

17/531.6-16

Université du 8 mai 1945 Guelma
Faculté des Sciences et de la Technologie
Département de Génie Mécanique



Mémoire de fin D'études
Pour l'obtention du diplôme de Master

Option : Maintenance Industrielle

Présenté par : Leulmi Mohamed

=====

***Diagnostic des défauts de cassures des barres
rotoriques dans un moteur asynchrone***

=====

Sous la Direction de :
Dr. Pr. Ouelaa Nouredine

Année universitaire 2011/2012

SOMMAIRE

Page

Résumé Nomenclature

Chapitre : Recherche Bibliographique

I.1 Introduction	1
I.2 Généralités Sur la Maintenance	1
1. Définitions	1
2. Politique De La Maintenance	1
I.3 Différents types de la maintenance	2
I.3.1 Maintenance corrective	2
✚ Maintenance Palliative (Dépannage)	2
✚ Maintenance Curative	2
I.3.2 Maintenance préventive	2
✚ La maintenance préventive systématique	2
✚ La maintenance préventive conditionnelle	2
✚ Maintenance préventive prévisionnelle	2
I.4 Présentation des différentes méthodes de diagnostic	3
I.4.1 Diagnostic par analyse de la température (La Thermographie)	3
I.4.2 Réseaux de neurones	3
I.4.3 Analyse des signaux vibratoires	4
I.4.4 Analyse des courants statorique	4
I.4.5 D'autres méthodes de diagnostic	5
I.6 La machine asynchrone	5
I.6.1 Principe de fonctionnement d'une machine asynchrone	5
I.6.2 Constitution de la machine asynchrone	6
✚ Stator	6
✚ Rotor	7
✚ Les organes mécaniques	8
I.7 Présentation des différentes défaillances du moteur asynchrone	8
I.7.1 Défaillances au rotor	8
❖ Ruptures de barres	8
❖ Ruptures d'anneaux	9
❖ Excentricité statique et dynamique :	9
I.7.2 Défaillances au stator	9
I.7.3 Défaillances mécaniques	10
❖ Défauts roulements	10
❖ Autres défaillances mécaniques	10
I.8 Synthèse bibliographique	11
I.9. Pose de problème	14



Chapitre II : Diagnostic des pannes du moto-ventilateur MK-17 de l'entreprise FERTIAL Annaba

II 1 Introduction	15
II 2 Description du moto-ventilateur MK 17	15
II 3 Schéma cinématique du moto-ventilateur MK 17	16
II 4 Caractéristiques du moto-ventilateur MK 17	17
II 4.1 Caractéristiques du moteur M-17	17
II 4.2 Caractéristiques du Ventilateur K-17	17
II 5 Présentation de l'appareil VIBROTEST 60	18
II 6 Calcul cinématique	19
II 7 Diagnostic des pannes dans le moto-ventilateur MK 17	19
II 7.1 Analyse des spectrale de déplacements	19
II 7.2 Analyse des spectrale de vitesses	24
II 7.2.1 Analyse des spectrale de vitesses mesuré dans la bande [0-200 Hz]	24
II 7.2.2 Analyse des spectrale de vitesses mesuré dans la bande [0-1000 Hz]	27
II 8 Conclusion	31

Chapitre III Diagnostic des cassures de barres dans un moteur asynchrone par analyse vibratoire

III 1 Introduction	32
III 2 Plan expérimentale	32
III.2.1 Banc d'essais et matériel de mesure	32
III 2.1 Caractéristiques Moteur	34
III 2.2 Schéma cinématique du banc d'essais	35
III 2.3 Calcul cinématique	35
❖ Cas de FA=25hz	36
❖ Cas de FA=35hz	37
III 3 Analyse des résultats	37
III 3.1 Moteur sain	37
III 3.2 Moteur défectueux (trois barres cassées)	39
III 3.3 Moteur défectueux plus charge	45
III 4 Conclusion	49

Chapitre I: Diagnostic des cassures de barres dans un moteur asynchrone par analyse du signal courant

IV 1 Introduction	50
IV 2 Plan expérimental	50
IV 2.1 Banc d'essais et matériel de mesure	50
IV 2.2 Schéma cinématique	52
IV 2.3 Calcul cinématique	53
IV 2.4 Analyses des résultats	53
IV 2.4.1 Moteur sain	54
IV 2.4.2 Moteur fonctionnant avec cassées barres	55
IV 2.4.3 Moteur fonctionnant avec cassées de barres et avec charge	57
IV 3 Conclusion	58

Conclusion générale 59

Les références bibliographiques 60

RESUME

Les machines asynchrones sont réputées par leurs qualités de robustesse et de faible coût de construction. Dans ce travail, nous présentons deux méthodes expérimentales dédiées à la détection des cassures de barres rotoriques dans les moteurs asynchrones triphasés à cage. Ces méthodes sont basées sur l'analyse des signaux du courant statorique mesurés sur l'une des phases d'alimentations du moteur et l'analyse des signaux de vibrations mesurés sur le palier du moteur côté accouplement. L'objectif, de ce travail est la détection du défaut de cassures des barres par les deux méthodes. Les résultats obtenus ont montré que l'analyse des signaux vibratoires donne de bonne résultats, par contré, les résultats obtenus par l'analyse des signaux du courant statorique n'a pas permet la détection du défaut.

Mots clés : Maintenance prédictive, Moteur asynchrone, Analyse courant statorique, Analyse vibratoire

Chapitre I

Recherche Bibliographique

I.1 .Introduction

La machine asynchrone occupe maintenant une grande place dans les applications industrielles, elle représente jusqu'à 80% des machines utilisées dans les domaines, on la rencontre dans les endroits les plus divers de l'éolienne à des applications militaires, dans les propulsions électriques des véhicules, de tramway et de train de grande vitesse, voire même de bateaux de croisières.

Dans de nombreux secteurs industriels, la sûreté de fonctionnement est un enjeu majeur pour assurer une compétitivité optimale de l'outil de production. Les gains de productivité représentent un souci quotidien pour les dirigeants des entreprises. La compétitivité de ce secteur passe par la maîtrise indispensable de la disponibilité de l'outil de production, l'amélioration de son fonctionnement, la sécurité de ses utilisateurs et la réduction des coûts d'entretien. Il existe plusieurs notions permettant une optimisation des systèmes industriels qui s'intègrent à la discipline de la sécurité de fonctionnement : fiabilité, maintenabilité, sécurité et maîtrise des risques. Le diagnostic des défaillances de systèmes industriels, lorsqu'il est réalisé avec efficacité et s'il permet de détecter de façon précoce une dégradation, représente un des moyens pour contribuer à obtenir un meilleur gain de productivité. Sa vocation première est de détecter et de localiser une possible défaillance des matériels. De plus en plus, il devient une partie intégrante de la fonction de la maintenance. Devenue une discipline majeure, relayée sur le terrain par des technologies modernes, le diagnostic industriel est devenu une discipline incontournable dans le domaine de la sûreté de fonctionnement.

Ce travail a porté sur le diagnostic par la classification des défauts de la machine asynchrone. Trois types de défauts ont été traités à savoir le défaut statorique, le défaut rotorique et le défaut de roulement. L'analyse du courant statorique de la machine asynchrone est utilisée pour la détection des différents défauts.

I.2 Généralités Sur la Maintenance

1. Définitions :

D'après la norme afnor (NFXO 60-010) : « *La maintenance est l'ensemble des actions permettant de maintenir ou de rétablir un bien dans un état spécifié ou en mesure d'assurer un service déterminé* » , [1].

2. Politique De La Maintenance :

Choisir entre un type ou un autre type de maintenance est une question cruciale, ceci constitue la stratégie de maintenance le plus souvent « *Appelée politique de maintenance* ». Une stratégie de maintenance doit être fondée sur, [2]:

- La connaissance technologique des biens concernés ;
- Leurs conditions d'exploitation dans le système productif ;
- Leur criticité dans le processus de production ;

- Les couts directs et indirects engendrés.

I. 3 Différents types de la maintenance

I.3.1 Maintenance corrective:

Est une maintenance effectuée après défaillance, qui se devise en catégories :

- ✚ **Maintenance Palliative (Dépannage):** est une maintenance corrective caractérisée par des opérations de dépannage provisoires, effectuée in situ, parfois sans interruption du fonctionnement de l'ensemble concerné.
- ✚ **Maintenance Curative :** est une maintenance corrective caractérisée par des opérations de réparation définitives, effectuée in situ ou en atelier central, parfois après dépannage [3].

