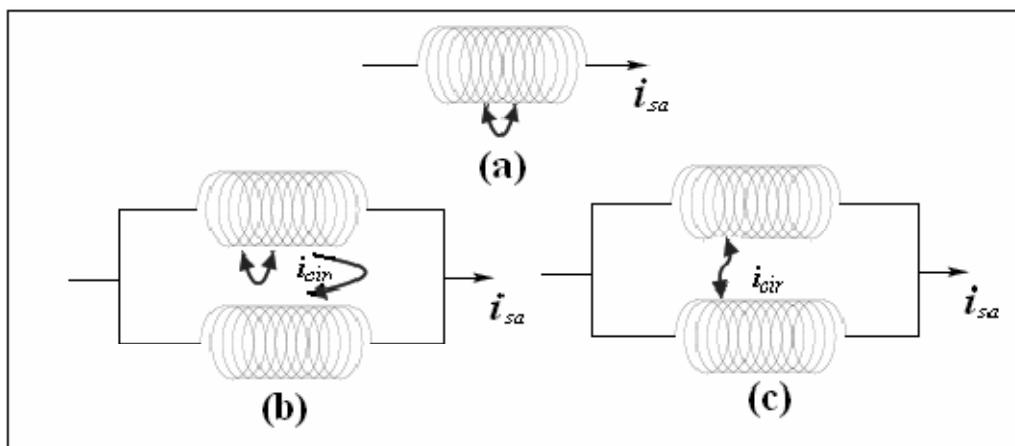


Fig. I.5: (a) court-circuit entre spires (b) le courant de circulation (c) court-circuit entre deux faisceaux

I.3.1.2. Défauts des circuits électriques rotoriques

Le problème des ruptures de barres dans les moteurs asynchrones a été à l'origine des premiers travaux de recherche sur le diagnostic des machines tournantes. L'émergence de nombreux travaux de recherche, notamment ceux des mécaniciens par analyse vibratoire, a contribué à une avancée prometteuse du diagnostic des machines tournantes à vitesse constante (machine asynchrone, alternateurs, etc.). Les défauts rotoriques typiques des machines asynchrones sont dus à un défaut de fabrication, ou à un défaut d'utilisation. On peut citer les principaux :

- Une rupture partielle ou totale d'une barre au rotor survenant généralement à cause de l'échauffement dû aux sollicitations.

- Une barre résistive due à la présence de poches d'air dans les encoches rotoriques. Ce défaut se produit lors de la fabrication car la phase du coulage de l'aluminium dans les tôles empilées n'est pas parfaitement maîtrisée (absence d'étanchéité totale).
- Une rupture de soudure au niveau de l'anneau de court-circuit, notamment pour les fortes puissances.
- Une rupture de portion d'anneau de court-circuit.

Une défaillance au niveau de la cage rotorique se situe généralement à la jointure entre une barre et un anneau de court-circuit. En effet, les barres rotoriques et les anneaux de court-circuit ne pouvant pas être construits d'un seul bloc (sauf pour les machines de petites puissances), une soudure est pratiquée aux extrémités de chaque barre pour relier ces dernières aux deux anneaux de court-circuit. La fragilité de ces soudures, par rapport aux barres et aux anneaux fabriqués d'un seul bloc, provoque, à ces endroits précis, une fragilité de la cage d'écurueil [8].

a) Les cassures des barres

Ces défauts apparaissent au niveau du rotor .Ce sont les défauts les plus fréquents. Ils se présentent par des ruptures totales ou partielles d'une (s) barre (s) au niveau de la cage d'écurueil. Ils se traduisent par une augmentation de la résistance équivalente d'un enroulement rotorique.

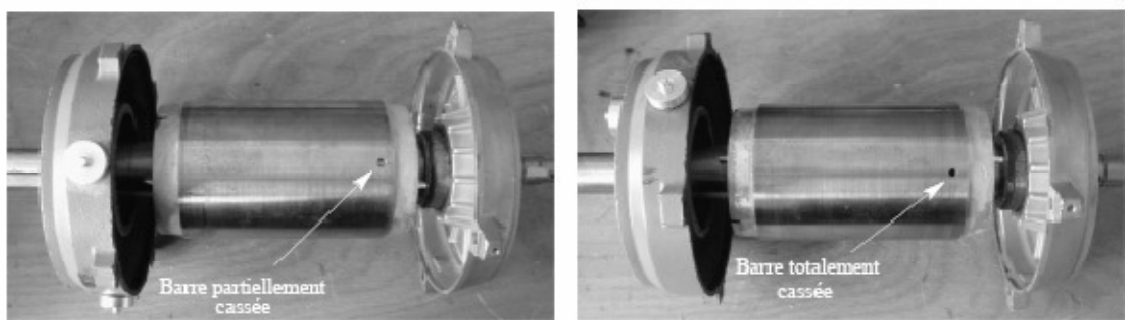


Fig. I.6:Défaut d'une barre cassée

Ces pannes rotoriques engendrent malheureusement des ondulations dans le couple électromagnétique qui elles-mêmes provoquent des oscillations de la vitesse de rotation de la machine. Ce qui génère des défauts mécaniques en plus dans la machine[8].

b) Cassure d'une portion d'anneau de court-circuit

Les cassures de portion d'anneaux sont dues soit à des bulles de coulées ou aux dilatations entre les barres et les anneaux. Les anneaux de court-circuit véhiculent des courants plus importants que ceux des barres rotoriques. Un mauvais dimensionnement des anneaux, une détérioration des conditions de fonctionnement ou une surcharge du couple et donc de courant peuvent entraîner leur cassure. La cassure d'une portion d'anneau engendre un comportement similaire à celui de la cassure de barres.[3]

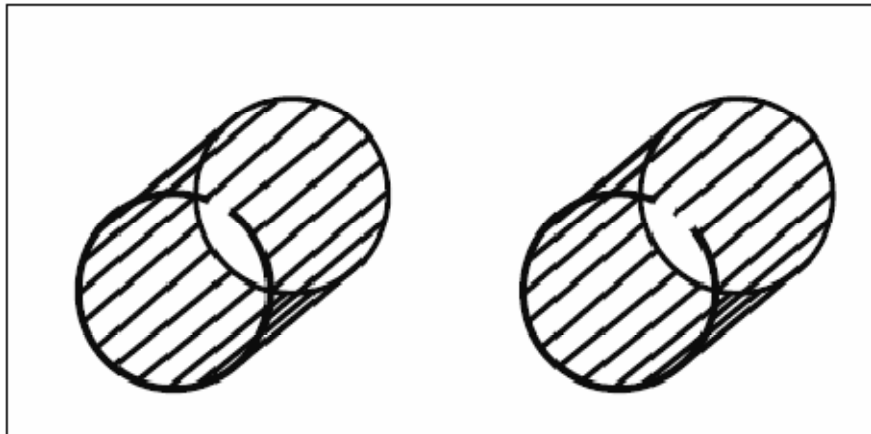


Fig.I.7:Rupture d'une et deux portions adjacentes d'anneau de court-circuit.

I.3.2.Défaillances d'ordre mécaniques

Les défaillances d'ordre mécaniques sont, en général, les plus rencontrées parmi tous les défauts que compte la machine asynchrone. Ces défauts peuvent apparaître au niveau des roulements à billes, des flasques ou encore de l'arbre moteur. Nous énumérons, dans la suite du document, certains de ces défauts. Nous pouvons trouver dans la littérature des ouvrages très complets qui traitent de ces divers problèmes [8].

I.3.2.1.Défauts des roulements à billes

Le roulement à billes est un organe de base dans la machine asynchrone qui joue le rôle d'interface mécanique entre le stator et le rotor. En plus, il représente l'élément de maintien de l'axe de la machine permettant de garantir une bonne rotation du rotor. La majorité des machines électriques utilisent les roulements à billes ou à rouleaux. Le roulement à billes est le plus utilisé dans le monde industriel parce qu'il a le meilleur rapport performance-prix [2].

Le roulement est composé des éléments suivants :

- Deux bagues concentriques en acier, appelés bague intérieure et bague extérieure, comportant des chemins de roulement (surfaces sur lesquelles "roulent" les corps roulants).

- Des corps roulants, billes ou rouleaux généralement en acier, permettant le mouvement des deux bagues avec un frottement minimal.
- Une cage séparant et guidant les corps roulants (en polyamide, tôle acier, laiton ou résine).

La figure I.7 montre la construction typique d'un roulement à billes.

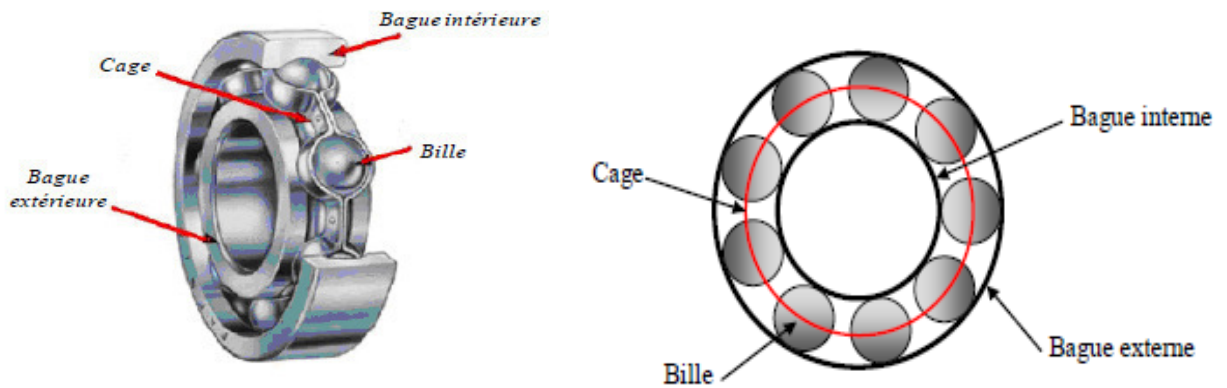


Fig. I.8. Structure d'un roulement à billes

Suivant l'emplacement géométrique du défaut dans le roulement, nous pouvons distinguer les types de défauts suivants :

- Défaut de bague extérieure.
- Défaut de bague intérieure.
- Défaut de billes.

Les roulements peuvent être endommagés par les causes suivantes :

- Contamination du roulement par des particules extérieures : poussière, grains de sable, etc.
- Corrosion engendrée par la pénétration d'eau, d'acides,
- Lubrification inadéquate qui peut causer un échauffement et l'usure du roulement.
- Mauvais alignement du rotor.
- Une température de fonctionnement élevée.
- Courant qui traverse le roulement et qui cause des arcs électriques.
- Installation inexacte du roulement ; en forçant incorrectement le roulement sur l'arbre du rotor ou dans les flasques (dû au désalignement), des entailles seront formées sur les chemins de roulement[2].

I.3.2.2. Excentricité

Parfois, la machine électrique peut être soumise à un décentrement du rotor, se traduisant par des oscillations de couple (décalage entre le centre de rotation de l'arbre et le centre du rotor). Ce phénomène est appelé excentricité (statique et dynamique) 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)[3].

Trois cas d'excentricité sont généralement distingués :

- l'excentricité statique, le rotor est déplacé du centre de l'alésage stator mais tourne toujours autour de son axe.
- l'excentricité dynamique, le rotor est positionné au centre de l'alésage mais ne tourne plus autour de son axe.
- l'excentricité qu'on pourrait qualifier de 'mixte', associant les deux cas précédemment cités.

On peut représenter l'excentricité statique et dynamique de la manière suivante :

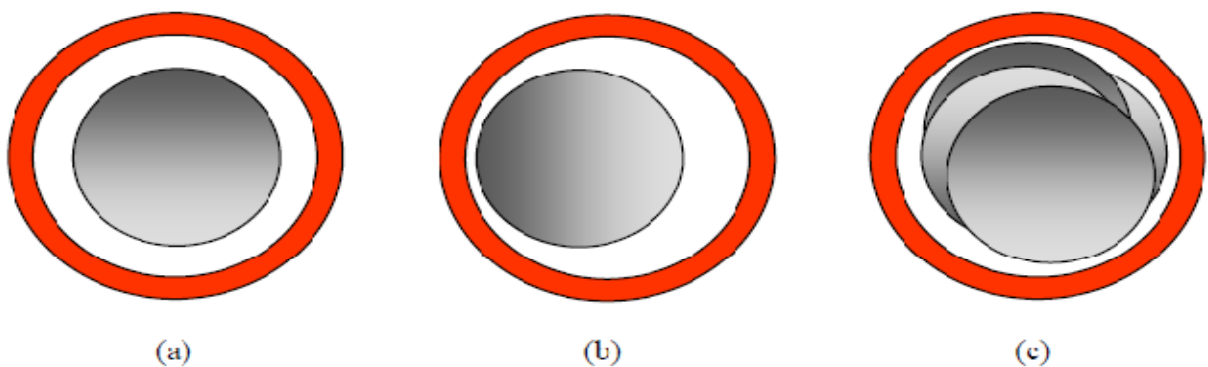


Fig. I.9. (a) rotor concentré; (b) excentricité statique; (c) excentricité dynamique.

Ce défaut modifie le comportement magnétique ainsi que mécanique de la machine. En effet, l'augmentation de l'excentricité dans l'entrefer induit une augmentation des forces électromagnétiques qui agissent directement sur le noyau statorique ainsi que l'enroulement correspondant, ce qui engendre une dégradation de son isolation.

D'autre part, cette augmentation peut avoir comme conséquence des frottements entre le stator et le rotor en raison des forces d'attraction magnétique qui déséquilibrent le système. Ceci donne naissance à des niveaux de vibration considérables dans les enroulements[3].

I.4. ÉTUDE STATISTIQUE

Une étude statistique, effectuée en 1988 par une compagnie d'assurance allemande de systèmes industriels sur les pannes des machines asynchrones de moyenne puissance (de 50 kW à 200kW) a donné les résultats suivants (figure 1.5) :[7]

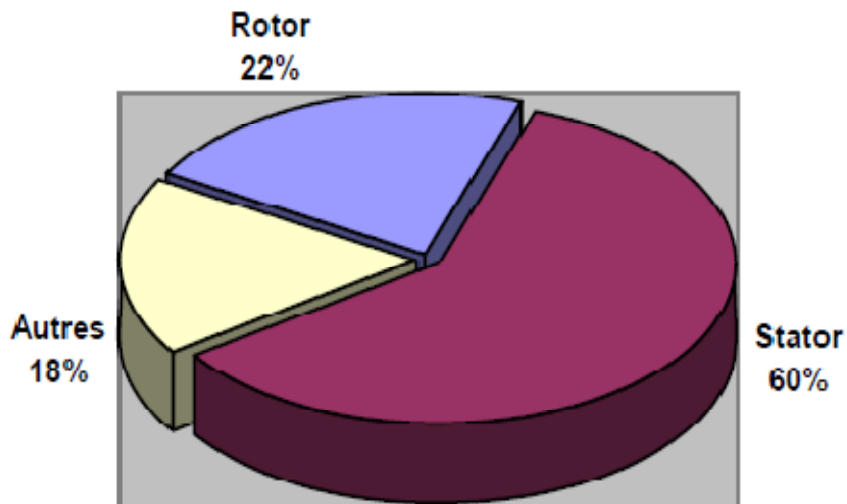


Fig. I.10. Proportion des défauts [7]

D'autre part, les mêmes études montrent qu'entre 1973 et 1988, les pannes au stator sont passées de 78% à 60% et au rotor 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 présentée dans la figure suivante :

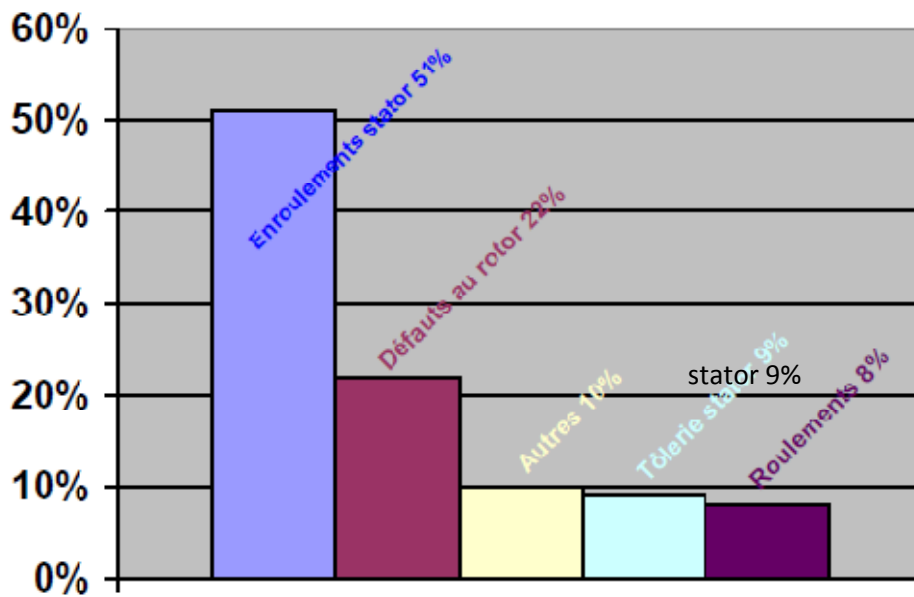


Fig. I.11. Répartition des pannes sur les machines de faibles et moyennes puissances [7]