I.3.2 Maintenance préventive:

Regroupe l'ensemble des actions exécutées à des intervalles prédéterminés ou selon des critères prescrits et destinées à réduire la probabilité de défaillance ou la dégradation du fonctionnement d'un bien. La répartition des couts de maintenance peut alors être exprimée en fonction du type de maintenance réalisée.

La maintenance préventive est elle-même composée de plusieurs catégories qui diffèrent par leurs conditions d'activation [4].

- ✚ **La maintenance préventive systématique :** est exécutée à des intervalles de temps préétablis ou selon un nombre d'unités d'usage (*ou cycles d'utilisation*) quel que soit l'état du bien [4].
- ✚ **La maintenance préventive conditionnelle:** est définie comme étant « *la maintenance subordonnée à un type d'événement prédéterminé (autodiagnostic, information d'un capteur, mesure . . .)* ». Ce type de maintenance récente, permet d'assurer le suivi continu d'un matériel en fonctionnement, [5].
- ✚ **Maintenance préventive prévisionnelle:** Parfois appelée « *maintenance prédictive* » : La maintenance prévisionnelle est, selon l'AFNOR, « *Maintenance exécutée en suivant les prévisions extrapolées de l'analyse et de l'évaluation de paramètres significatifs de la dégradation du bien* ».

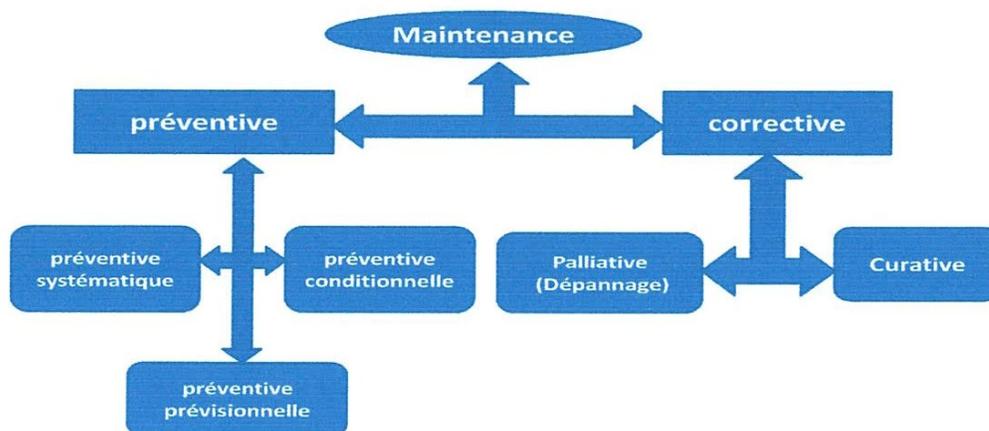


Figure1: Les différents types de maintenance

I. 4 Présentation des différentes méthodes de diagnostic

Dans cette partie, nous allons décrire les méthodes les plus couramment rencontrées pour le diagnostic des défaillances de la machine asynchrone.

I. 4 .1 Diagnostic par analyse de la température (La Thermographie) :

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 de choses entre les températures normales de fonctionnement et les anomalies. Les anomalies sont localisées spatialement, un réglage des paramètres de l'objet (émissivité, ambiance...) permet le calcul direct de la température maximale observée et éventuellement la surchauffe. Un calcul complémentaire peut, dans le cas où le système n'est pas à sa charge normale, permettre d'estimer la surchauffe ramenée à son fonctionnement normal. La surchauffe étant calculée, nous rapprochons celle-ci de la cinétique de dégradation et donc des degrés d'urgence. Un cliché dans l'infrarouge et une photo dans le visible mémorisent le défaut [6].

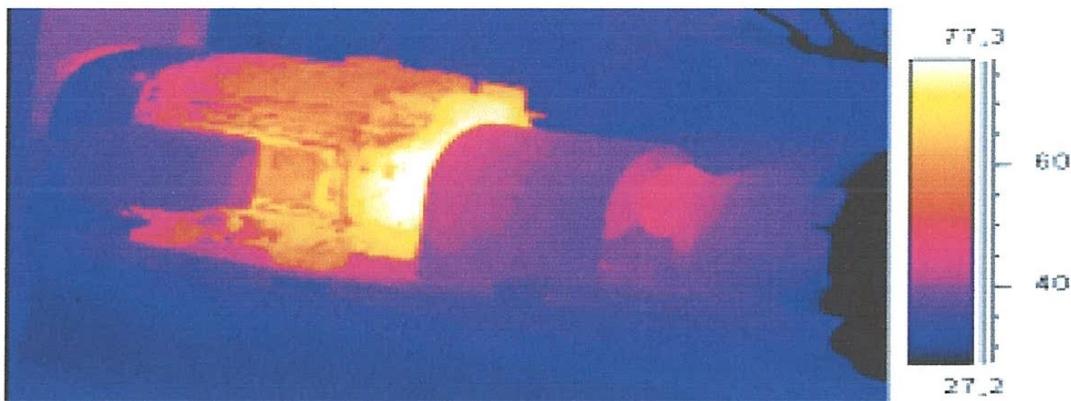


Figure2: Image par Thermographie

I.4 .2 Réseaux de neurones :

Un réseau de neurones comprend un certain nombre de couches de neurones interconnectés. Couches d'entrées, couches cachées et couches de sortie. L'entrée représentée par les nœuds de sources fournit des poids d'accès physiques pour l'application des signaux d'entrées. Les neurones dans la couche cachée, se comportent en détecteurs de caractéristique, tandis que, les neurones dans la couche de sortie présentent à l'utilisateur les conclusions obtenues par le réseau, ou la réponse aux signaux d'entrées. Une loi d'apprentissage permet d'ajuster les poids des connexions afin d'avoir les performances désirées. [7]

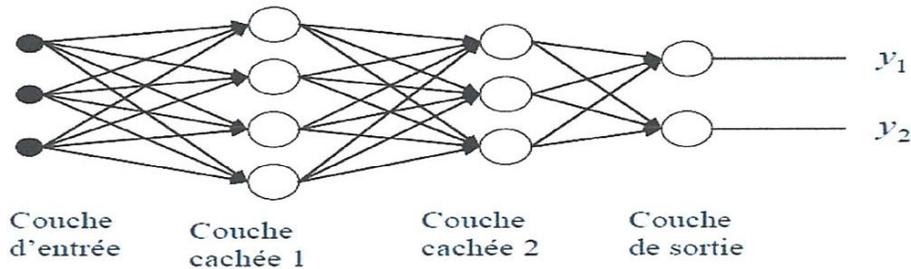


Figure3: la structure générale de réseau de neurone

I.4.3 Analyse des signaux vibratoires ;

L'analyse des défaillances des moteurs électriques par les signaux vibratoires et acoustiques permet une détection de quasiment tous les défauts, notamment ceux mécaniques, pouvant se produire sur le processus. Cette analyse peut être réalisée à partir de capteurs, généralement des accéléromètres, placés sur les paliers dans les directions verticales, axiales et radiales, [8].

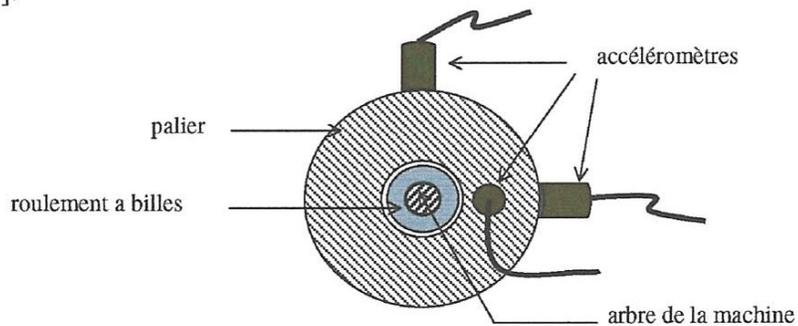


Figure4: Mesures vibratoires sur la machine asynchrone

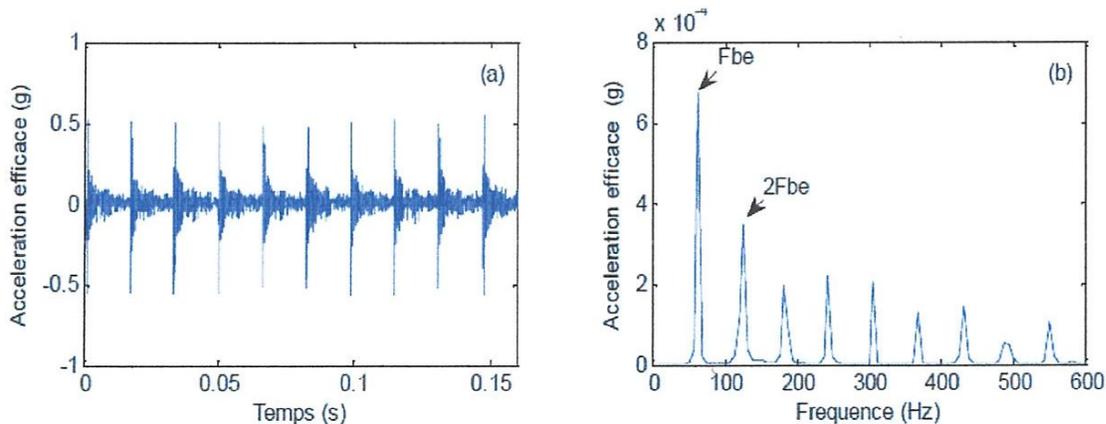


Figure 5: (a) Signal temporel original et (b) Spectre d'enveloppe d'un défaut

I.4.4 Analyse des courants statorique :

Les signaux évoqués précédemment permettent de détecter un grand nombre de défauts sur la machine. Cependant, ces signaux nécessitent la mise en place d'un grand nombre de capteurs (flux, couple mètre, accéléromètres,...) souvent onéreux, sensibles et délicats à placer dans des environnements contraignants. Pour ces inconvénients et pour extraire de

manière précise les informations relatives aux défauts les recherches ont été particulièrement dirigées vers le spectre des courants statorique pour deux raisons : Les courants sont faciles à mesurer, ils fournissent des informations sur de nombreux défauts, [9].

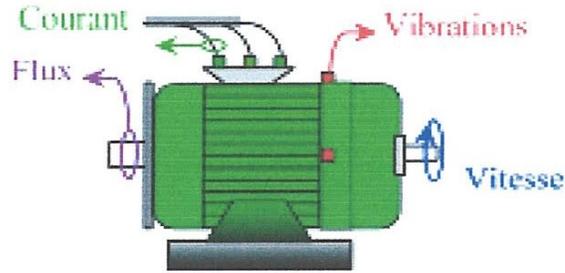


Figure6: Les points de mesures

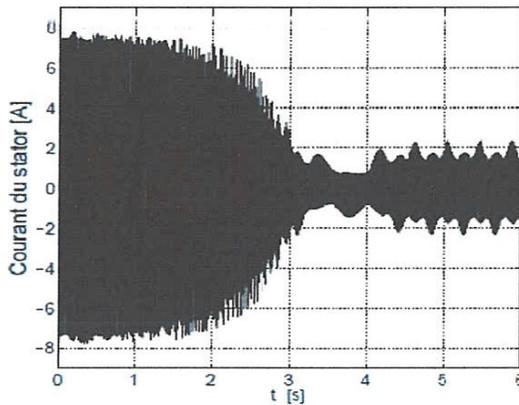
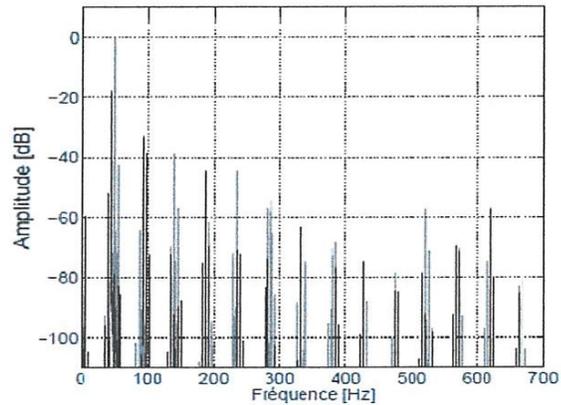


Figure7: (a) Courant statorique,



(b) Spectre du courant statorique.

I. 4. 5 D'autres méthodes de diagnostic :

- Diagnostic par les analyses chimiques
- Analyse des flux
- Analyse du couple électromagnétique
- Reconnaissances des formes (RDF)
- Logique floue.....

I.6 La machine asynchrone

Les moteurs asynchrones triphasés sont les moteurs employés le plus fréquemment dans l'industrie. Ils possèdent en effet plusieurs avantages : simplicité, robustesse, prix peu élevé et entretien facile.

I.6.1 Principe de fonctionnement d'une machine asynchrone :

Le fonctionnement d'une machine asynchrone est basé sur le principe de l'interaction électromagnétique du champ tournant créée par le courant triphasé fourni à l'enroulement

statorique par le réseau, et des courants induits dans l'enroulement rotorique lorsque les conducteurs de ce dernier sont coupés par le champ tournant, [10].

1.6 .2 Constitution de la machine asynchrone :

La machine asynchrone est constituée des principaux éléments suivants :

Le stator : (partie fixe) constitué de disques en tôles magnétiques portant les enroulements chargés de magnétiser l'entrefer.

Le rotor : (partie tournante) constitué de disques en tôles magnétiques empilés sur l'arbre de la machine portant un enroulement injecté.

Les organes mécaniques : permettant la rotation du rotor et le maintien des Différents sous-ensembles, [11].

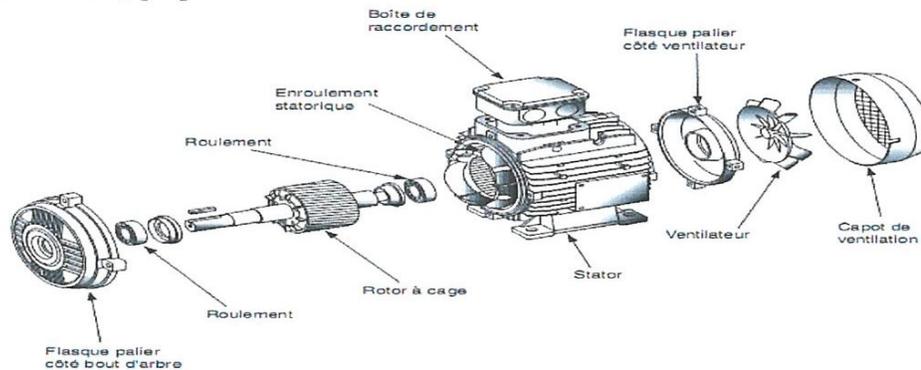


Figure8: Machine asynchrone triphasé

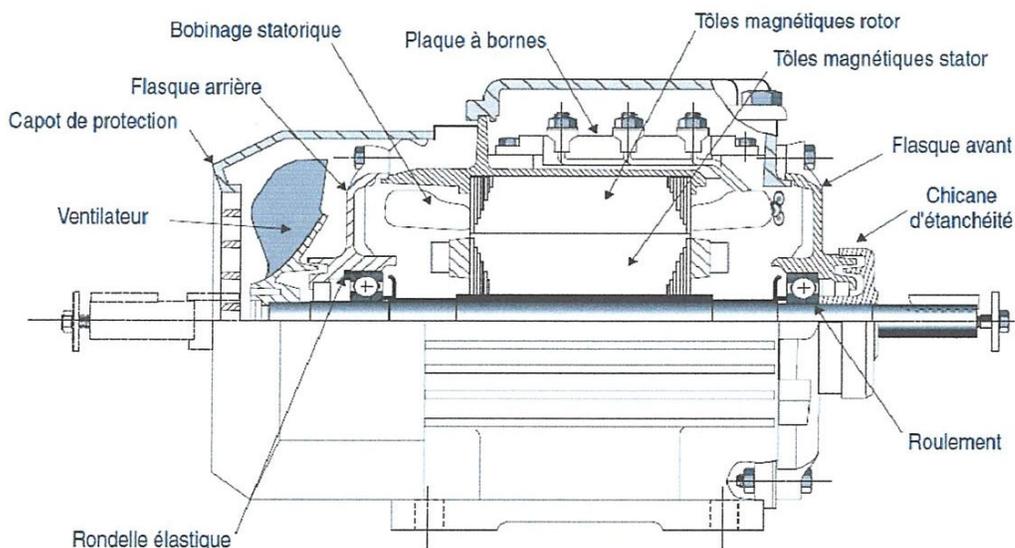


Figure9: Parties constitutives d'un moteur électrique

✚ Stator

Le stator de la machine asynchrone est constitué de tôles d'acier dans lesquelles sont placés les bobinages statoriques. Ces tôles sont, pour les petites machines, découpées en une

seule pièce alors qu'elles sont, pour les machines de puissance plus importantes, découpées par sections. Elles sont habituellement recouvertes de vernis pour limiter l'effet des courants de Foucault. Au final, elles sont assemblées les unes aux autres à l'aide de boulons ou de soudures pour former le circuit magnétique statorique.