Une autre étude statistique faite sur des machines de grande puissance (de 100 kW à 1 MW) donne les résultats suivants [7] :

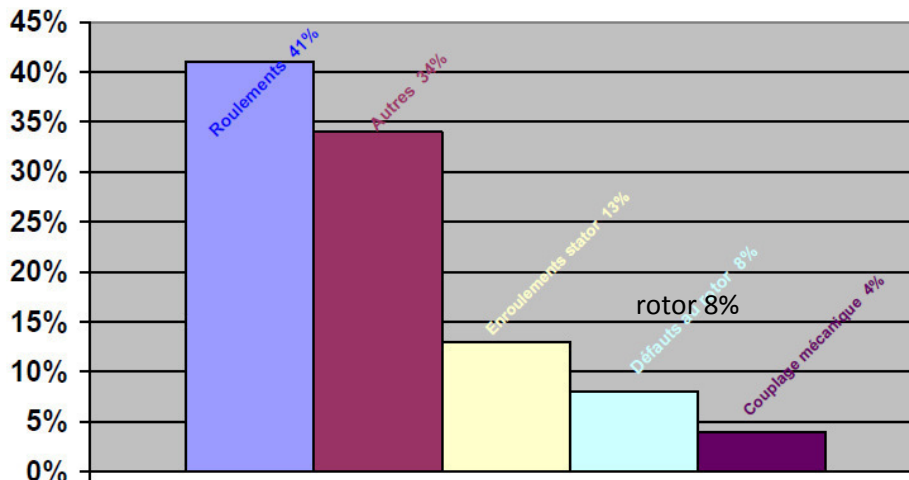


Fig. I.12. Répartition des pannes sur les machines de fortes puissances

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. [7]

I.5.MÉTHODES DE DIAGNOSTIC DES MACHINES ASYNCHRONES

Il existe une variété de techniques de diagnostic et de détection des défauts. On présente dans ce qui suit quelques-unes qui concernent la détection des défauts machine.

I.5.1.L'estimation de paramètres physiques

La détection et la localisation des défaillances par estimation paramétrique consistent à identifier les paramètres structuraux d'un modèle de connaissance, puis d'extraire le paramètre physique du système à partir des lois de connaissance. Le point essentiel du diagnostic par identification paramétrique est le choix du modèle. De ce choix dépend le type de défaut que l'on pourra détecter sur la machine. En effet pour détecter et localiser un défaut au stator ou au rotor, il faut que ce dysfonctionnement puisse être discriminé au niveau des paramètres physique estimés[9].

I.5.2.L'estimation d'état

La détection de défauts par estimation d'état a surtout été étudiée avec le modèle de PARK. Les techniques de détection de défauts les plus répandues en automatique reposent sur la génération de résidus à partir d'un modèle de fonctionnement sain. Différentes approches, que l'on peut classer sous le terme générique d'estimation d'état, ont été étudiées et évaluées par plusieurs méthodes :

- Banc d'observateur à entrées inconnues avec découplage non linéaire, sur la base du modèle de Park.
- Observateur d'état à mode glissant.
- Génération de résidus par projection des équations du modèle de Park dans l'espace de parité.

En diagnostic, l'objectif est d'estimer les variables d'état du système à partir d'un modèle de comportement parallèle rebouclé de façon à s'affranchir essentiellement des problèmes d'initialisation des grandeurs d'état. Ces grandeurs estimées sont comparées aux grandeurs mesurées afin de détecter le dysfonctionnement dans le système surveillé[8].

I.5.3.Traitement de signaux

Pour effectuer le diagnostic d'une installation, les opérateurs de maintenance analysent un certain nombre de symptômes tels que le bruit, la température, les vibrations, etc. En s'appuyant sur leur expérience, ces symptômes ne sont que la manifestation flagrante d'une modification des caractéristiques temporelles et fréquentielles d'un certain nombre de grandeurs mesurables[8].

Toutes les méthodes de traitements de signal disponibles pour le diagnostic des machines tournantes peuvent être classées dans cinq groupes différents:

a. Analyse spectrale

L'analyse spectrale est certainement la méthode la plus naturelle pour le diagnostic des barres cassées. En règle générale, la seule grandeur intéressante accessible au stator est le courant et l'intérêt de son analyse spectrale est de pouvoir détecter et identifier l'élément défectueux en fonction de sa fréquence.

b. Analyse cepstrale

Le cepstre est un anagramme du mot 'spectre' la raison de ce choix tient à ce qu'on obtient le cepstrum en effectuant une analyse spectrale supplémentaire sur le spectre fréquentiel du signal observé. Le cepstre est plus particulièrement utilisé dans les analyses vibratoires des machines tournantes. Les principales applications concernent la détection des défauts dans les roulements, les turbines ou encore les engrenages [8].

c. Les méthodes de détection de fréquences connues

Ces méthodes reposent sur le principe que les défauts se caractérisent par l'apparition au renforcement d'une raie à une fréquence fixe ou proportionnelle à la vitesse de rotation de la machine.

d. Méthodes temps –fréquence

Les méthodes d'analyse temps –fréquence ont été développées pour l'étude des signaux non-stationnaires. Plus généralement elles s'appliquent à des signaux dont le contenu fréquentiel ou les propriétés statistiques évoluent au cours du temps. Pour décrire cette évolution temporelle il faut réaliser une analyse spectrale évolutive.

e. Méthode temps-échelle

Ce mode de représentation est utilisé pour détecter des phénomènes qui se déroulent sur des échelles de fréquence différentes rencontrées dans un signal.

I.6.PARAMÈTRES INDICATEURS DE DÉFAUTS

Parmi les signaux qui contiennent les informations jugées pertinentes par les spécialistes du domaine et considérées comme paramètres indicateurs de défauts on a :

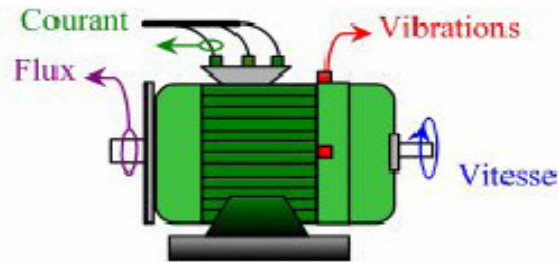


Fig. I.13 les mesures utilisées pour la surveillance et le diagnostic des machines asynchrones.

I.6.1. Le flux magnétique axial de fuite

Les circuits électriques et magnétiques de la machine ne sont jamais parfaits à causes des tolérances et des défauts de fabrication parmi d'autres, et présentent souvent quelques degrés d'asymétrie permettant la génération des flux de fuite dont le contenu spectral est lié directement aux harmoniques contenus dans les courants statoriques et rotoriques [1].

I.6.2. Le courant statorique

Cette technique est connue sous l'abréviation MCSA (MotorCurrent Signature Analysis). La MCSA consiste à affecter à chaque défaut une signature spectrale le caractérisant. Dans le même contexte, il a été démontré que la sévérité du défaut est fonction de l'amplitude des composantes fréquentielles qu'il génère, et notamment, des raies déjà présentes dans le moteur sain (harmoniques d'espace).

I.6.3. Les vibrations

Le diagnostic par l'analyse vibratoire fait partie des techniques mécaniques qui sont employées /pour déceler des défauts au niveau des machines électriques. Une vibration est souvent accompagnée d'un bruit sonore qui peut être élevé même pour des faibles amplitudes de vibration. Le diagnostic des défauts en utilisant l'analyse vibratoire est la méthode la plus connue dans la pratique. Les forces radiales, créées par le champ d'entrefer, provoquent des vibrations dans la machine asynchrone. Ces forces sont proportionnelles au carré de l'induction magnétique [1].

Les vibrations de la machine peuvent être captées par des accéléromètres placés sur les paliers selon les directions axiale, verticale et radiale. Les spectres des signaux de vibrations, issus du moteur avec défaut, sont comparés avec ceux de références enregistrées lorsque le moteur était en bon état. Cette méthode permet la détection aussi bien des défauts électriques que mécaniques puisque la distribution de l'induction magnétique dans l'entrefer est le produit de la F.m.m et de la perméance (P), la force magnétomotrice contient les effets des asymétries du stator ou du rotor et la perméance dépend de la variation de l'entrefer (à cause des ouvertures

des encoches statoriques, rotoriques et l'excentricité). Cependant, le coût des capteurs de vibration qui est relativement élevé, ainsi que les difficultés rencontrées dans la connexion de ces capteurs (problème d'accessibilité) représentent les limites et les inconvénients de cette méthode [8].

I.6.4.Le couple

Le couple électromagnétique développé dans les machines électriques, provient de l'interaction entre le champ statorique et celui rotorique. Par conséquent, tout défaut, soit au niveau du stator ou au rotor, affecte directement le couple électromagnétique. L'analyse spectrale de ce signal, donne des informations pertinentes sur l'état du moteur. Cependant, la nécessité d'un équipement assez coûteux pour l'acquisition de cette grandeur représente l'inconvénient major de cette méthode [8].

I.6.5.La température

Grâce à des dispositifs à infrarouge, on perçoit les zones chaudes dont les températures dépassent les températures limites prédéterminées. Pour ce faire, un balayage systématique de l'ensemble de l'installation électrique, et notamment du moteur asynchrone, est effectué. Les systèmes examinés étant en fonctionnement, les éléments qui composent l'installation électrique sont en charge normale. En fait, ils vont nous apparaître, sur l'image infrarouge plus ou moins rayonnant suivant leur rôle, leur conception, leur charge et leur matériau. L'opérateur fait la part des choses entre les températures normales de fonctionnement et les anomalies [1].

I.7.SIGNATURES SPECTRALES POUR RÉVÉLER LE DÉFAUT

I.7.1.Courant statorique

Parmi tous les signaux utilisables, le courant statorique s'est avéré être l'un des plus intéressants, car il est très facile à mesurer et nous permet de détecter aussi bien les défauts électriques, même les défauts purement mécaniques.

I.7.1.1 Les défauts des barres rotoriques

Un défaut dans le rotor va engendrer une sorte d'asymétrie qui, dans le cas d'une alimentation par un système de tensions triphasées symétrique, va être à l'origine d'un champ magnétique inverse de fréquences f_s dans le circuit rotorique. Cela va engendrer des courants circulant dans le circuit statorique à une fréquence de $(1 - 2s)f_s$ Une autre composante apparaît aussi dans le spectre du courant statorique à une fréquence de $(1 + 2s)f_s$

Cette composante est due aux fluctuations de la vitesse provoquées par les oscillations du couple. Il a été démontré qu'un processus répétitif donne naissance à une série d'harmoniques dont les fréquences sont données par [8] :

$$(1 + 2s)f_s \quad (I.1)$$

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

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

$$f_{cb} = \left[\frac{k}{p} (1 - s) \right] \cdot f_s \quad (I.2)$$

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

Les défauts de cassure de barres génèrent également dans les signaux du couple et de vitesse des composantes de fréquences $2sf_s$ et $4sf_s \dots$ [8].

I.7.1.2. Les défauts d'excentricité

L'excentricité se répartit en deux catégories : statique et dynamique (voir la Figure I.8). L'excentricité statique se distingue par le fait que le centre du rotor n'est pas égal à celui du stator. L'excentricité dynamique est caractérisée par le fait que le centre du rotor tourne autour du centre du stator.

Même à l'état sain, la machine présente toujours un certain degré d'excentricité statique résiduelle dû aux inévitables erreurs de fabrication [1]. La présence de l'excentricité se manifeste par la création d'harmoniques dans le spectre du courant à des fréquences f_{exc} données par :

$$f_{Exc} = \left[\left(\frac{k \lambda_{br} \pm n_d}{p} \right) (1 - s) \pm \nu \right] \cdot f_s \quad (I.3)$$

Avec k un entier et $\nu = 1, 2, 3, \dots$. l'ordre de l'excentricité n_d est égal à 0 pour l'excentricité statique, et 1, 2, 3, ... pour l'excentricité dynamique.

Une autre série d'harmoniques liés à la coexistence des deux types d'excentricité en même temps (excentricité mixte), apparaît de part et d'autre de la fondamentale à des fréquences données par [1] :

$$f_{mix} = \left| f_s \pm k f_r \right| \quad (I.4)$$

Tel que k est un entier positif. Il n'est pas besoin avec cette expression de connaître les paramètres de la machine tel que λ_{br} , et c'est ce qui la rend parfois avantageuse.

Les défauts d'excentricité peuvent également être décelés par une analyse vibratoire, sachant que des composantes de hautes fréquences de vibration générées par l'excentricité sont données par une formule similaire à (I.3).

I.7.1.3. Les défauts de roulements

Parce que les éléments roulants du roulement supportent le rotor, quelque soient les défauts dans les roulements, ils vont produire des mouvements radiales entre le rotor et le stator dans la machine. Par conséquent, des variations d'entrefer génèrent dans le courant statorique des raies spectrales de fréquences [1] :

$$f_{roul} = |f_s - kf_v| \tag{I.5}$$

Avec $k=1,2,\dots$ et f_v est l'une des fréquences caractéristiques des vibrations, soit f_{bille} , $f_{b.int}$ ou $f_{b.ext}$ (figure I.4).

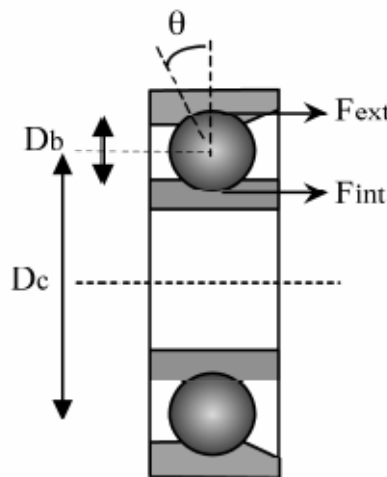


Fig. I.14 Dimension du roulement à billes

a) -Défaut au niveau d'une bille :

$$f_{bille} = \frac{D_c}{D_b} f_r \left[1 - \left(\frac{D_b}{D_c} \cos \theta \right)^2 \right] \tag{I.6}$$

b) -Défaut sur la bague intérieure :

$$f_{b.int} = \frac{n_b}{2} f_r \left[1 + \frac{D_b}{D_c} \cos \theta \right] \tag{I.7}$$

c) -Défaut sur la bague extérieure :

$$f_{b.ext} = \frac{n_b}{2} f_r \left[1 - \frac{Db}{Dc} \cos \theta \right] \quad (I.8)$$

Tel que n_b le nombre d'éléments roulants, Db le diamètre d'un élément roulant, Dc la distance entre les centres des billes diamétralement opposées et θ l'angle de contact des billes avec les bagues du roulement.

Les fréquences caractéristiques de vibration peuvent être rapprochées pour la plupart des roulements entre 6 et 12 billes par les formules suivantes:

- Bague extérieure :

$$f_{be-vid} = k. f_{be} = 0,4. N_b. f_r \quad (I.9)$$

- Bague intérieure :

$$f_{bi-vid} = k. f_{bi} = 0,6. N_b. f_r \quad (I.10)$$

- Cage :

$$f_{cage-vid} = k. f_{cage} = 0,4. k. f_r \quad (I.11)$$

- Bille :

$$f_{bille-vid} = k. f_{bille} = 2,32. k. f_r \quad (I.12)$$

Ces fréquences sont résumées dans le tableau (I.1)

I.7.2 Analyses vibratoires des défauts de la MAS

L'analyse vibratoire de la machine asynchrone peut être menée grâce à des accéléromètres placés sur les paliers dans les directions verticales, axiales et radiales.