Une fois cette étape d'assemblage terminée, les enroulements statoriques sont placés dans les encoches prévues à cet effet. Ces enroulements peuvent être insérés de manières imbriquées, ondulées ou encore concentriques. L'enroulement concentrique est très souvent utilisé lorsque le bobinage de la machine asynchrone est effectué mécaniquement. Pour les grosses machines, les enroulements sont faits de méplats de cuivre de différentes sections insérés directement dans les encoches. L'isolation entre les enroulements électriques et les tôles d'acier s'effectue à l'aide de matériaux isolants qui peuvent être de différents types suivant l'utilisation de la machine asynchrone. Le stator d'une machine asynchrone est aussi pourvu d'une boîte à bornes à laquelle est reliée l'alimentation électrique, [12].

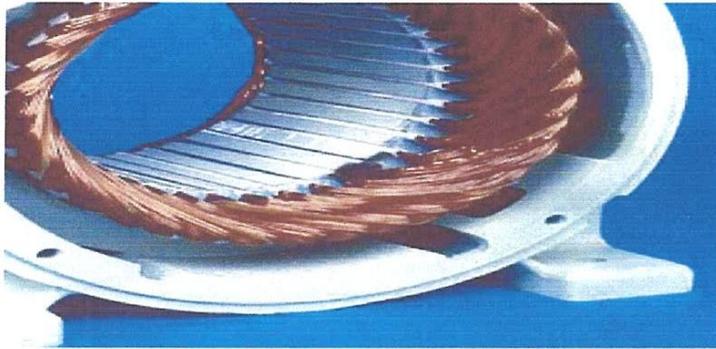


Figure10: Photo du stator d'une machine asynchrone

Rotor

Tout comme le stator, le circuit magnétique rotorqué est constitué de tôles d'acier qui sont, en général, de même origine que celles utilisées, pour la construction du stator. Les rotors de machines asynchrones peuvent être de deux types : bobinés ou à cage d'écureuil. Les rotors bobinés sont construits de la même manière que le bobinage statorique (insertion des enroulements dans les encoches rotoriques). Les phases rotoriques sont alors disponibles grâce à un système de bagues-balais positionné sur l'arbre de la machine. En ce qui concerne les rotors à cage d'écureuil, les enroulements sont constitués de barres de cuivre pour les gros moteurs ou d'aluminium pour les petits. Ces barres sont court-circuitées à chaque extrémité par deux anneaux dits "de court-circuit", eux aussi fabriqués en cuivre ou en aluminium. [12]

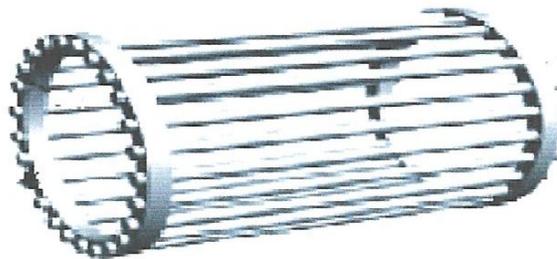


Figure11: Rotor à cage d'écureuil

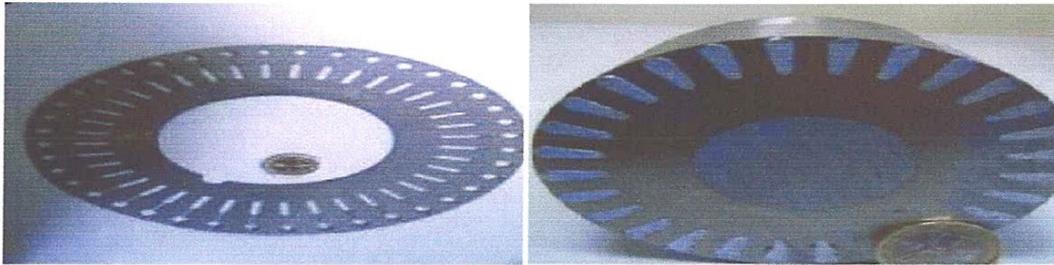


Figure12: Circuit magnétique constituant le rotor

✚ Les organes mécaniques

La carcasse sert de support, elle joue le rôle d'enveloppe et assure la protection contre l'environnement extérieur. L'arbre est un organe de transmission. Il comprend une partie centrale qui sert de support au corps du rotor et un bout d'arbre sur lequel est fixé un demi-accouplement. Il est généralement constitué en acier moulé ou forgé. Son dimensionnement est fonction des efforts de flexion (force centrifuge qui s'exerce sur lui, attraction magnétique radiale, etc...), des efforts radiaux et tangentiels dus aux forces centrifuges, des efforts de torsion (couple électromagnétique transmis en régime permanent, transitoire). Il est supporté par un ou plusieurs paliers. Ces paliers soutiennent le rotor et assurent la libre rotation. Le second palier est libre pour assurer les dilatations thermiques de l'arbre. Une isolation électrique de l'un des paliers assure l'élimination des courants dans l'arbre dû aux dissymétries des réluctances du circuit magnétique. Ils sont généralement à roulements pour les machines de petite et moyenne puissance. [7]

1.7 Présentation des différentes défaillances du moteur asynchrone

Les défaillances peuvent être d'origines diverses, électriques, mécaniques ou bien encore magnétiques. Leurs causes sont multiples et peuvent se classer en trois groupes

1.7.1 Défaillances au rotor :

Pour le rotor, les défaillances sont essentiellement dues à un problème :

- ✓ thermique
- ✓ électromagnétique
- ✓ résiduel
- ✓ dynamique
- ✓ mécanique
- ✓ environnemental

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

❖ Ruptures de barres :

La cassure ou rupture de barre est un des défauts les plus fréquents au rotor. Elle peut se situer soit au niveau de son encoche soit à l'extrémité qui la relie à l'anneau rotorique. La détérioration des barres réduit la valeur moyenne du couple électromagnétique et augmente l'amplitude des oscillations, qui elles-mêmes provoquent des oscillations de la vitesse de rotation, ce qui engendre des vibrations mécaniques et donc, un fonctionnement anormal de la machine. La grande amplitude de ces oscillations accélère la détérioration de la machine.

Ainsi, le couple diminue sensiblement avec le nombre de barres cassées induisant un effet cumulatif de la défaillance. L'effet d'une cassure de barre croît rapidement avec le nombre de barres cassées, [8].

❖ Ruptures d'anneaux :

La rupture de portion d'anneau est un défaut qui apparaît aussi fréquemment que la cassure de barres. Ces ruptures sont dues soit à des bulles de coulées ou aux dilatations différentielles entre les barres et les anneaux. Comme il est difficile de le détecter, ce défaut est généralement groupé, voir confondu, avec la rupture de barres dans les études statistiques. Ces portions d'anneaux de court-circuit véhiculent des courants plus importants que ceux des barres rotoriques. De ce fait, un mauvais dimensionnement des anneaux, une détérioration des conditions de fonctionnement (température, humidité,...) ou une surcharge de couple et donc de courants, peuvent entraîner leur cassure.

La rupture d'une portion d'anneau déséquilibre la répartition des courants dans les barres rotoriques et de ce fait, engendre un effet de modulation d'amplitude sur les courants statoriques, [9].

❖ Excentricité statique et dynamique :

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). [8]

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



Figure13: Excentricité statique et Excentricité dynamique

1.7 .2 Défaillances au stator :

Pour le stator, les défaillances sont principalement dues à un problème :

- ✓ thermique
- ✓ électrique
- ✓ mécanique
- ✓ environnemental

Les défauts qui sont les plus récurrents, localisés au niveau du stator, peuvent être définis comme suit, [8]:

- défaut d'isolant
- court-circuit entre spires
- court-circuit entre phases
- court-circuit phase/bâti
- déséquilibre d'alimentation
- défaut de circuit magnétique.

1.7.3 Défaillances mécaniques :

❖ Défauts roulements :

Les roulements à billes jouent le rôle d'interface électromécanique entre le stator et le rotor. En outre, ils représentent l'élément de maintien de l'axe de la machine permettant d'assurer une bonne rotation du rotor. Dans l'article, l'auteur présente la plupart des défauts survenant dans les roulements des moteurs à induction ainsi que les raisons de leur vieillissement. Comme il a été présenté précédemment, ce type de défaut est le plus fréquent sur les machines de fortes puissances. Il est généralement lié à l'usure du roulement et plus précisément une dégradation des billes, ou de la bande de roulement. Ses causes possibles sont :

- l'usure due au vieillissement
- la température de fonctionnement élevée
- la perte de lubrification
- l'huile contaminée (par des paillettes métalliques issues de la dégradation des billes ou de la bande de roulement)
- le défaut de montage
- les courants d'arbres (Shaft Current)

Les conséquences directes de cette défaillance sur les roulements sont :

- des trous dans les gorges de roulement intérieures et extérieures
- l'ondulation de leur surface de roulement
- l'attaque des billes
- la corrosion due à l'eau
- défaut de graissage, problème dû à la température
- décollement, effritement de surface provoqué par une surcharge

Sur le système, ce type de défaut se traduit par des oscillations du couple de charge, une apparition de pertes supplémentaires et un jeu entre la bague interne et la bague externe du roulement entraînant des vibrations par les déplacements du rotor autour de l'axe longitudinale de la machine. Dans le cas le plus défavorable, la présence d'un roulement défectueux peut amener au blocage du moteur, [8].

❖ Autres défaillances mécaniques :

Au stator, il n'y a pas de pièces mobiles donc a priori pas de défaillances mécaniques. Cependant, il peut apparaître des phénomènes d'oxydation liés à l'environnement de la machine et plus précisément au taux de salinité qui influe sur l'étanchéité et les contacteurs[8].

I.8 Synthèse bibliographique

Abdelkader M, Nouredine b, Azzedine b [12], Cet article traite l'analyse spectrale de la signature du courant statorique du moteur asynchrone à cage d'écureuil en vue de la détection d'un défaut au rotor, cassure de barres, en tenant compte des harmoniques d'espace. Le modèle de la machine utilisée est l'approche des multi circuits électriques couplés magnétiquement ils ont conclue que l'analyse spectrale du courant statorique permet d'identifier les signatures fréquentielles causées par la rupture des barres de la cage rotorique. Ils montrent aussi que la surveillance de l'amplitude des composantes de fréquence, présente dans le spectre fréquentiel du courant statorique, permet de détecter la présence d'un défaut au niveau de la cage rotorique par la présence des harmoniques de fréquences, et l'analyse de l'amplitude des harmoniques dans le spectre du courant statorique donne des informations supplémentaires non négligeables pour le diagnostic des défauts rotoriques.

B. Trajin [13], Cet article traite la détection de défauts de roulements dans les machines asynchrone par analyse des courants de phase statorique. D'une part, il démontre que les défauts de roulements entraînent des oscillations du couple de charge à des fréquences caractéristiques du roulement. D'autre part, un modèle de courant statorique démontre qu'en présence d'oscillations du couple de charge, il existe des modulations de phase sur ces courants, et il conclue que tout les effets mécaniques des défauts de roulements sur les grandeurs vibratoires et sur le couple ont été présentés automatiquement dont les signatures spectrales des défauts des roulements sur le courant statorique ont été mis en œuvre. Celui-ci est basé sur une extraction d'énergie dans des bandes fréquentielles où sont susceptibles d'apparaître les signatures recherchées. Le point de résonance a été utilisé de manière à amplifier les effets des défauts de roulements sur les courants et à préciser quel type de défaut était détecté. Le schéma de détection proposé permet effectivement de détecter avec un bon indice de confiance les défauts de roulements de type localisés ou d'usure en utilisant les grandeurs électriques.

A. Aboubou, M. Sahraoui, A.Ghougal, S. E. Zouzou [14], Cet article présente une nouvelle approche pouvant être utilisé pour le diagnostic de barre cassée du rotor dans les moteurs asynchrones de grandes puissances. La tension présente entre le neutre de la source d'alimentation et le neutre du moteur asynchrone lorsque celui-ci est connecté en étoile est analysée dans le domaine spectral présente des différents défauts de la cage rotorique (une barre partiellement cassée ou complètement cassée) ont été étudiés sous différents niveaux de charge. Cet article montre que l'analyse de la tension entre le neutre de la source d'alimentation et le neutre de la machine asynchrone donne des informations efficaces sur l'état du moteur asynchrone, et que l'amplitude des composantes présentes dans le spectre de la tension augmente avec une plus grande importance que celle présentée dans le spectre du courant statorique lors de l'apparition du défaut. Ils remarquent que le spectre de puissance du courant statorique donne des informations moins pertinentes que le spectre de puissance de la tension surtout lorsqu'il s'agit d'une faible charge avec une légère fissure. Cette conclusion a pu être vérifiée à travers différents résultats théoriques et pratiques. Ces différents résultats montrent que cette tension est un signal complémentaire à celui du courant statorique pour l'analyse et le diagnostic de défaut des moteurs asynchrones et l'instrumentation nécessaire pour analyser cette tension reste simple et peu coûteuse et que seul un accès au neutre du moteur et au neutre du réseau d'alimentation est nécessaire.

Abdelhakim Idir, Ali Belmehdi, Djamel Chikouche [15], Cet article étudie la détection de défaut au niveau du rotor de la machine à induction par le suivi des résistances rotoriques d'un modèle triphasé. Un outil de détection des défauts rotoriques basé sur un observateur de Kalman étendu qui est utilisé pour tracer les paramètres.

Ce travail consiste à surveiller la machine asynchrone lorsqu'un défaut rotorique s'apparaît. Pour cela, ils ont développé un outil de diagnostic basé sur l'observation de paramètres significatifs des défauts que peut subir une machine asynchrone. Un observateur de Kalman étendu nous permet de suivre les résistances des trois phases rotoriques, donc, il peut servir comme une alarme indicatrice de défaut. Les résultats ont été validés par des simulations

F. Taffine, K. Mokrani, J. Antoni, A. Kabla, And Z. Asradj [16], dans ce travail ils ont développé une technique de diagnostic actuellement très répandue « l'analyse de la signature du courant statorique (MCSA) ». Ce diagnostic sera établi sur la base d'une comparaison entre les mesures effectuées et un signal de référence (sain). Ils mettent l'accent sur la détection et la caractérisation d'un défaut au niveau des roulements à billes par l'analyse spectrale classique. Ils présentent des méthodes de classification, inspirées de la théorie statistique de l'apprentissage supervisée de V. Vapnik (1995) appelée Support Vector Machine (SVM) dite aussi Séparateur à Vaste Marge pour la classification de ces défauts dans le but de la maintenance préventive en temps réel.

Cet article montre que la surveillance du courant statorique est un moyen promoteur qui permet d'obtenir des informations sur l'état de la machine asynchrone. Une analyse spectrale du courant statorique permet de valider certains résultats mais montre aussi les limitations d'une telle approche, car l'utilisation du courant statorique pour différents défauts entraîne des problèmes de recouvrement des signatures vu la richesse et la complexité de ce spectre, l'introduction des SVMs qui est un classificateur binaire permet d'obtenir des résultats très significatifs et a démontré son efficacité pour le diagnostic des défauts de roulement en temps réel. Dans l'ensemble des résultats obtenus, ils constatent que le diagnostic d'un moteur à vide donne des résultats meilleurs qu'avec une charge.

Céline Theys, Michelle Vieira [17], la présence d'un défaut est caractérisée dans le spectre du courant statorique par l'apparition ou les modifications de certaines raies. Une approche Bayésienne est proposée pour estimer les paramètres modifiés par l'éventuel défaut en tenant compte des a priori construits à partir des conditions de l'expérience. L'estimation est réalisée à partir d'échantillons de la densité de probabilité a posteriori des paramètres, générés par un algorithme de Monte Carlo par chaîne de Markov (MCMC).

Cet article montre que l'introduction de la densité est à priori un paramètre de régularisation permet d'améliorer l'estimation lorsque les valeurs du glissement sont proches de zéro. Des résultats concluants ont été obtenus sur des signaux synthétiques et des signaux réels.

Hubert Razik [18], Cet article, fait appel à des commandes de type scalaire ou vectoriel. Ces machines ont la réputation d'être robustes, d'être adaptées à des applications de forte puissance. Cependant, malgré les qualités évoquées, il n'est pas rare que ces moteurs présentent quelques défaillances émanant d'un vieillissement prématuré. Ils analysent donc ce papier quelques défauts les plus couramment rencontrés et les effets engendrés par ceux-ci. Dans cet article, il est fait état des différents défauts interférant sur le contenu spectral du courant absorbé par le moteur asynchrone, ces défauts peuvent être d'origine mécanique ou électrique, il a mis l'accent sur les fréquences induites car la technique la plus répandue est basée sur l'analyse spectrale du courant statorique.