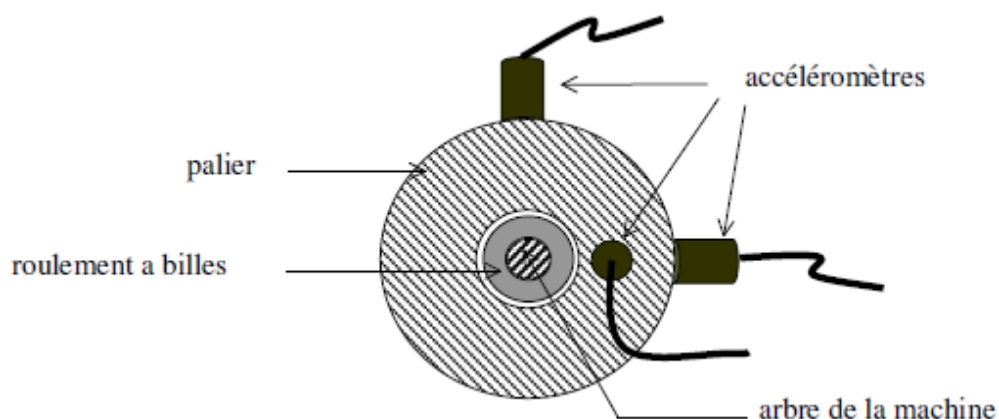


Fig .I.14 Mesures vibratoires sur la machine asynchrone

Au même titre que les courants, les vibrations de la machine fournissent des informations sur pratiquement tous les défauts mécaniques fréquemment rencontrés. Plutôt que de disposer d'une étude au cas par cas, nous avons réalisé une synthèse de l'ensemble des informations que peuvent fournir ces signaux en fonction des défauts, à partir de la référence, qui présente les signatures des courants

Tableau I.1 Signature des défauts

Type de défaut	Courants statoriques
<p>Cassure de barres ou de portions d'anneaux</p>	$f_{cb} = (1 \pm 2ks) \cdot f_s$ <p>Ou $f_{cb} = \left[\frac{k}{p} (1 - s) \right] \cdot f_s$</p> <p>Et $(k/p=1,5,7,11,\dots)$</p>
<p>Excentricité:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Statique - Dynamique - Mixte 	<p>Statique :</p> $f_{ES} = \left[\left(\frac{k \cdot \lambda_{br}}{p} \right) (1 - s) \pm v \right] \cdot f_s$ <p>Dynamique :</p> $f_{ED} = \left[\left(\frac{k \cdot \lambda_{br} \pm n_d}{p} \right) (1 - s) \pm v \right] \cdot f_s$ <p>Mixte :</p> $f_{mix} = f_s \pm k f_r $
<p>Roulement :</p> <ul style="list-style-type: none"> -Bague extérieure -Bague intérieure -Cage -Bille 	<p>Bague extérieure :</p> $f_{c-be} = f_s \pm k \cdot f_{be}$ <p>Bague intérieure :</p> $f_{c-bi} = f_s \pm k \cdot f_{bi}$ <p>Cage :</p> $f_{c-cage} = f_s \pm k \cdot f_{cage}$ <p>Bille :</p> $f_{c-bille} = f_s \pm k \cdot f_{bille}$

L'objectif de ce chapitre était de présenter de manière générale la constitution de la machine asynchrone en citant premièrement les différentes parties essentielles qui la composent : stator et rotor, ensuite nous avons présenté les principaux défauts qui peuvent gêner le fonctionnement normal de la machine ainsi que les causes probables, nous avons distingué les défauts électriques et mécaniques.

En second lieu, nous avons abordé les différentes méthodes de diagnostic des machines asynchrones ensuite on a présenté les paramètres indicateurs de défauts.

La méthode de l'analyse des courants connue sous l'abréviation (MCSA) et la méthode l'analyse des signatures de vibration du moteur électrique (ASVM) constituent des moyens performants susceptible de prévoir un ou plusieurs défauts majeurs et contribuant ainsi à promouvoir ce qui est appelé actuellement 'la maintenance prédictive'. Ces deux méthodes présentées dans ce chapitre feront l'objet de notre étude.

Dans le chapitre prochain, nous allons effectuer une analyse approfondie des résultats expérimentaux en présence des défauts par la méthode de (MCSA).

INTRODUCTION

Le diagnostic consiste à mesurer les signaux de la machine électrique. L'analyse de la signature du courant de moteur sous l'abréviation MCSA (MotorCurrent Signature Analysis), a pour rôle d'investir l'apparition des informations caractérisant les défauts. Une comparaison entre les mesures est effectuée sur un signal de référence (sain) avec un autre signal du défaut (défectueux).

Dans ce chapitre, nous mettrons l'accent sur la détection et la caractérisation des défauts d'excentricité statique et dynamique du rotor, par l'analyse spectrale du courant statorique.

Nous testons l'approche sur un banc d'essai expérimental élaboré avec des moteurs spécialement préparés pour les deux états (sains et défectueux).

Aussi, nous proposons une méthode d'analyse du signal du courant par la transformée de Fourier rapide (FFT), qui sera appliquée aux défauts d'excentricité.

II.1 ANALYSE SPECTRALE DU COURANT STATORIQUE

Plusieurs phénomènes entrent en jeu pendant le fonctionnement du moteur asynchrone à cage et affectent essentiellement les courants d'alimentations en modifiant leurs formes.

Puisque les allures temporelles ne donnent pas beaucoup d'informations, nous sommes obligés d'utiliser les méthodes de traitement du signal. Plusieurs techniques de traitement du signal ont été utilisées depuis longtemps pour analyser le contenu spectral des différents signaux issus des machines électriques tels que : le couple, la vitesse, les courants, le flux, les vibrations,...

Dans ce travail, nous allons nous intéresser à l'utilisation d'une méthode basée sur la Transformée de Fourier Rapide (FFT) (outil mathématique très utilisé); qui permet de décrire les signaux temporels par leur spectre de fréquence ; ceci s'adapte parfaitement à notre application dans la mesure où de nombreux phénomènes associés aux défauts se traduisent par l'apparition de nouvelles fréquences liées directement au glissement ou à la modification des amplitudes des harmoniques qui existaient dans le spectre.[3]

II.2 LA TRANSFORMEE DE FOURIER

Nous rappelons que la transformée de Fourier Rapide (f) d'un signal continu dans le temps est donnée par :

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

L'analyse par FFT est utilisée principalement pour décrire un signal temporel dans le domaine fréquentiel avec une résolution fréquentielle constante sur une échelle linéaire de fréquence. Généralement, pour analyser un signal par la technique FFT, on doit prendre en compte les paramètres suivants :

- La fréquence d'échantillonnage : $f_e = 10000$.
- Le temps d'acquisition : $T_a = 10$ sec .
- Le nombre des échantillons: $N_e = \frac{t_a}{t_e} = f_e * T_a = 100000$ échantillons
- La résolution fréquentielle : $\Delta f = \frac{1}{T_a} = \frac{1}{10} = 0.1$ Hz

Avec un ordinateur, il est impossible de calculer la FFT (f) pour une valeur quelconque de la fréquence. Donc, on ne calcule la FFT que pour des multiples Δf . C'est la notion de la Transformée de Fourier Discrète (DFT). En conséquence, la DFT (n) d'un signal échantillonné est donnée par : [3]

$$x(n) = \sum_{k=1}^{N_e} x(k)e^{-j2\pi k \frac{n}{N_e}} \quad (\text{II.2})$$

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

Il est important de noter que la résolution fréquentielle joue un rôle primordial quant à la clarté du spectre, elle doit être de faible valeur pour qu'on puisse séparer les harmoniques proches.

[3]

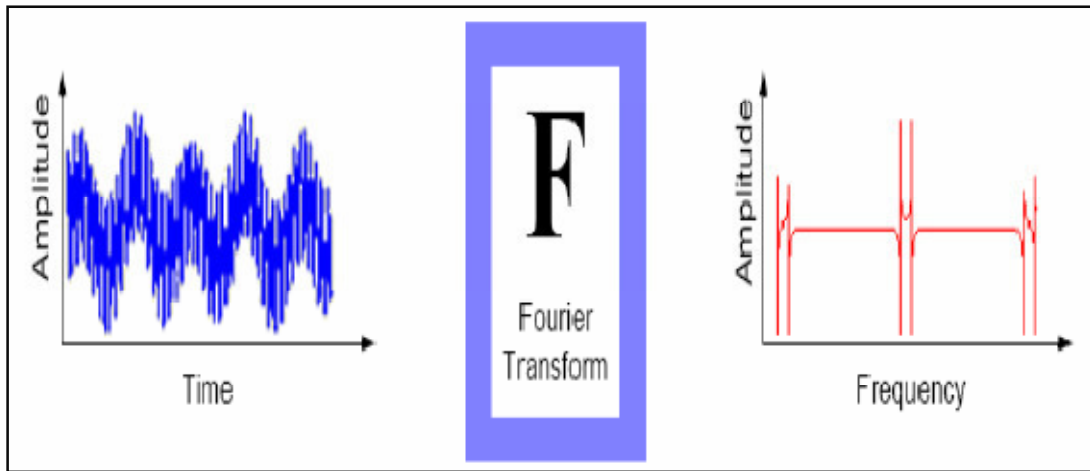


Fig. II.1 : Représentation temporelle vers fréquentielle.

II.3 PRESENTATION ET REALISATION DU BANC D'ESSAI

La réalisation du banc d'essai a été étudiée et conçue au niveau du laboratoire de génie électrique Biskra (LGEB).

Notre travail consiste à utiliser quelques méthodes de diagnostic, parmi elles, la MCSA et l'analyse vibratoire(MVSA).

Parmi les grandeurs mesurées on cite : la vitesse, les courants, les tensions, les signaux de vibration, le couple, ...etc. Ces grandeurs sont mesurées, éventuellement acquises et mémorisées. Ce qui nécessite une transformation de ces grandeurs en grandeurs électriques directement proportionnelles pour qu'elles puissent être traitées. Pour cela les capteurs sont les moyens les plus importants pour accomplir les tests.

Le banc d'essai de diagnostic d'une machine asynchrone permet d'expérimenter les défauts mécaniques et électriques.

L'élaboration de banc d'essai exige la possession de plusieurs machines de même type sous différents états tel que, moteur sain, avec barres cassées, rotor excentrique, défauts de roulement, court-circuit statorique et autres. Notre étude va se faire sur les MAS à rotor excentrique, on va couvrir les deux cas d'excentricité statique et dynamique.

II.3.1 schéma synoptique

La figure (II-2) présente la structure générale du dispositif expérimental, et la mise en œuvre de la carte d'acquisition.

Le diagnostic est réalisé à travers une carte d'acquisition raccordé à un micro-ordinateur PC. Cette carte de développement comprend tout l'environnement proche du processeur du PC avec des outils logiciels nécessaires aux applications visées (eg. Matlab et LabView).

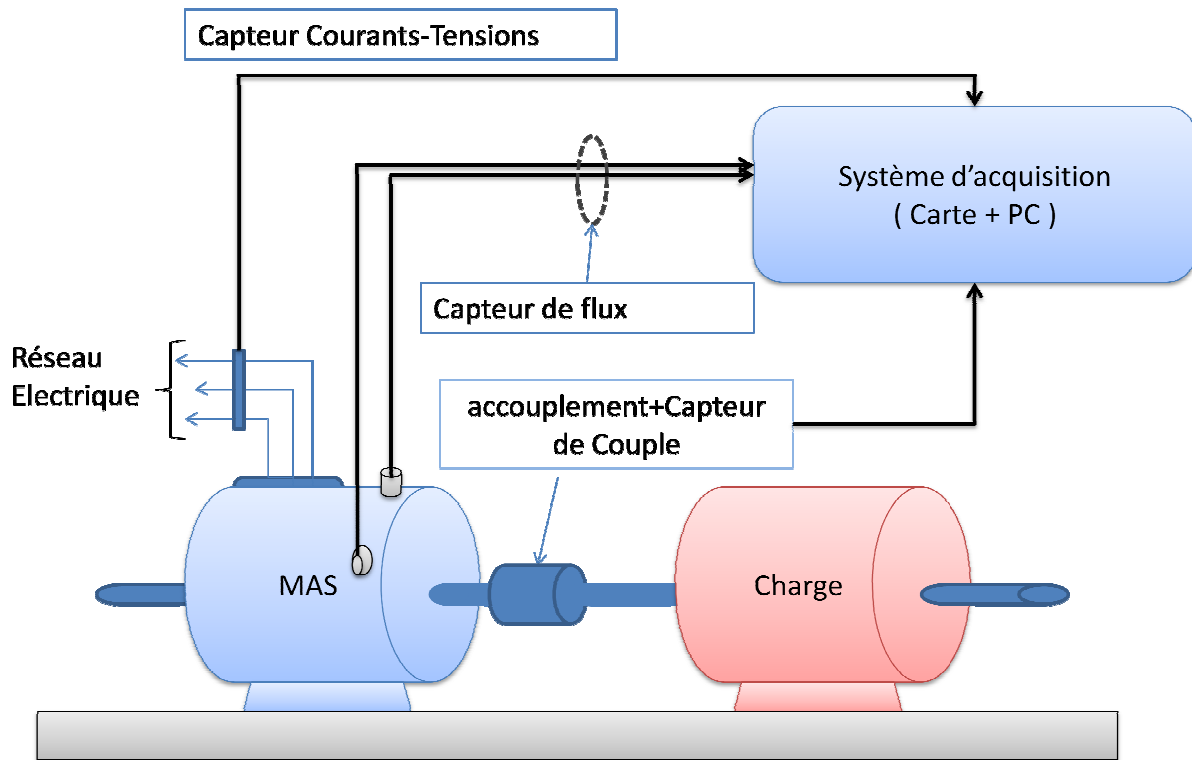


Fig. II.2 Schéma synoptique du banc d'essai

Le bon choix de la résolution fréquentielle, permet de séparer les composantes les plus proches du fondamental. Notre acquisition des données a été effectuée par une fréquence d'échantillonnage de 10KHz ou de 12.8 KHz et un temps d'acquisition de 10 s.

II.3.2 banc d'essai

Le banc d'essai comporte une machine asynchrone à cage d'écureuil 3Kw, un alternateur (frein), une alimentation à une fréquence $f_s = 50Hz$, le nombre de pole est $p=2$, le nombre de barres rotoriques est $\lambda_{br} = 28$.

La référence du roulement est 6206 avec un nombre de bille égale à 9.

L'instrumentation comporte des capteurs à effet hall associé à une carte d'acquisition National Instrument.

La préparation et le traitement des signaux après l'acquisition sont effectués à l'aide de logiciel MATLAB.