Pierre Granjon, Michelle Vieira, Sophie Sieg-Zieba [19], Cet article présente une nouvelle méthode de surveillance des actionneurs par analyse de leurs courants d'alimentation. La méthode proposée repose sur un modèle théorique de signature des défauts mécaniques dans les courants, spécialement développé pour ce travail. Les traitements prennent également en compte la nature multi composante (triphase) des grandeurs électriques à analyser. Les excellentes performances obtenues par cette approche sont illustrées à l'aide de données expérimentales.

Les résultats obtenus ont montré que le fait de prendre en compte les trois courants de phase par l'intermédiaire du vecteur d'espace courant plutôt qu'un seul courant de phase présente plusieurs avantages importants. Toutefois, cet article n'a pas montré la validité pratique de cette approche que dans le cas d'un désalignement mécanique. Il reste donc à valider cette démarche pour d'autres types de défauts mécaniques.

M. Boumahdi, J.P Dron, S. Rechak Et O. Cousinard [20], cet article est consacré à l'étude de l'apport des arbres de décision dans la détection de défauts de roulements. La méthodologie proposée est basée sur l'extraction des règles de décision dans un processus de détection de défauts de roulements à partir de la valeur de plusieurs indicateurs tels que le Kurtosis, le facteur de crête ou la valeur efficace. Ces valeurs sont issues de l'analyse statistique des signaux vibratoires obtenus expérimentalement à l'aide d'accéléromètres piézo-électriques.

Dans cette étude les valeurs de taux de classification et de Kappa statistique, indiquent que les arbres obtenus ont modélisé parfaitement l'état de roulement. De plus, ces arbres ont permis de définir des seuils pour le Kurtosis et le RMS. La combinaison des indicateurs de détection et d'identification ainsi que la combinaison de l'état de défaut et le niveau de sévérité ont permis d'obtenir des arbres de décision de petites tailles. Finalement, il faut introduire les défauts de cage et de billes pour une modélisation complète de l'état de roulement.

M. Sahraoui, S.E.Zouzou, A. Menacer, A. Aboubou Et A. Derghal [21], Cet article, présente trois méthodes dédiées à la détection des cassures de barres dans un moteur asynchrone triphasé à cage. Ces méthodes sont basées sur l'analyse spectrale (par FFT) des signaux du couple, de la vitesse et du courant statorique afin de déterminer leurs composition fréquentielle, et donc de retrouver les raies associées au défaut. Dans laquelle ils ont présentés un modèle multi-enroulement décrivant le comportement du moteur en présence de cassure de barres. Une étude analytique du défaut est décrite.

Les études analytique de défaut a permis d'analyser et d'expliquer l'influence des cassures de barres sur les performances du moteur. Une analyse spectrale par la transformée de Fourier rapide est appliquée sur les signaux du couple, de la vitesse et du courant statorique, afin de déterminer la composition fréquentielle de ces signaux et par conséquent de trouver les harmoniques caractérisant les cassures de barres. Des testes de simulations nous ont permis de comparer entres ces techniques. Il s'est avéré que la détection des défauts est plus aisée sur le courant statorique que sur la vitesse ou sur le couple. Cette constatation s'explique en partie par le fait que le courant statorique est plus accessible et mesurable extérieurement au moteur et en plus, l'harmonique, de ce courant est plus sensible à la sévérité du défaut que celle de couple ou de la vitesse.

Khatir Abdelfatah [9], le travail présenté s'inscrit dans le cadre du diagnostic des défauts rotoriques dans les moteurs asynchrones triphasés à cage d'écureuil, en utilisant des nouvelles techniques tel que l'analyse spectrale, les réseaux de neurones et la logique floue. Il

examine plus précisément les défauts qui peuvent apparaître au niveau du rotor. Pour cela, il utilise le modèle multi-enroulements pour analyser le comportement de la machine en absence et en présence des défaillances. Il montre l'influence du nombre de barres et de portions cassées, leur mutuelle position ainsi que la variation du glissement sur ces composantes et trouve que l'amplitude de ces harmoniques augmente avec le nombre de barres cassées. Ceci, donne une indication sur la sévérité du défaut, comme il trouve aussi, que le défaut dû aux cassures des portions d'anneaux de court-circuit est plus sévère que celui dû aux cassures de barres rotoriques.

Selmane Mohamed, Charabi Ali [22], ils se sont intéressés aux défauts dans les systèmes complexes, et ont développé une stratégie de diagnostic appliquée à un moteur électrique (moteur asynchrone triphasé à cage d'écureuil). L'approche de diagnostic développée concerne l'analyse spectrale des courants statoriques. Les résultats obtenus ont montré que l'analyse spectrale permet de détecter suffisamment tôt les défauts, cette caractéristique permet donc d'intervenir sur le moteur où le roulement défaillant afin d'éviter les ruptures de productions et la dégradation des installations qui entraînent des pertes financières.

1.9. Pose de problème:

Les procédures de surveillance de fonctionnement des moteurs asynchrones sont généralement orientées vers des défaillances spécifiques intervenant sur l'une des trois parties de la machine: le stator, le rotor ou les paliers.

Dans ce travail, on s'intéressera à la détermination des défauts de cassures de barres dans un moteur asynchrone, et voir leurs influences sur le courant statorique à partir des signaux de courant statorique et sur les signaux de vibration. Les moyens de détection de défauts sont basés sur l'analyse spectrale du courant statorique et de vibration mesuré expérimentalement au sein du laboratoire de mécanique et structures.

Chapitre II

Diagnostic des pannes du moto-ventilateur MK-17 de l'entreprise FERTIAL Annaba

II 1 Introduction

La surveillance vibratoire des machines tournantes a sans doute toujours existé avec des moyens empiriques tels que le toucher de la main ou l'utilisation de la pièce de monnaie dont l'équilibre sur la tranche garantissait le bon fonctionnement de la machine ou encore avec des moyens un peu plus techniques tels que le vibromètre à lamelles qui permettaient, dans les cas simples, d'identifier la fréquence de la vibration d'amplitude prépondérante.

Aujourd'hui, la nécessité de communiquer, non plus avec des impressions ou des sensations subjectives, mais avec des données objectives, reproductibles et fiables, a rendu indispensable de quantifier globalement les vibrations d'une machine par une mesure d'amplitude. Le besoin est ensuite rapidement apparu de fixer des seuils à ces valeurs et de connaître les amplitudes et les fréquences des composantes prépondérantes. En fin, la possibilité de relier les fréquences de chaque composante vibratoire aux différentes forces dynamiques engendrées par le fonctionnement normal ou anormal de la machine et d'interpréter les évolutions est devenue une réalité avec l'intégration à faible coût, dans les appareils de mesures de vibrations, de convertisseurs analogiques numériques et de coprocesseurs dédiés aux calculs de transformées de Fourier.

Actuellement, le sujet n'est plus de démontrer l'intérêt que présente l'utilisation de l'analyse vibratoire dans le cadre de la maintenance des machines tournantes mais d'en assimiler les notions de base et d'en connaître les limites afin de pouvoir choisir, en fonction des différents enjeux, de la complexité de la machine et de sa criticité dans le procédé, la meilleure stratégie de surveillance et les indicateurs les plus pertinents à associer.

Faute de pouvoir représenter le signal vibratoire en fonction du temps sous une forme facilement exploitable, on a recherché à le représenter dans un diagramme amplitudes/fréquences appelé spectre. Avec ce type de représentation, chacune des composantes sinusoïdales élémentaires constituant le signal est parfaitement défini par son amplitude et sa fréquence. La représentation spectrale du signal devient ainsi plus claire et facilement exploitable. Toute anomalie affectant une machine tournante (balourd, désalignement, phénomène de tourbillon d'huile, déformation d'arbre, jeu excessif, desserrage de palier, défaut de roulement ou d'accouplement, anomalie électromagnétique affectant le rotor ou le stator d'un moteur, engrènement defectueux...), se traduit par des vibrations dont les fréquences correspondent aux fréquences fondamentales des forces qui les induisent et à leurs harmoniques. Un spectre est un graphe dans lequel sont représentées les amplitudes et les fréquences de toutes les composantes vibratoires induites par le fonctionnement d'une machine. Chaque composante est représentée par un segment vertical appelé raie dont l'abscisse représente la fréquence et l'ordonnée l'amplitude.

II 2 Description du moto-ventilateur MK 17

Le ventilateur K17 est le plus volumineux de l'unité, il déplace 840000kg/h de gaz. Pour cela son axe est entraîné par un moteur M-17 de 1200 KW aligné à celui-ci par un accouplement rigide.

Ce ventilateur joue un rôle primordial au sein de l'unité puisqu'il extrait l'air de la tour de prill, créant ainsi un mouvement de l'air à contre flux de la chute de nitrate d'ammonium nécessaire à la cristallisation du produit. En suite il permet la circulation de l'air au travers des deux laveurs l'unité, voir figure 1.

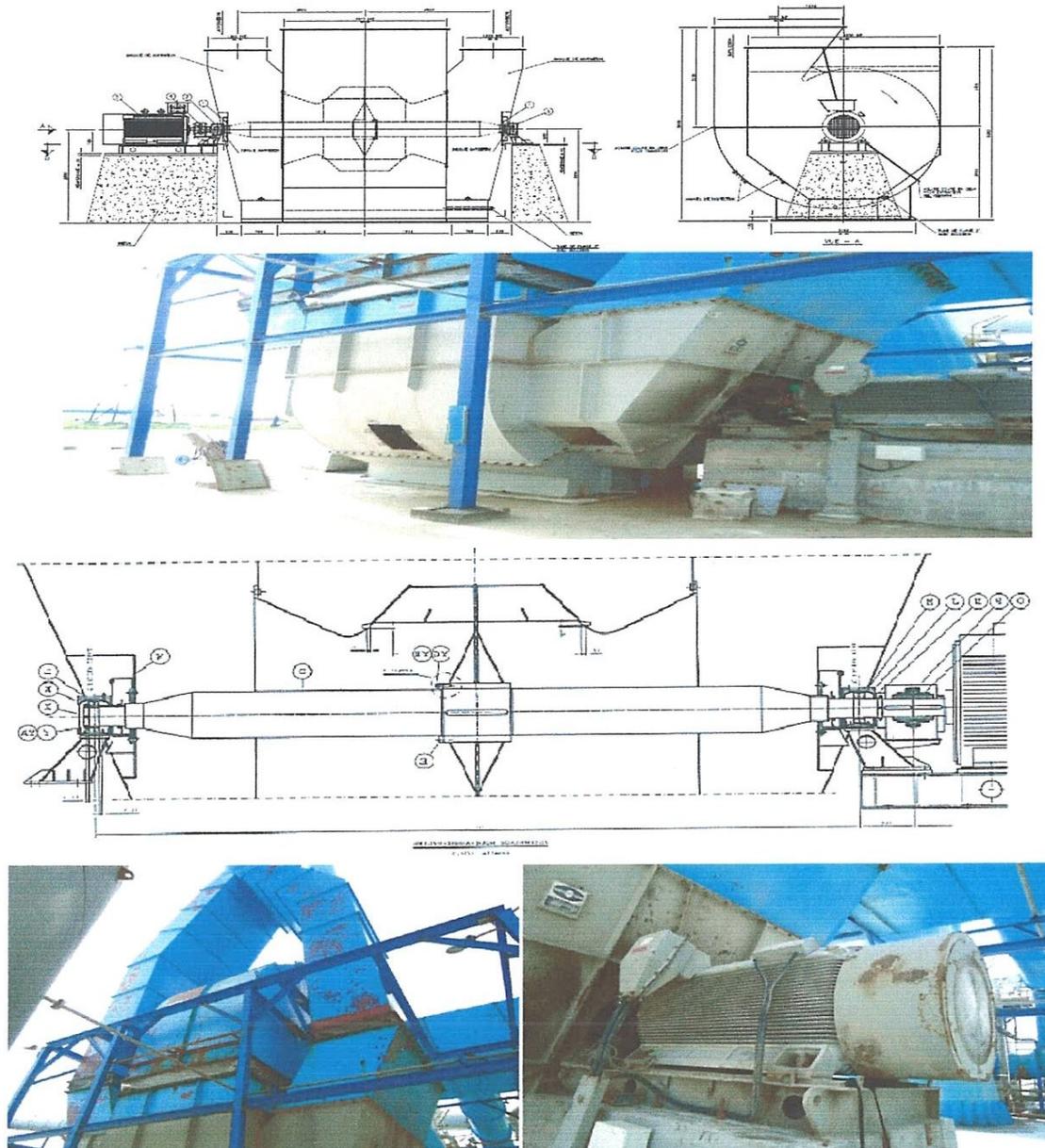


Figure 1: Photos du moto-ventilateur MK17

II 3 Schéma cinématique du moto-ventilateur MK 17

On montre sur la figure 2, les quatre paliers du moto-ventilateur MK 17, sur lesquels, on va prendre des mesures de vibration en vitesse et déplacement pour pouvoir engager un diagnostic du système mécanique.

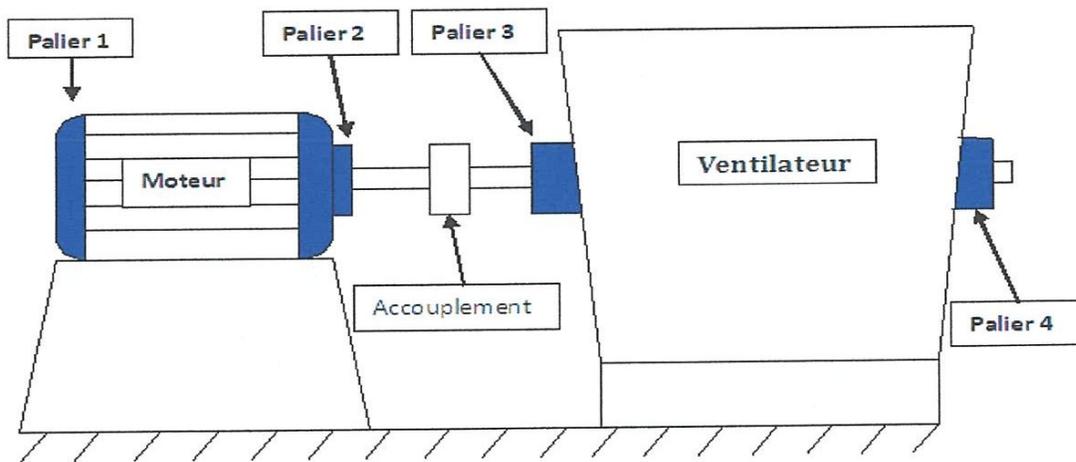


Figure 2: Schéma cinématique de moto-ventilateur MK 17

II 4 Caractéristiques du moto-ventilateur MK 17

II 4.1 Caractéristiques du moteur M-17

Marque	SIEMENS
Type	ROOR SOUCAOE EC/EN 60034
Tension	5500 V
Puissance	1200/1000 KW
Nombre de paires de pôles	3
Vitesse de moteur	1000 (995) tr/min
Fréquence d'alimentation (F_A)	50 Hz
Glissement	0,005 Hz
Type de palier	Roulement
Type de roulement palier 1 - diamètre extérieur du roulement - diamètre intérieur du roulement - nombre de rangées	SKF 6324 260 mm 120 mm 1
Type de roulement palier 2 - diamètre extérieur du roulement - diamètre intérieur du roulement - nombre de rangées	SKF NU324E 260 mm 120 mm 1

II 4.2 Caractéristiques du Ventilateur K-17

Vitesse	995 tr/min
Nombre pale	10
Nombre de rangées de pales	2

Type de palier	Roulement
Type de roulement palier 3 et 4	SKF 22230cc
- diamètre extérieur du roulement	270 mm
- diamètre intérieur du roulement	150 mm
- nombre de rangées	2

II 5 Présentation de l'appareil VIBROTEST 60

Le VIBROTEST 60 est un appareil pratique de mesure de vibrations pour apprécier l'état des machines, faire le diagnostic des défauts et pour réaliser la maintenance conditionnelle, voir figure 3.

Le concept de fonctions modulaires du VIBROTEST 60 permet de combiner plusieurs modes de mesure et ouvre ainsi de nombreux champs d'application. Il est possible à tout moment d'acquérir d'autres fonctions et de compléter peu à peu les possibilités de mesure.

Le VIBROTEST 60 est ainsi très flexible et polyvalent. Il offre dès la version de base une solution économique. Le VIBROTEST 60 constitue, grâce à ses nombreuses possibilités, la solution universelle pour un diagnostic professionnel.