La figure (II.3) représente une photo du banc d'essai réalisé

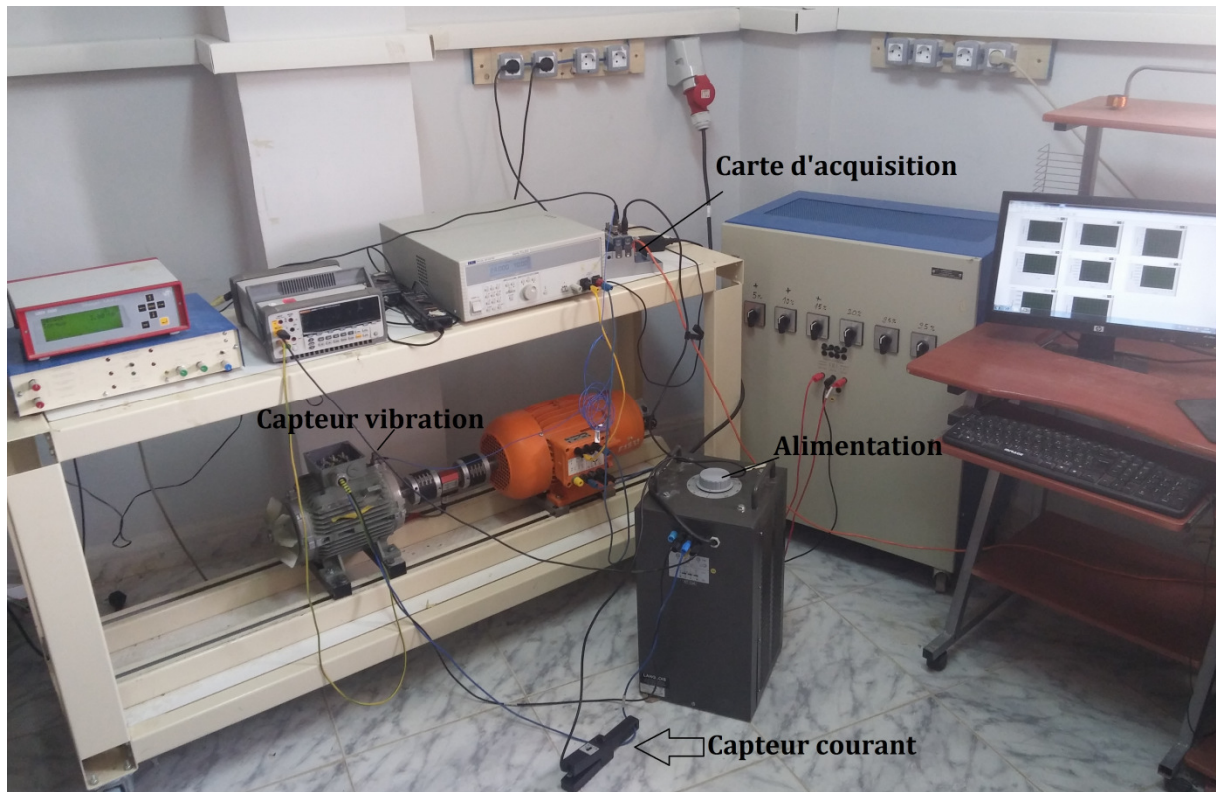


Fig.II.3Banc d'essai expérimental

Le rotor est décentré par des bagues supplémentaires (rondelles d'excentricité) afin de créer les deux défauts d'excentricité .(45% degré d'excentricité statique et 30% degré d'excentricité dynamique)

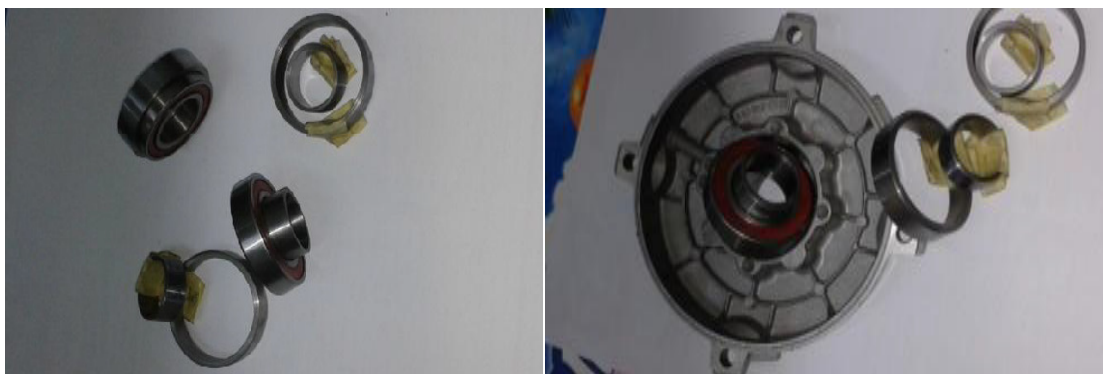


Fig. II.4 Création d'excentricité statique et dynamique

II.4. ANALYSE DU DU COURANT A L'ETATS SAIN ET DEFECTUEUX.

Notre étude dans cette partie consiste à détecter le défaut d'excentricité rotorique en se basant sur la méthode de MCSA-FFT.

En cas d'une excentricité du rotor, nous notons l'apparition de nouvelles composantes harmonique dans le spectre du courant statorique. Ces fréquences dépendent du nombre de paire de pole et du nombre de barres rotoriques, et peuvent être décrite par la relation suivante

$$[f_{RSH} = (k\lambda_{br}) \frac{(1-s)}{p} \pm v] \cdot f_s \quad (II.3)$$

k : un nombre entier ;

Le spectre du courant statorique contient des harmoniques additionnels, qui sont toujours présents dans le spectre du courant statorique même à l'état sain. ces harmoniques sont représentés dans le tableau (tableau II.1).

Tableau II.1 Les harmoniques du courant statorique [3]

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

Avec : $k = 0,1,3 \dots$; $f_s = 50 \text{ Hz}$; $\lambda_{br} = 28 \text{ barres}$; $s=0.039$

Ces harmoniques ont été vérifiés à l'état sain de la machine, cet essai confirme leurs apparitions. La figure (II.4) représente ces différents harmoniques.

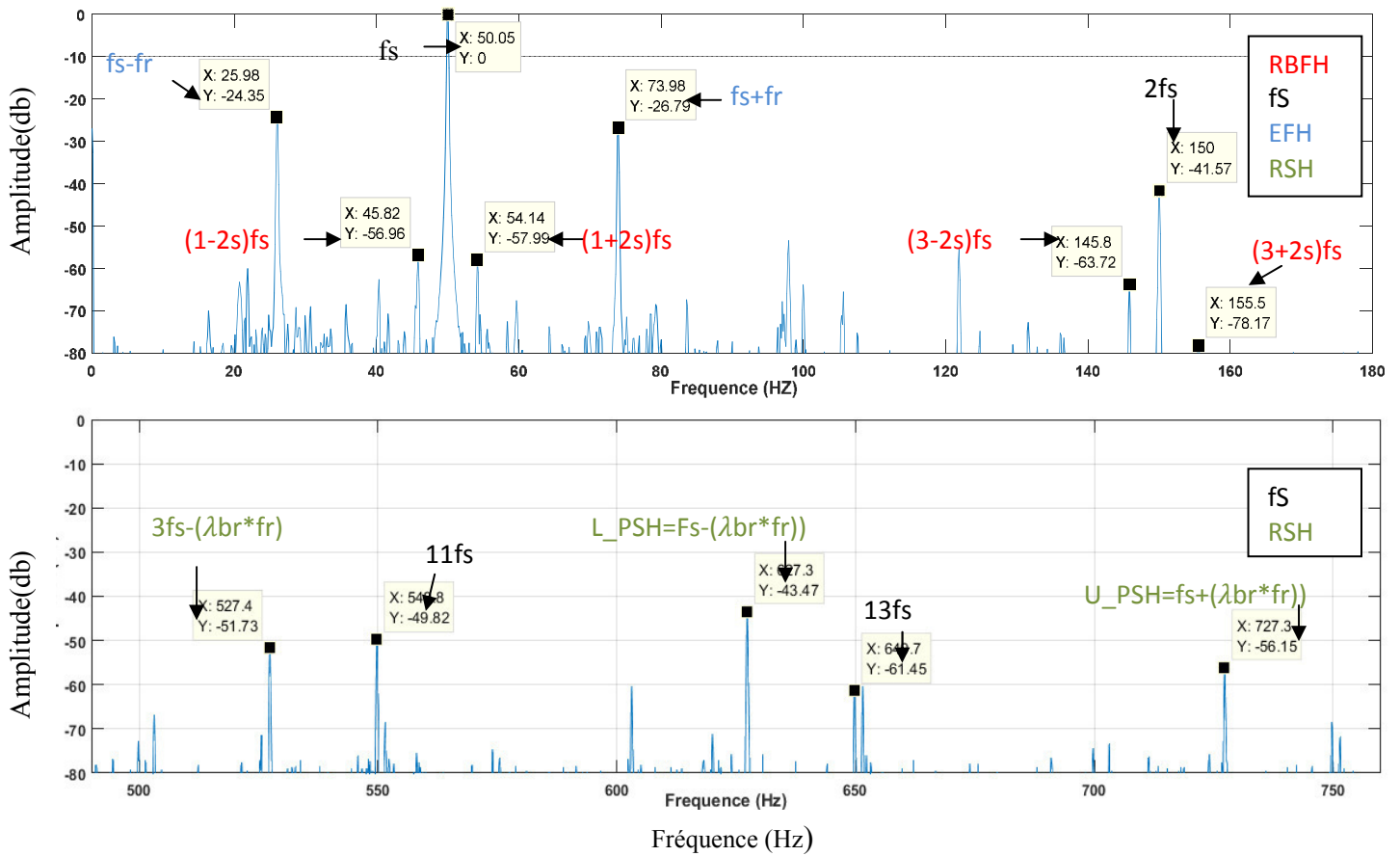


Fig. II.5 Les différents harmoniques dans le spectre du courant statorique

II.4.1 Résultats expérimentaux dédiés à l'excentricité dynamique

Dans cette partie, l'analyse de la machine asynchrone est réalisée avec la présence du défaut d'excentricité dynamique.

II.4.1.1 fonctionnement à vide

Calcul des RSH :

$S=0.0044$, $\lambda_{br}= 28$ donc

$$f_{RSH1(+)}= 28*24.89+50 =746.92 \text{ Hz}$$

$$f_{RSH1(-)}= 28*24.89-50 =646.92 \text{ Hz}$$

$$f_{RSH3(+)}= 28*24.89+150 = 846.92 \text{ Hz}$$

$$f_{RSH3(-)}= 28*24.89-150= 546.92 \text{ Hz}$$

La formule qui montre l'existence de l'excentricité est :

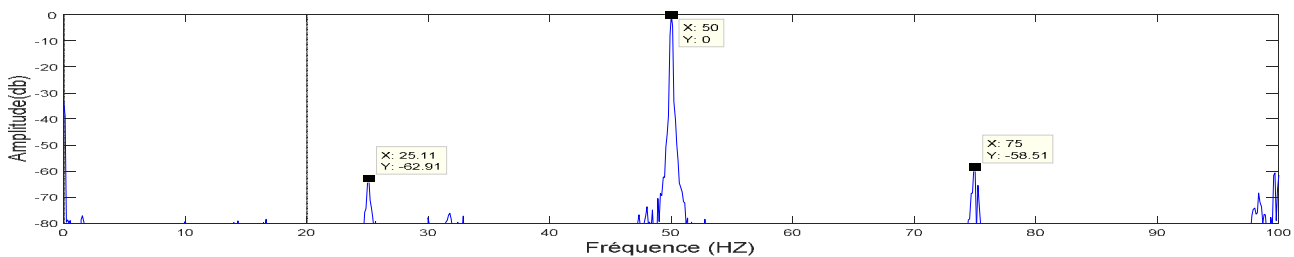
$$f_{excentricité} = \left[(k\lambda_{br} \pm n_d) \frac{(1-s)}{p} \pm v \right] \cdot f_s \quad (\text{II.4})$$

$n_d=1$, $k=1$

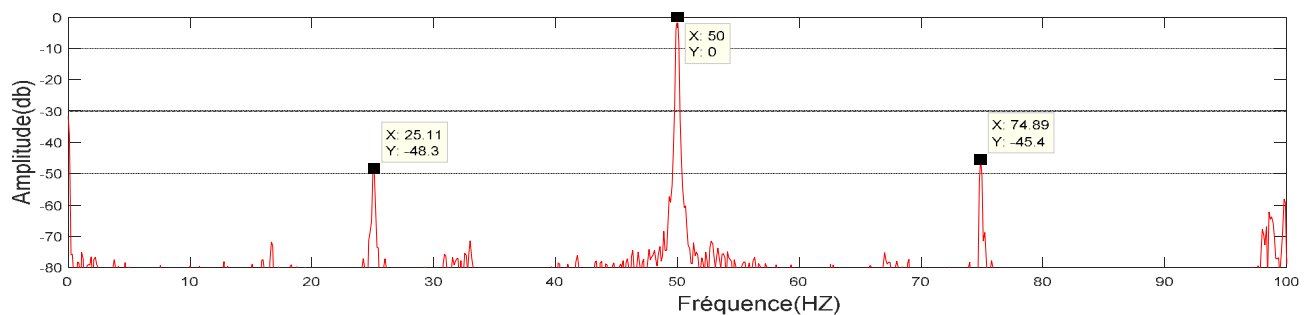
La figure (II.5) montre clairement les fréquences des harmoniques relatives aux défauts qui sont données par la relation (II.4).

On trouve aussi des fréquences dues à l'excentricité mixte dans les spectres du courant statorique (à vide ou plein charge) qu'on peut tirer de l'équation : $f_{exc-mix} = |f_s \pm k f_r|$

a)



b)



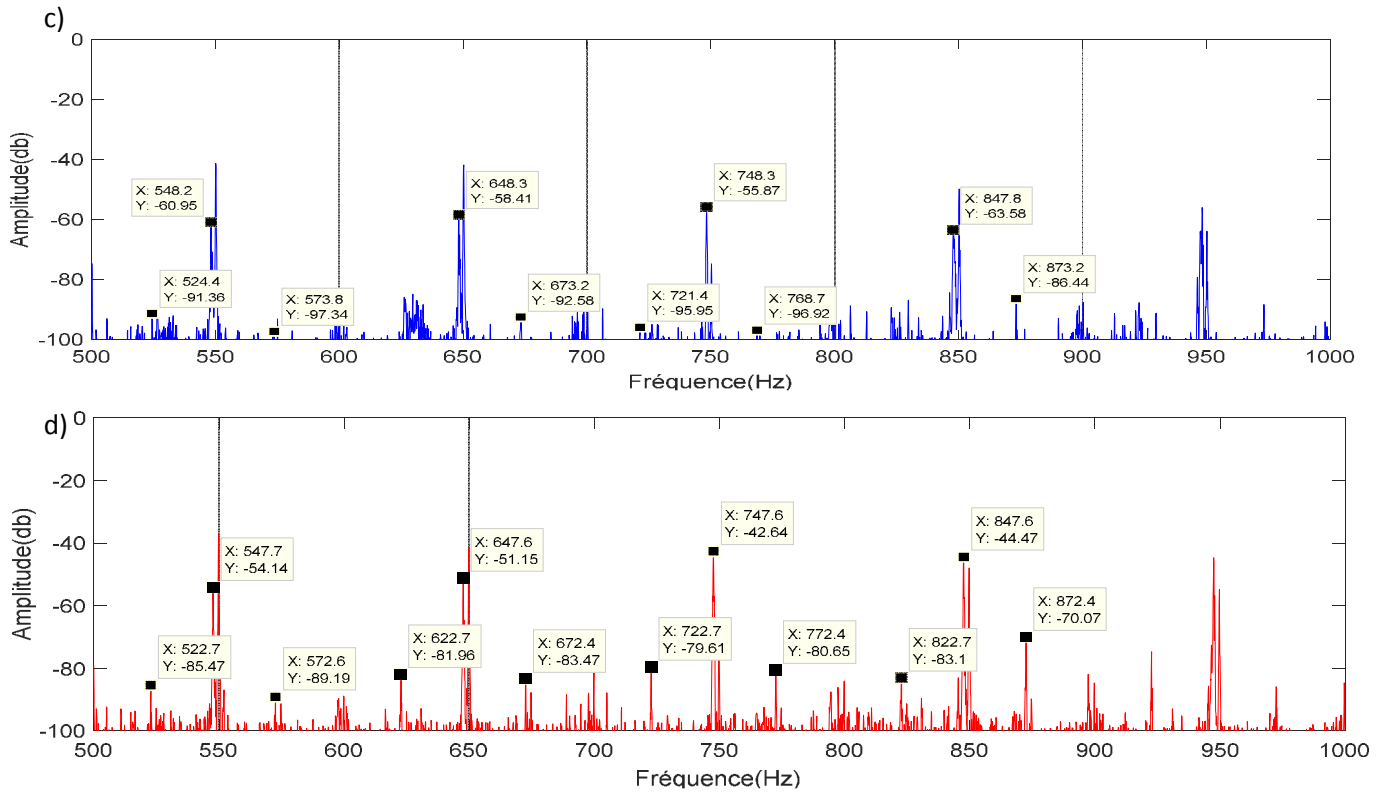


Fig. II.6 Spectre du courant statorique, machine à vide (a,c) état sain (en bleu) et (b,d) état défectueux(ED) en rouge ($s=0.0044$, $\delta s=30\%$).

On calcule f_{exe} avec la relation précédente, et on donne les résultats dans le tableau (II.2).

Les fréquences caractéristiques sont vérifiées d'après la formule (II-4).

Tableau II.2 Valeurs théoriques et pratiques des harmoniques à vide

formule	Théorique(Hz) $s=0.0044$	Expérimentale (Hz)		Amplitude (db)		Différence (db)
		Sain	défaut	sain	défaut	
$f_{exe} 1(++)$	771.81	768.7	772.4	-96.29	-80.65	15.64
$f_{exe} 2(+ -)$	722.03	721.4	722.7	-95.95	-79.61	16.34
$f_{exe} 3(- +)$	671.81	673.2	672.4	-92.58	-83.47	9.09
$f_{exe} 4(--)$	622.03	624.2	622.7	-97.46	-81.96	15.5
$f_{exe} 5(++)$	871.81	873.2	872.4	-86.44	-70.07	16.37
$f_{exe} 6(+ -)$	822.03	822.9	822.7	-89.33	-83.1	6.23
$f_{exe} 7(- +)$	571.81	573.2	572.6	-97.91	-81.19	16.72
$f_{exe} 8(--)$	522.03	524.4	524.7	-91.36	-85.47	5.89

Discussion des résultats :

A vide, on remarque que les fréquences qui confirment l'apparition du défaut, sont autour des RSH par exemple au 746.92 Hz et 646.92 Hz.

Par contre aux basses fréquences, on voit une modulation des fréquences caractéristiques qu'on peut considérer comme négligeable, parce qu'elles ne dépassent pas le seuil de défaut.

Cela s'explique par le défaut réalisé, qui ne serait pas assez sévère pour générer des raies importantes en amplitude.

On trouve aussi les fréquences dues à l'excentricité mixte due à l'interaction entre les deux excentricités statique et dynamique, obéissant à l'équation (II.4), alors nous pouvons dire qu'une excentricité dynamique pure ne peut exister seule, et qu'elle existe toujours avec une excentricité statique résiduelle.

II.4.1.2 fonctionnement en charge

A 75% de la charge (15Nm) les résultats expérimentaux sont représentés dans la figure (II.12) :

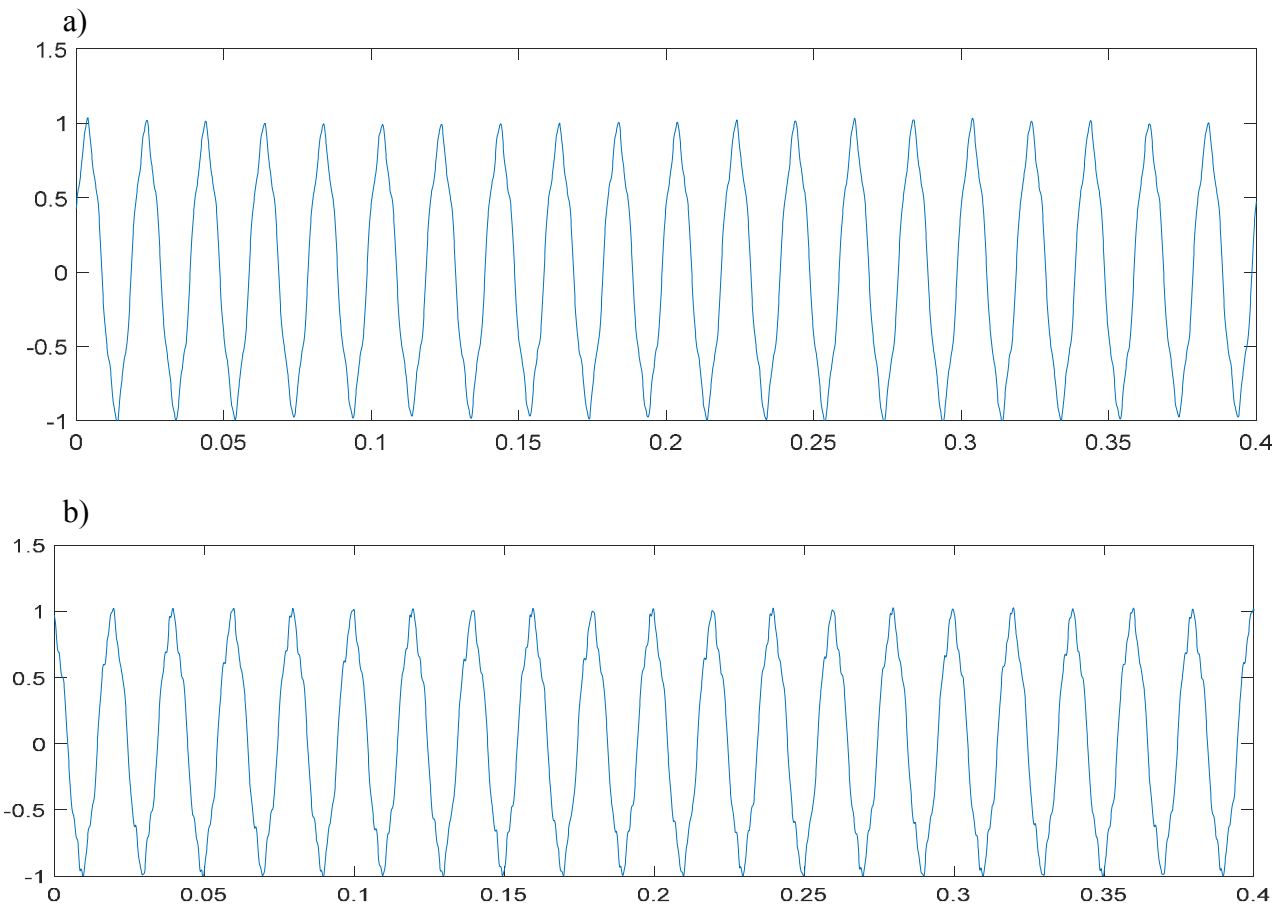


Fig. II.7 le signal de courant en fonction du temps (a) l'état sain, (b) l'état défectueux

On peut clairement remarquer les fréquences dues à l'excentricité mixte en charge. On trouve aussi des fréquences dues à l'excentricité dans les spectres du courant statorique .

Calcul des fréquences d'encoches rotoriques

On calcule les fréquences d'encoches rotoriques f_{RSH} :

Avec :

$$f_r = \frac{(1-s)}{p} f_s = 24.11 \text{ Hz.}$$

$$f_{RSH1(+)} = 28 * 24.11 + 50 = 725.08 \text{ Hz}$$

$$f_{RSH1(-)} = 28 * 24.11 - 50 = 625.08 \text{ Hz}$$

$$f_{RSH3(+)} = 28 * 24.11 + 150 = 825.08 \text{ Hz}$$

$$f_{RSH3(-)} = 28 * 24.11 - 150 = 525.08 \text{ Hz}$$

Calcul des fréquences d'excentricité

$$F_{\text{exe}1} = 749.19 \text{ Hz, } \nu = +1, n_d = +1$$

$$F_{\text{exe}2} = 649.19 \text{ Hz, } \nu = +1, n_d = -1$$

$$F_{\text{exe}3} = 700.97 \text{ Hz, } \nu = -1, n_d = +1$$

$$F_{\text{exe}4} = 600.97 \text{ Hz } \nu = -1, n_d = -1$$

$$F_{\text{exe}5} = 872.4 \text{ Hz, } \nu = +1, n_d = +3$$

$$F_{\text{exe}6} = 549.19 \text{ Hz, } \nu = +1, n_d = -3$$

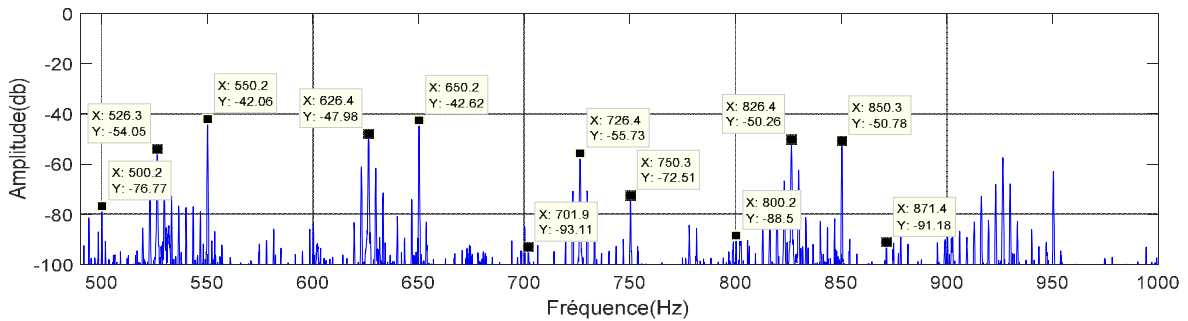
$$F_{\text{exe}7} = 800.97 \text{ Hz, } \nu = -1, n_d = +3$$

$$F_{\text{exe}8} = 500.97 \text{ Hz } \nu = -1, n_d = -3$$

Tableau II.3 Valeurs théoriques et pratiques des harmoniques en charge

formule	Théorique(Hz) s=0.0356	Expérimentale (Hz)		Amplitude (db)	
		Sain	défait	sain	défait
$f_{exe} 1(++)$	749.19	750.3	749.8	-72.51	-61.33
$f_{exe} 2(+)$	649.19	650.2	649.8	-42.62	-43.3
$f_{exe} 3(-)$	700.97	701.9	701.3	-93.11	-91.57
$f_{exe} 4(--)$	600.97	600.2	601.3	-83.64	-90.79
$f_{exe} 5(++)$	872.4	871.4	871.6	-91.18	-87.12
$f_{exe} 6(+)$	549.19	550.2	549.8	-42.06	-39.96
$f_{exe} 7(-)$	800.97	800.2	799.8	-88.5	-81.49
$f_{exe} 8(--)$	500.97	500.2	499.9	-76.77	-71.41

a) :



b) :

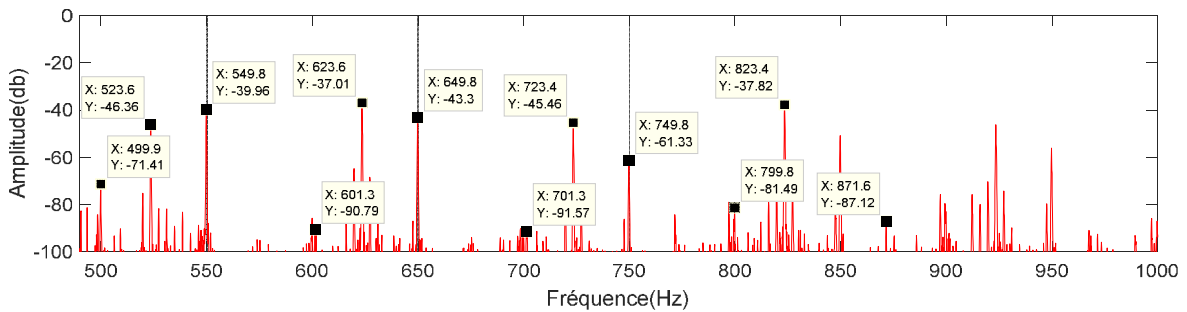


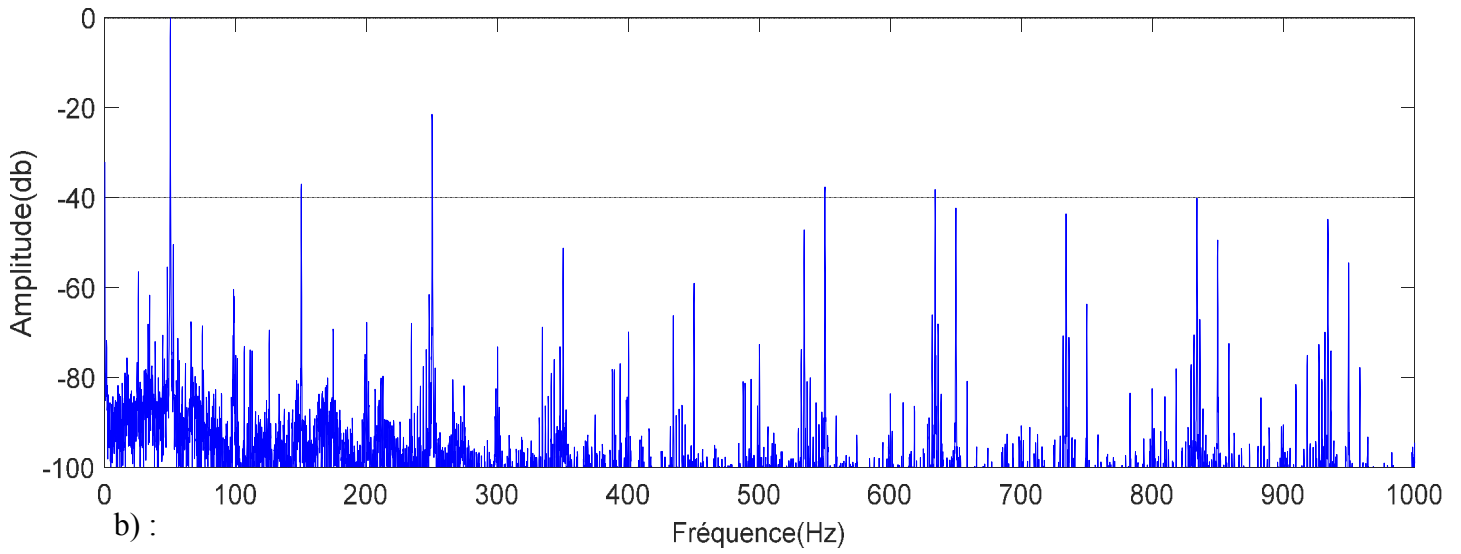
Fig. II.8. Spectre du courant statorique, machine en charge (a) état sain (en bleu) et (b) état défectueux (ED) en rouge (s=0.035, dδ=30%)

Discussion des résultats :

On remarque que les valeurs expérimentales correspondent avec les valeurs théoriques, sont autour des RSH par exemple au 825.08 Hz ces résultats sont des indicateurs de défaut d'excentricité dynamique.

Autre charges :

a) :



b) :

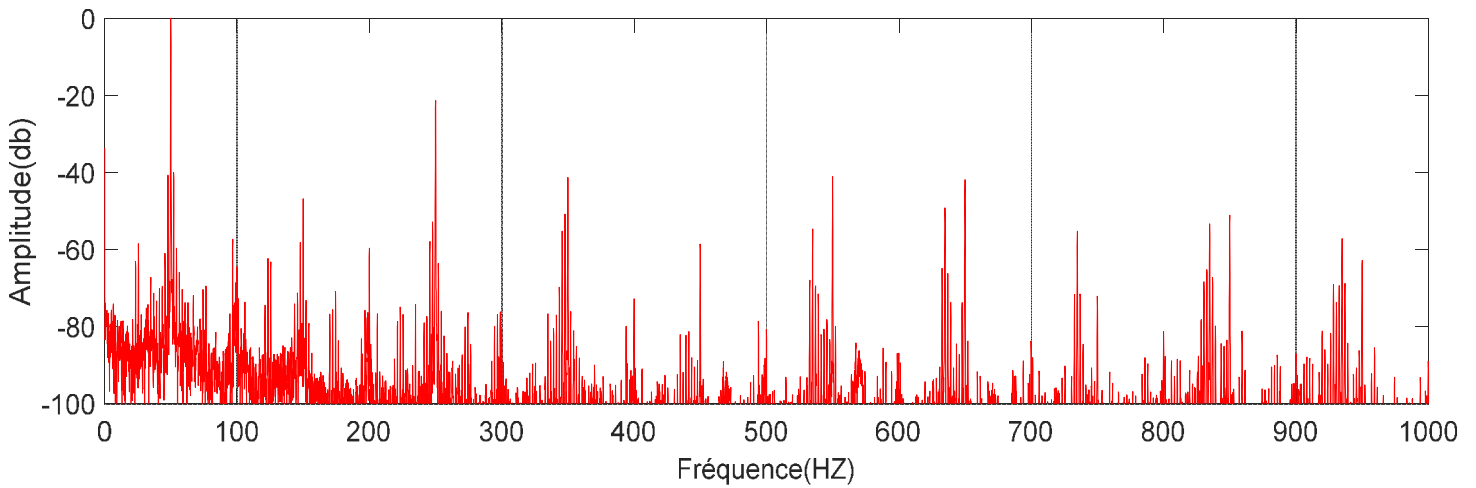
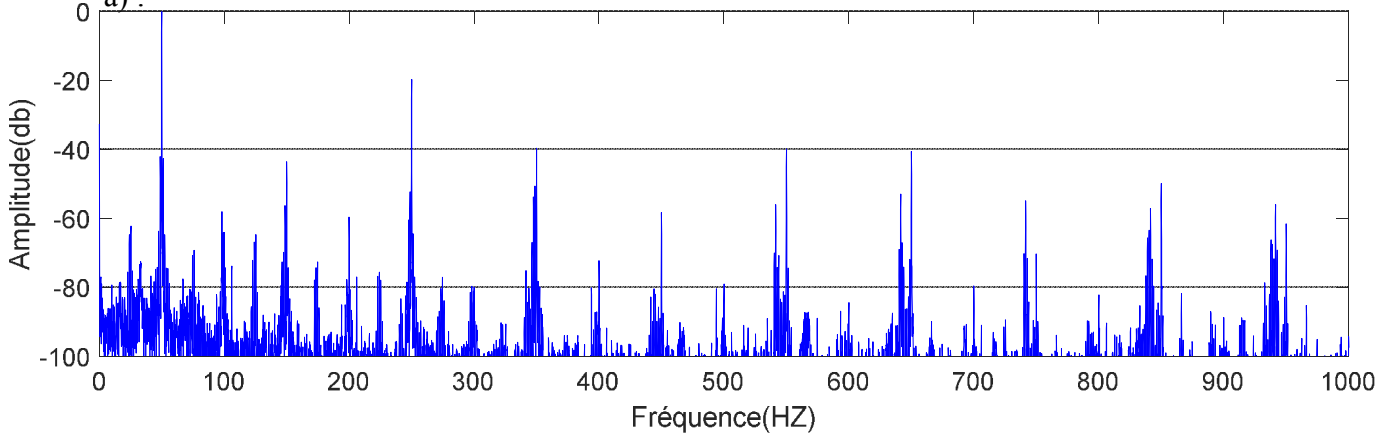


Fig. II.9 : Spectre du courant statorique, machine en charge (a)état sain (en bleu) et(b) état défectueux(ED) en rouge ($s=0.035, \delta d=30\%$) la charge est 50%

a) :



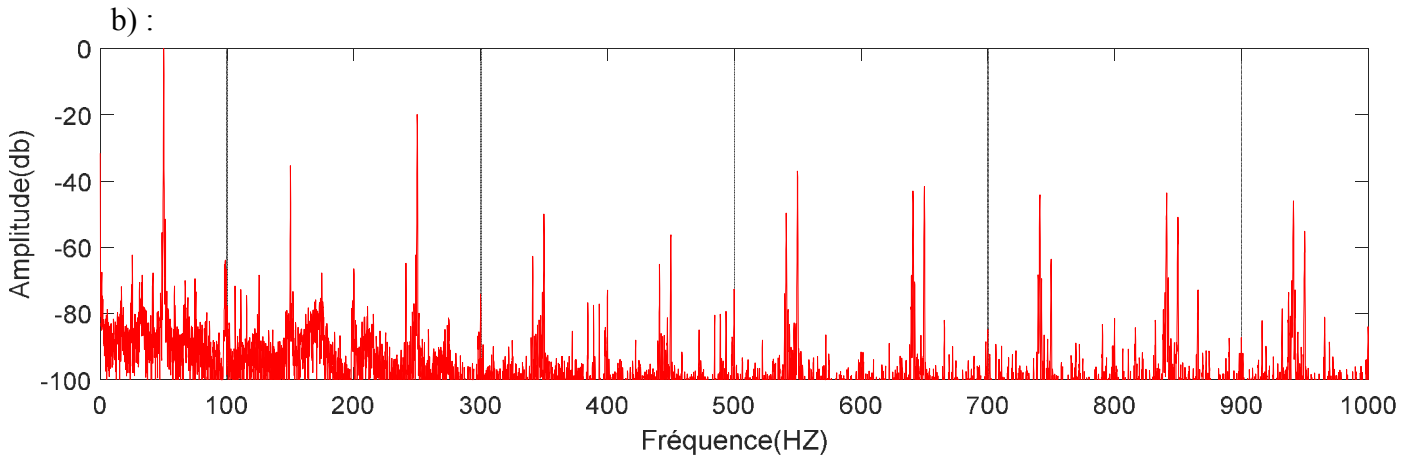


Fig. II.10: Spectre du courant statorique, machine en charge (a) état sain (en bleu) et (b) état défectueux (ED) en rouge ($s=0.035, \delta d=30\%$) la charge est 20%

II.5. Conclusion :

Dans ce chapitre, nous avons exploité les résultats expérimentaux; pour déceler les défauts d'excentricité dynamique, par la surveillance de la variation spectrale des harmoniques du courant de ligne (MCSA) pour différentes valeurs de charges. Nous avons fait une comparaison des résultats obtenus avec les formules théoriques des fréquences qui caractérisent chaque défaut.

La méthode MCSA est facile et pratique, car le courant à extraire ne demande que des capteurs existants.

Nous avons vu une variation d'amplitude des harmoniques en présence du défaut, en plus l'apparition de nouvelles fréquences, comme nous l'avons vu dans le cas de l'excentricité dynamique. Pour distinguer les variations d'amplitudes, la connaissance du spectre de courant du moteur sain est obligatoire pour établir cette comparaison. Cela peut constituer un handicap pour cette méthode dans une installation déjà en fonctionnement.

Introduction

Dans ce chapitre une nouvelle technique de diagnostic des défauts rotoriques dans un moteur asynchrone triphasé même en fonction de la charge est présentée. La méthode proposée est basée sur l'analyse de signal du flux de fuite par FFT de la force électromotrice d'un capteur bobiné placé à l'extérieur de la machine, cela va nous permettre un diagnostic simple et parfait de la présence des défauts rotoriques même en présence d'une variation de la charge. Et fait cette technique pour découvrir l'excentricité dans la machine

III.1.Champ de dispersion

Le flux de dispersion peut donner une information sur la présence d'un défaut, parfois la localisation de celui-ci. D'un point de vue diagnostic, l'avantage des méthodes basées sur la mesure du champ de dispersion est qu'elles sont non invasives. Ces méthodes sont simples à mettre en œuvre, elles consistent à disposer un capteur à la périphérie du moteur et de récupérer le signal du champ de fuite.

D'après la répartition des lignes de champ (figure III.1), on peut décomposer le champ extérieur en deux parties appelées champs externes axial et radial. Ces deux champs se combinent pour former le champ de dispersion : le champ axial situé dans un plan qui comprend l'axe de la machine, il est généré par les courants dans les têtes de bobines de la machine (ou l'anneau de court-circuit) ; le champ radial situé dans un plan perpendiculaire à l'axe de la machine, c'est une image de l'induction d'entrefer qui est atténuée par le circuit magnétique statorique (paquet de tôles) et par la carcasse extérieure de la machine. Il peut

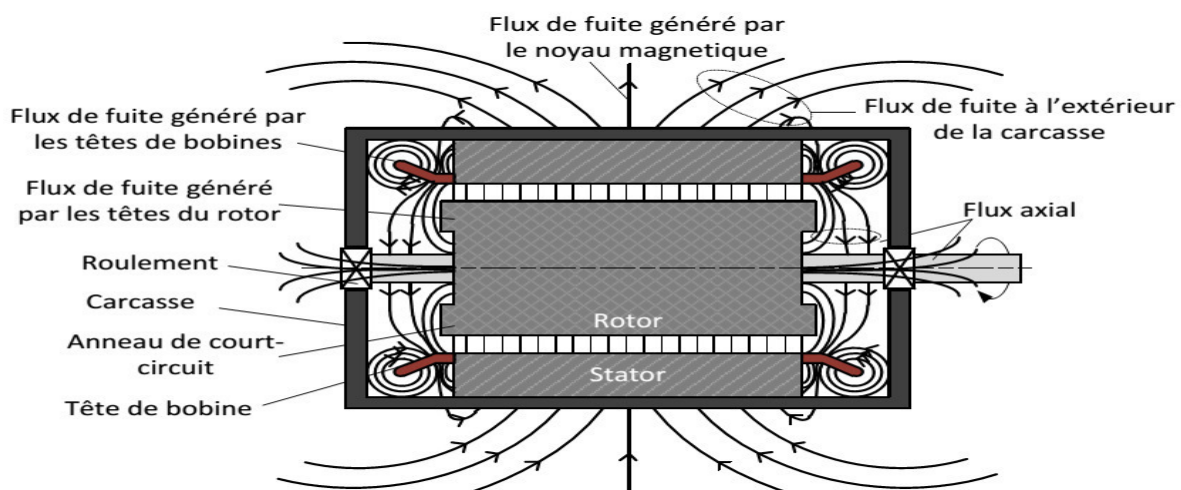


Fig.III.1 Répartition de lignes de flux de fuite dans une machine électrique

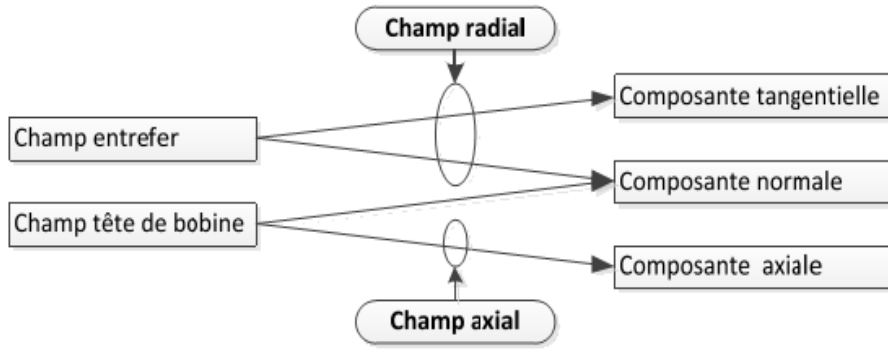


Fig. III.2 Parties du champ extérieur

III.2.1 Mesure de champ de dispersion

La Figure III.3 montre les différentes possibilités de mesure du champ de dispersion à l'aide d'un capteur bobiné.

Du fait de la circulation supposée des lignes de champ, le capteur sera plus sensible au champ axial ou radial, selon la position de cette bobine sur le pourtour de la machine.

Si la bobine est plaquée en position 1 (Pos.1), elle va mesurer le champ axial. Dans ce cas l'amplitude du flux mesuré est maximale au niveau des flasques (près des têtes de bobines), et que le minimum se situe au milieu de la longueur de la machine ; ce minimum étant pratiquement nul.

Si la bobine est plaquée en position 2 (Pos.2), elle va mesurer le champ radial, mais elle peut également embrasser une partie du champ axial selon que le capteur est plus ou moins éloigné des têtes de bobines.

La position 3 (Pos.3) correspond à la mesure du champ qualifié de "radial pure" puisque, en théorie, aucune ligne de champ axial ne peut traverser la section du capteur bobiné dans cette position.

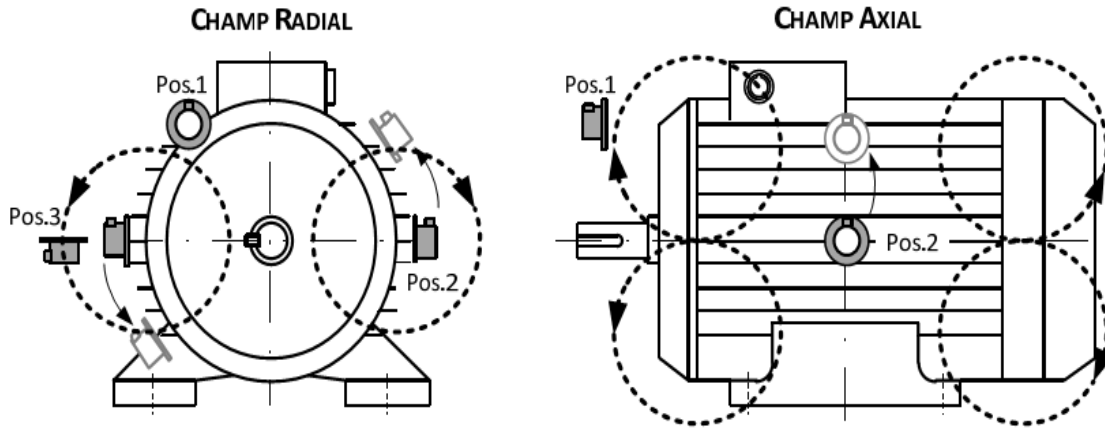


Fig.III.3 Mesure de champ de dispersion

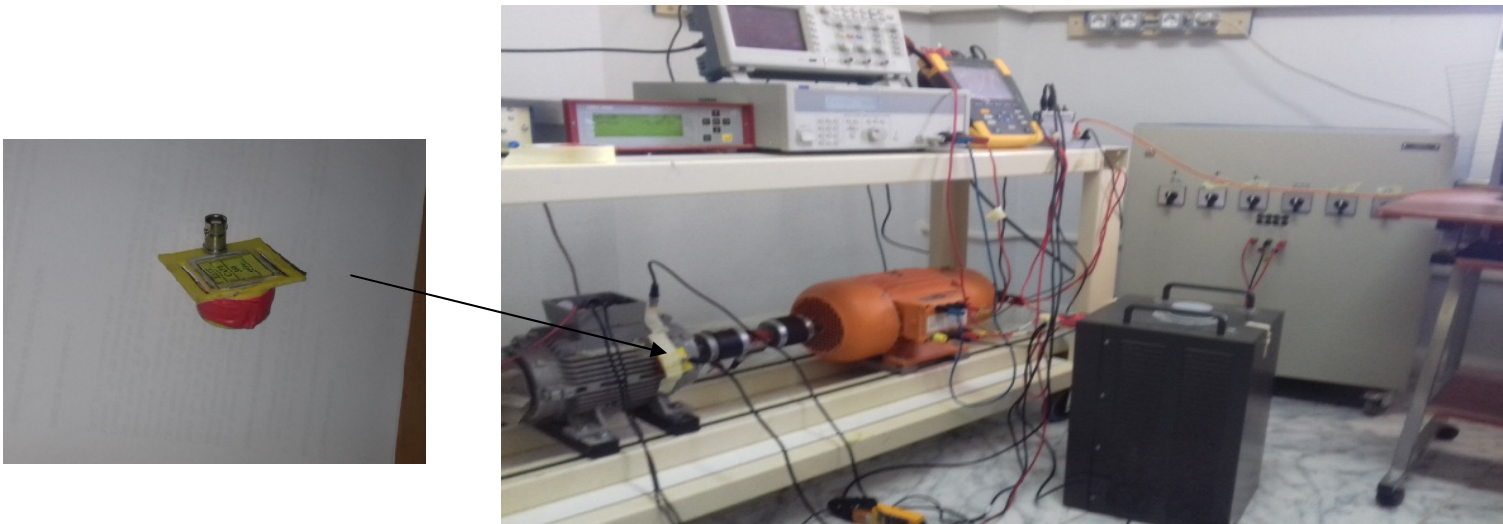


Fig.III.4 : Banc d'essai expérimental et le capteur de flux

Le banc d'essai comporte une machine asynchrone à cage d'écureuil 3Kw ,un alternateur (frein) ,une alimentation à une fréquence $f_s = 50Hz$, le nombre de pole est $p=2$, le nombre de barres rotoriques est $\lambda_{br} = 28$.

La référence du roulement est 6206 avec un nombre de bille égale à 9.

L'instrumentation comporte des flux à une carte d'acquisition National Instrument.

La préparation et le traitement des signaux après l'acquisition sont effectués à l'aide de logiciel MATLAB.

Figure.III.4 représente une photo du banc d'essai réalisé.

III.3 ANALYSE SPECTRALE De flux de dispersion

III.3.1. fonctionnement à vide :

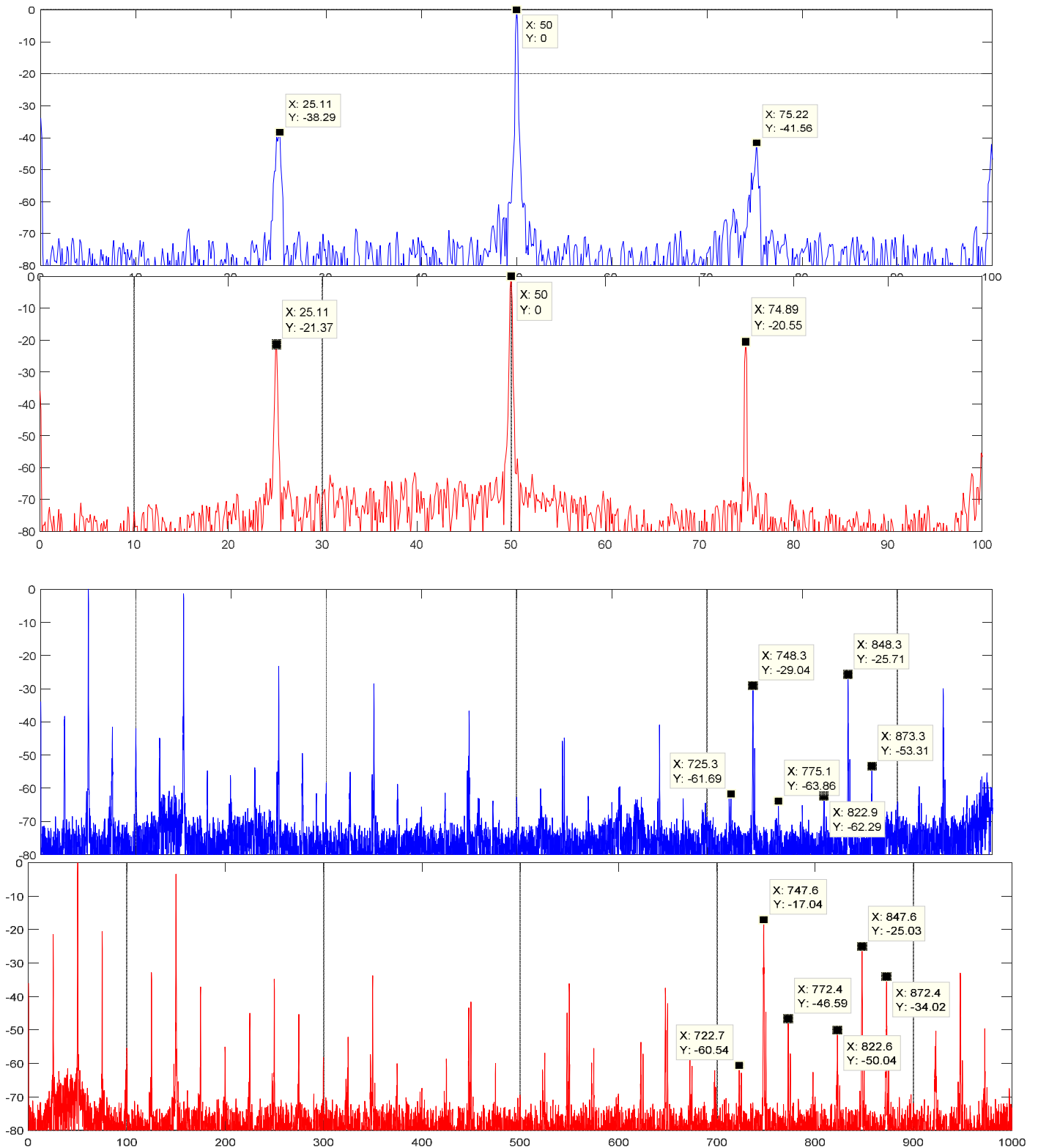


Fig.III.5 :Spectre du flux de dispersion, machine à vide état sain (en bleu) et état défectueux(ED) en rouge

Discussion des résultats :

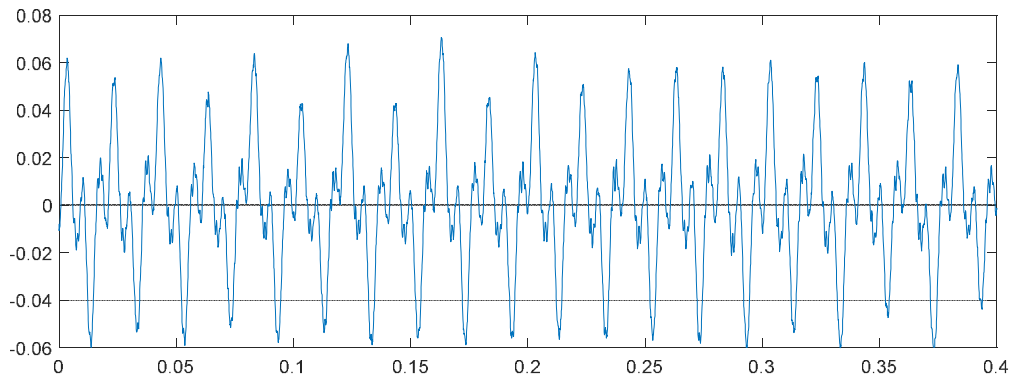
A vide, on remarque que les fréquences qui confirment l'apparition du défaut, sont autour des PSH par exemple au 25.11Hz et 75.22Hz

Et dans les haut fréquences, on voit une modulation des fréquences caractéristiques il y'a une différence dans les amplitudes par exemple sont autour de PSH 850HZ

III.3.2.fonctionnement en charge

A 75% de la charge (15Nm) les résultats expérimentaux sont représentés dans la figure

a)



b)

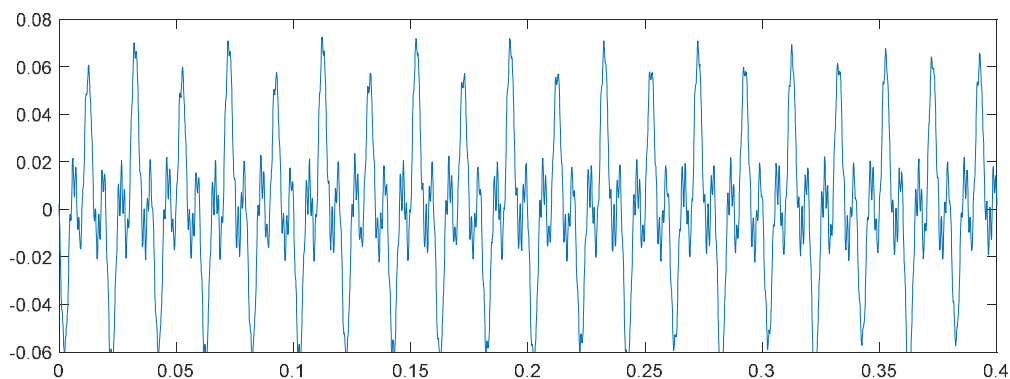
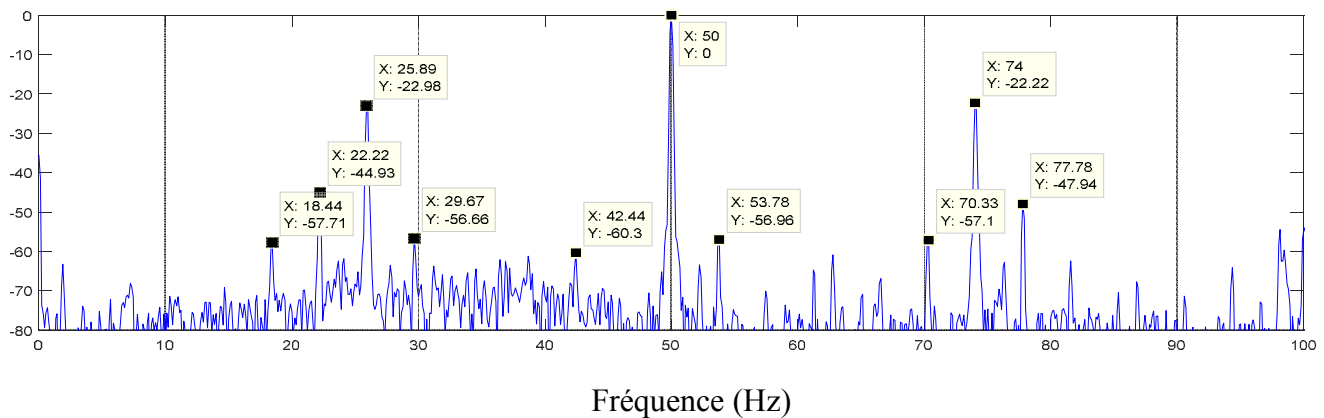


Fig.III.6 le signal de flux en fonction du temps (a) l'état sain , (b) l'état défectueux



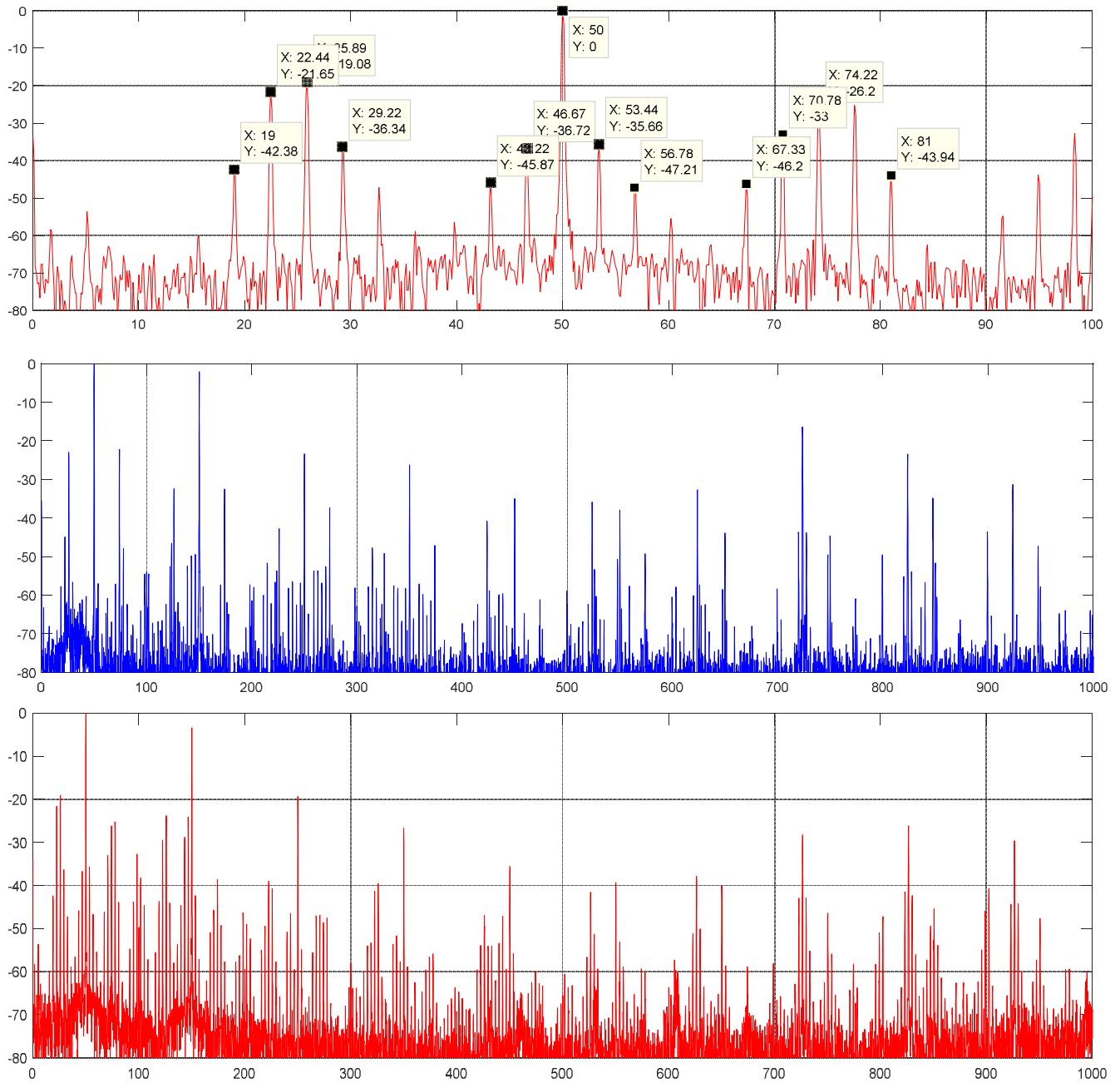


Fig.III.7 :Spectre du flux dedispersion, machine en charge état sain (en bleu) et état défectueux(ED) en rouge

Discussion des résultats :

En charge, on remarque que les fréquences qui confirment l'apparition du défaut, sont autour des PSH par exemple au 25.89 Hz et 74 Hz

Par contre aux haut fréquences, on voit une modulation des fréquences caractéristiques qu'on peut considérer comme négligeable,

Conclusion

Dans ce chapitre une nouvelle et très simple technique de diagnostic des défauts rotoriques a été présentée. Cette nouvelle technique est basée sur la déformation provoquée au niveau des pôles du champ magnétique d'un moteur.

Le principe des capteurs de type bobiné est de mesurer le flux embrassé par une bobine localisée dans l'espace.

Dans ce chapitre, nous avons exploité les résultats expérimentaux par analyse et traitement de signal FFT. On a décelé les défauts d'excentricité par la surveillance de la variation spectrale des amplitudes des harmoniques de flux de dispersion pour différentes valeurs de charge résistive. Nous avons fait une comparaison des résultats, nous remarquons que la détection des défauts de l'excentricité par cette technique est basée sur l'étude dans les basses fréquences, par contre l'analyse spectrale du courant est basé sur les hautes fréquences.

INTRODUCTION:

L'analyse du courant des machines tournantes est aujourd'hui très utilisée par les industriels pour diagnostiquer les défauts des machines. L'identification du problème permet de mettre en place des actions curatives comme un réglage ou le remplacement d'une pièce défectueuse avant la ruine de la machine.

Dans ce chapitre, nous allons présenter le lieu où on a effectué un essai pratique réel, ensuite nous présenterons les résultats d'analyse du spectre du courant d'un cas réel, réalisé sur un moteur asynchrone accouplé à une pompe (groupe électropompe), à l'aide d'un analyseur de courant.

IV.1.STATION DE POMPAGE (SP2) :

SP2 est une station conçue pour pomper le pétrole brut vers la station (SPC) de Ain El-Khedhra pour acheminer le brut jusqu'au terminal à Bejaia , la station (SP2) est située à une distance de 18 Km au nord de la ville de Biskra à proximité de la route nationale N°3, elle fait partie de la ligne reliant Haoud El-Hemra (zone de production) à Béjaia (zone d'exportation) d'une longueur de 668 KM.

IV.1.1 Les principales stations de la ligne

Les principales stations de la ligne sont :

- 1- SPA -OB1 HEH
- 2- SP1-BIS -OB1 Djamaa
- 3- SPB -OB1 Oumache
- 4- SP2 -OB1 El-Outaya
- 5-SPC -OB1 Ain El-Khadhra
- 6-SP3 -OB1 M'Sila
- 7-SBM -OB1 BeniMensour
- 8- Terminal -OB1 Bejaia

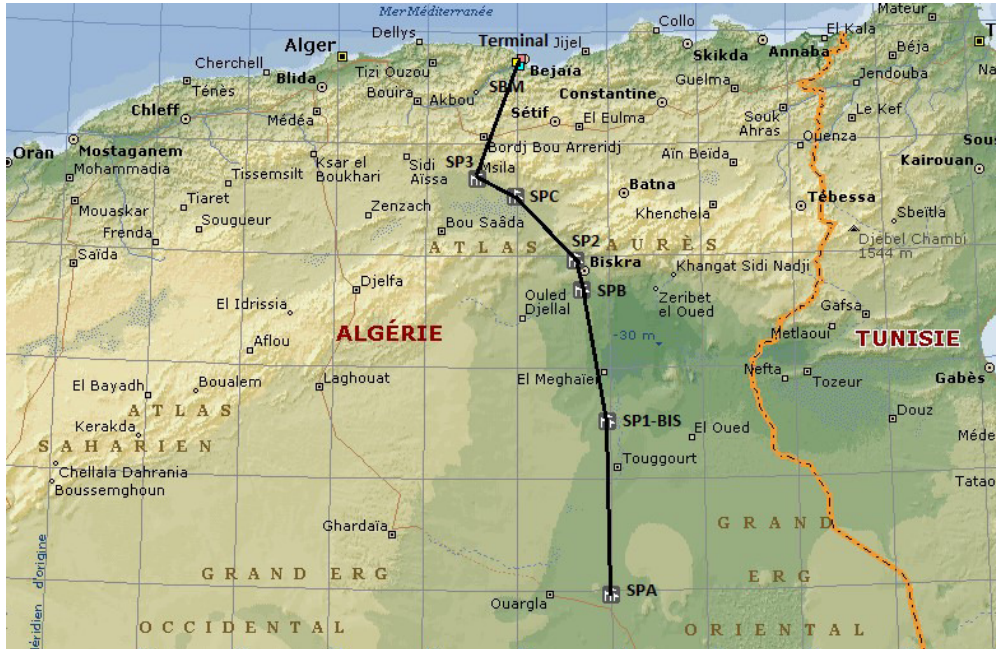


Fig. IV.1Principales stations de ligne

IV.1.2 Les éléments principaux de la station (SP2)

- 01 Bac de stockage
- 02 Bac de stockage
- 03 Bac de décantage
- 04 Les pompes Booster
- 05 Salle de contrôle
- 06 Les pompesprincipales
- 07 Les filtres
- 08 Gareracleur
- 09 L'entrée de la station
- 10 Bassin de l'eau (système anti-incendie)

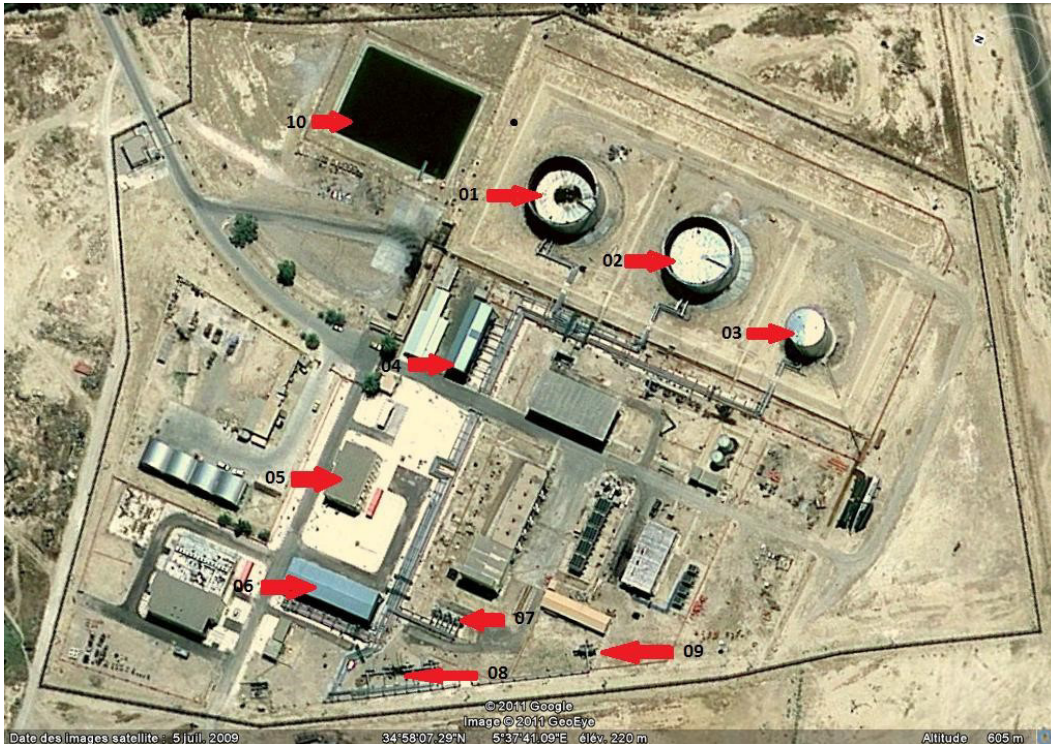


Fig. IV.2 Vue globale (par satellite)de la station

La nouvelle station a été mise en service en Aout 2008, elle est composée de cinq Pompes entrainées par des moteurs électriques de vitesses variables, disposées en série pour augmenter la pression. Les moteurs sont de haute technologie d'une puissance maximale de 1410 Kw et une vitesse de rotation estimée à 2950 tr/min.

VI.2.ACQUISITION DES DONNEES EXPERIMENTALES ISSUES DES POMPES:

IV.2.1 Étude de Cas N°1 : Pompe à eau :

Notre travail consiste à réaliser une prise de mesure de courant sur une phase de la pompe par un capteur de courant, en le connectant directement sur la carte d'acquisition en différents endroits spécifiques. L'acquisition de donnée s'affiche sous forme d'un tableau.

L'analyse de donnée donne le spectre qui sera ensuite analysé.

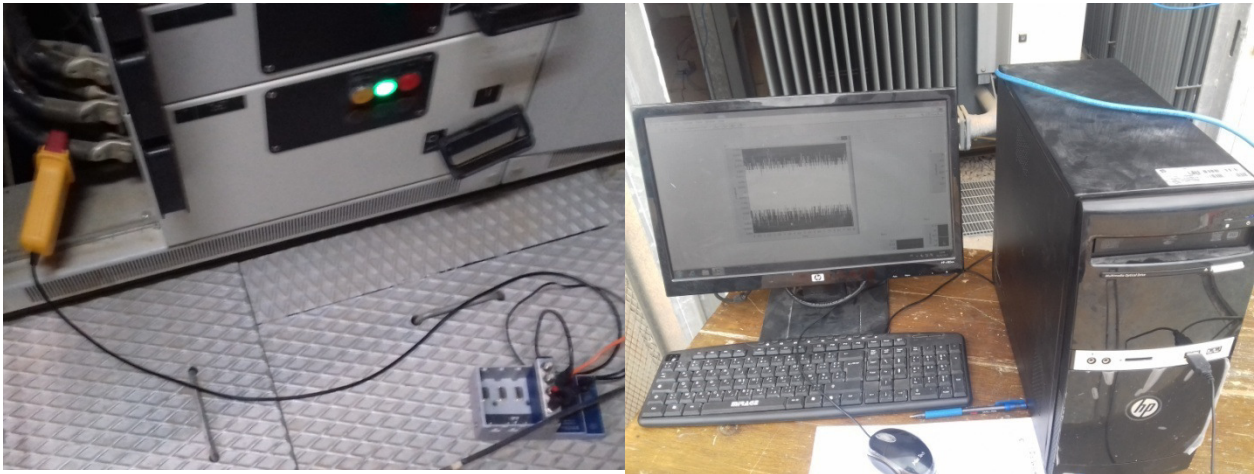


Fig. IV.3 le banc d'essairéel

IV.2.1.1 TRAITEMENT DES DONNEES EXPERIMENTALES :

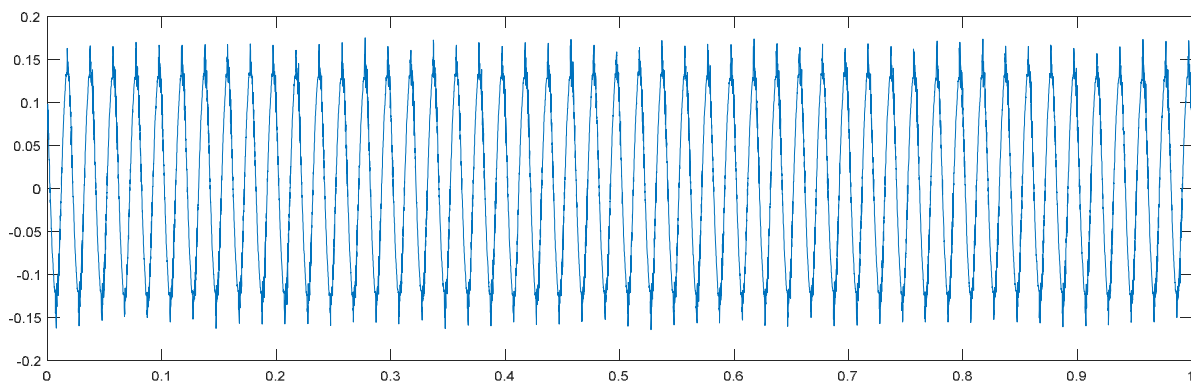
$$f_{\text{excentricité}} = \left[(k\lambda_{br} \pm n_d) \frac{(1-s)}{p} \pm v \right] \cdot f_s$$

$$S=0.0652$$

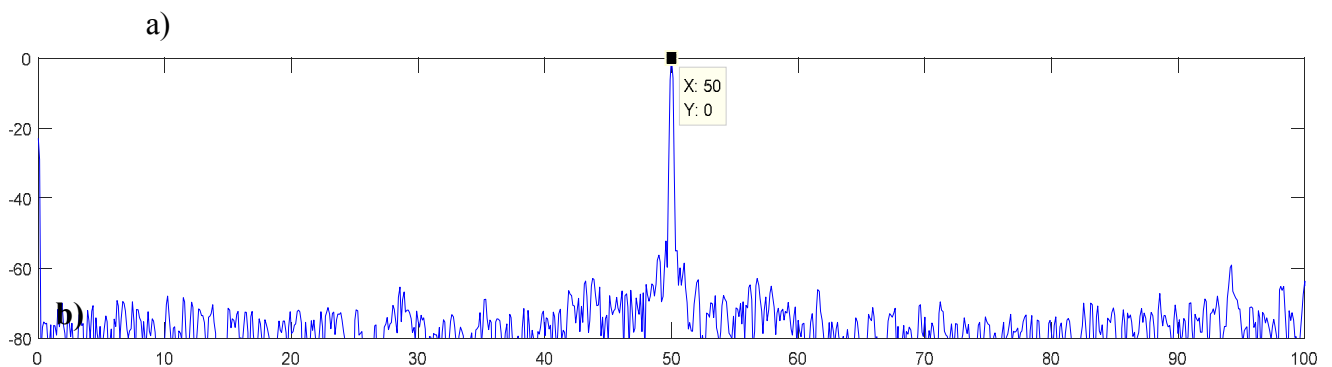
$$\lambda_{br}= 18$$

$$\text{Puissance}=150 \text{ kw}$$

$$\text{Allor } f_{ecc}=(18+1)*(1-0.0652) -1=838.06$$



figurVI.4 : le signal de courant en fonction du temps



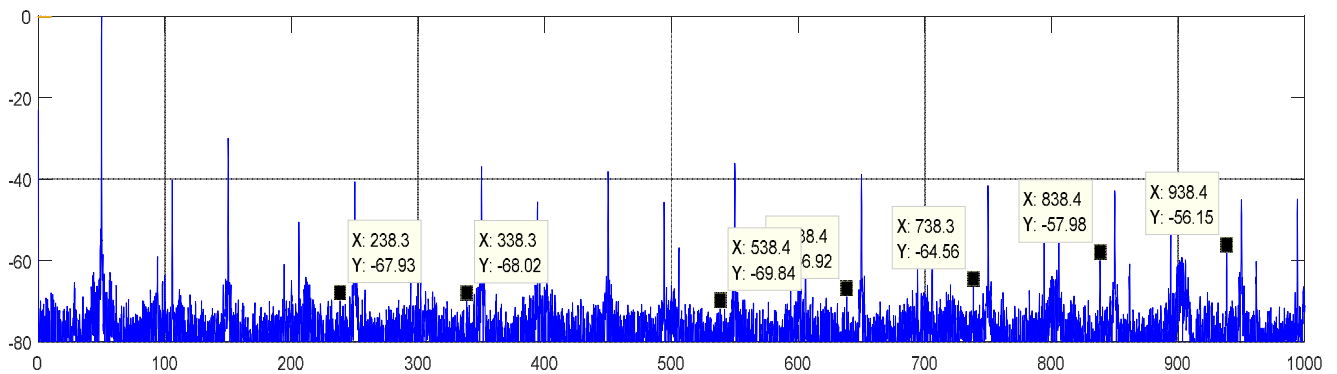


Fig.IV.5:(a,b) Spectre du courant statorique, machine de 150 kw

VI.2.2.Etude de Cas N°2 : Pompes entrainées par des moteurs électriques de vitesses variables

VI.2.2.1.Caractéristique du moteur :

Les caractéristiques des moteurs électriques sont : alimentation 5.5 kV , puissance 1550 kW avec une vitesse de rotation de 2982 tr/min. Il est commandé par un variateur de vitesse fréquence à base des IGBT

La nouvelle station a été mise en service en Aout 2008, elle est composée de cinq Pompes entrainées par des moteurs électriques de vitesses variables, disposées en série pour augmenter la pression. Les moteurs sont de haute technologie d'une puissance maximale de 1410 KW et une vitesse de rotation estimée à 2950 tr/min.



Fig. IV.6 Plaque signalétique des moteurs électriques.

Pour contrôler l'état des moteurs, des capteurs de vibration et de température ont été installés. Chaque GEP (groupe électropompe) est muni d'un détecteur de feu pour la protection (détection) contre l'incendie. La figure VI.4 présente les électropompes principales.



Fig. IV.7 Photo des électropompes principales

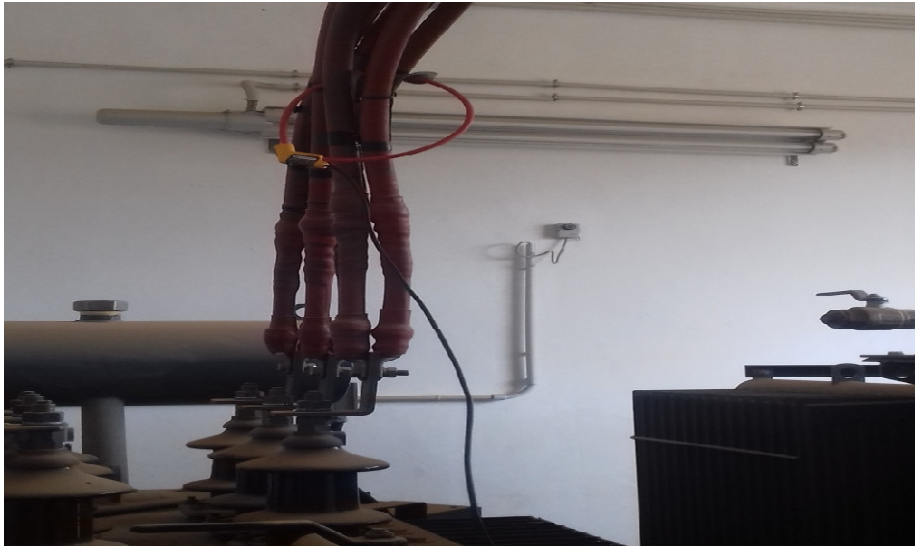


Fig.VI.8le capteur de courant

IV.2.2.2. TRAITEMENT DES DONNEES EXPERIMENTALES:

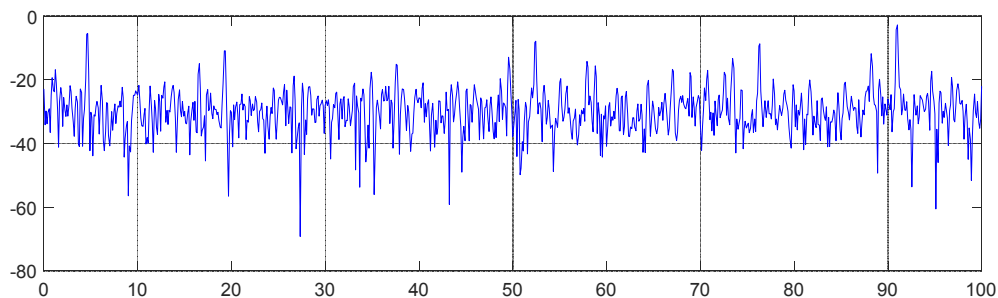


Fig.IV.9 Spectre du courant statorique, machine de 1550 kw

VI.3.CONCLUSION:

Dans ce chapitre, nous avons présenté les résultats expérimentaux d'un cas réel dans l'industrie.

L'objectif de ce chapitre est de faire le premier pas dans le diagnostic des cas réels et ouvrir le champ pour les autres chercheurs de continuer dans ce domaine.

Dans ce travail, nous avons vu la différence entre la méthode de travail dans l'industrie et dans le laboratoire de recherche.

Les résultats expérimentaux confirment les résultats théoriques et nous aident à mieux comprendre comment faire un diagnostic et améliorer la précision de détection de défaut.

Conclusion général

Le travail qui a été présenté dans cette thèse s'inscrit dans le cadre du diagnostic des défauts dans les moteurs asynchrones triphasés à cage d'écureuil.

Au début de ce travail, nous avons établi un état de l'art des défauts dans la machine asynchrone. Où nous rappelons brièvement les principaux éléments constituant cette machine, les différents défauts de cette machine avec leurs causes et conséquences.

Nous avons présenté dans le deuxième chapitre l'étude expérimentale au niveau du laboratoire LGE de Biskra. En utilisant la méthode d'analyse des signatures du courant statorique, on a constaté que cette méthode est très simple et facile à intégrer au système de la surveillance. Nous avons trouvé des ambiguïtés dues aux harmoniques d'encoches rotoriques et aux fréquences d'excentricité mixte, ce qui complique la détermination avec précision du défaut, et dans le troisième chapitre nous nous sommes présentés l'utilisation d'analyse de flux dispersion

Nous avons conclu ce travail par l'étude d'un cas réel dans une station de pompage, cette étude nous a permis de voir la différence entre les études réalisées au laboratoire et dans l'industrie, et ouvrir le champ aux autres chercheurs de continuer dans ce domaine .

BIBLIOGRAPHIE

BIBLIOGRAPHIE

- [1] A. Ghouggal, «Diagnostic de la machine asynchrone triphasée : modèle dédié à la détection des défauts» mémoire de magister, Université de Batna 2005
- [2] N. Halem, «Modélisation des Machines Asynchrones en vue du Diagnostic par Eléments Finis» thèse de doctorat, Université de Mohammed Khaidher Biskra 2014.
- [3] H.Achour , «Etude comparative des indicateurs des défauts rotoriques dans les MAS à cage. » thèse de master, Université de Mohammed Khaidher Biskra 2014
- [4] B.Chermat, «Diagnostic des défauts de MAS par les méthodes paramétriques de traitement du signal » thèse de master, Université de Mohammed Khaidher Biskra 2012
- [7] O.Ondel, «diagnostic par reconnaissance des formes : application a un ensemble convertisseur -machine asynchrone»,thèse doctorat , L'ecole central de Lyon ,2006
- [8] K.Laadjal, «modélisation de la machine asynchrone en présence de défauts par flux 2D» thèse de master, Université de Mohammed Khaidher Biskra 2015
- [9] S. Khelif ,« Modélisation Des Machines Asynchrones en Vue du Diagnostic Prise en Compte Adéquate du Circuit Magnétique» thèse de magister, Université de Mohammed Khaidher Biskra 2012