Figure 3: VIBROTEST 60

II 6 Calcul cinématique

Le diagnostic des pannes dans un système mécanique se base sur la connaissance des fréquences des défauts susceptibles de se produire durant son fonctionnement et qui nous permet d'identifier les spectres typologiques initiaux (sans défaut) et évolués (avec présence de défaut). Les fréquences des défauts dépendent principalement des caractéristiques géométriques des organes de la machine et leurs vitesses de rotations.

La fréquence de rotation F_R du moteur est égale au rapport de la fréquence d'alimentation du courant F_A et le nombre de paire de pôle p :

$$F_s = \frac{F_A}{p} = \frac{50}{3} = 16,67 \text{ Hz}$$

Le glissement dans les moteurs asynchrone est donné par l'expression suivante :

$$g = \frac{N_s - N_R}{N_A} = \frac{1000 - 995}{1000} = 0,005$$

Avec N_s la vitesse de rotation théorique du moteur en tr/min et N_R la vitesse de rotation réelle en tr/min.

$$F_B = F_R \pm 2 \times g \times F_A = 16,67 \pm 2 \times 0,005 \times 50 = 16,67 \pm 0,5 \text{ Hz}$$

Excentricité Statique	$k \times F_R \pm \square F_B \quad (k=1)$	16,67 ± 0,5 Hz		
Balourd	$1 \times F_A$	16,67 Hz		
Défaut de fixation	$1 \times, 2 \times, 3 \times, 4 \times F_R$	16,67 ; 33,34 ; 50 Hz		
Jeu mécanique	$1 \times, 2 \times F_R$	16,67 ; 33,34 Hz		
Défaut désalignement	$2 \times F_R$	33,34 Hz		
Electromagnétique	$1 \times, 2 \times, 3 \times, 4 \times F_A$	50 ; 100 ; 150 Hz		
Défaillance du roulement		P1 (Hz)	P2 (Hz)	P3/P4(Hz)
- bague externe	$F_{BE} = \frac{Z}{2} \times (1 - \frac{d}{D_M} \times \cos \alpha) \times F_R$	52,19	86,89	136,24
- bague interne	$F_{BI} = \frac{Z}{2} \times (1 + \frac{d}{D_M} \times \cos \alpha) \times F_R$	81,15	129,77	180,43
- éléments roulants	$F_B = \frac{1}{2} \times \frac{D_M}{2} (1 - \frac{d^2}{D_M^2} \times \cos^2 \alpha) \times F_R$	73,11	80,91	115,43

II 7 Diagnostic des pannes dans le moto-ventilateur MK 17

A fin de faire un diagnostic général de l'état du moto-ventilateur MK 17, nous avons effectué deux campagnes d'essais dans deux bandes de fréquences [0 – 200Hz] et [0 - 1000Hz] pour une fréquence de rotation du moteur égale $f_r = 16,67 \text{ Hz}$. Les mesures ont été prises dans les trois directions axiale (A), horizontale (H) et verticale (V) de chacun des quatre paliers du moto-ventilateur.

II 7.1 Analyse des spectres de déplacements

La première campagne d'essais a été réalisée le 28/03/2012, par la mesure des spectres de déplacements dans la bande de fréquence [0-200 Hz], dans les quatre paliers du moto-ventilateur.

Nous présentons sur les figures 5 à 10 les spectres de déplacements mesurés sur les paliers du moteur M-17. Les niveaux des déplacements en μm restent raisonnables, cependant, on constate l'apparition d'un pic à très basse fréquence (1 Hz) qui a un niveau très élevé. Ce pic peut être dû uniquement à la sensibilité du capteur, qui est limité à basse fréquence ou à la transformée de Fourier du signal mesuré.

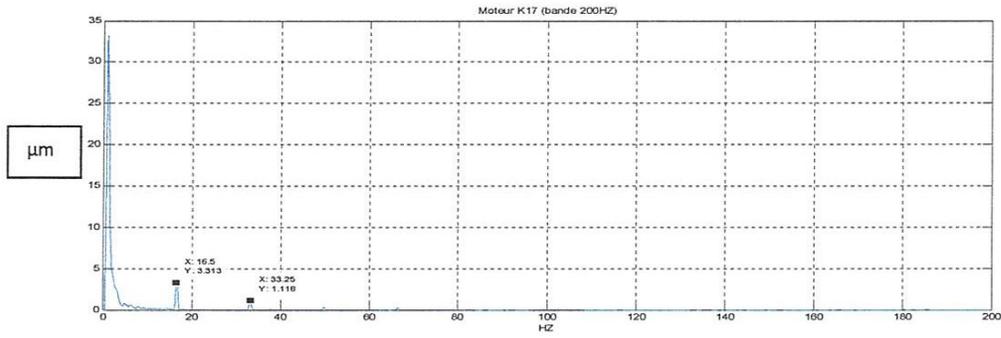


Figure 5 : Spectre de déplacement; palier 1 du moteur M-17, direction A1

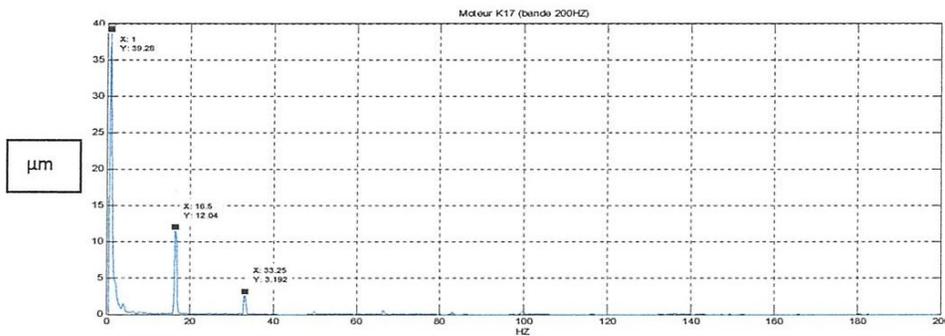


Figure 6 : Spectre de déplacement; palier 1 du moteur M-17, direction H1

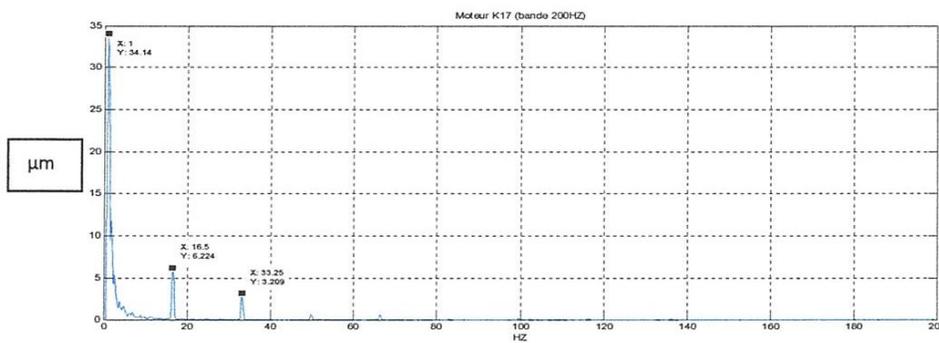


Figure 7 : Spectre de déplacement; palier 1 du moteur M-17, direction V1

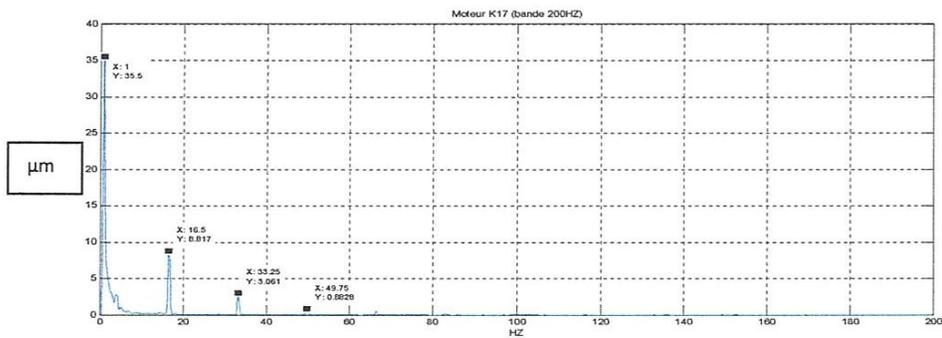


Figure 8 : Spectre de déplacement; palier 2 du moteur M-17, direction A2

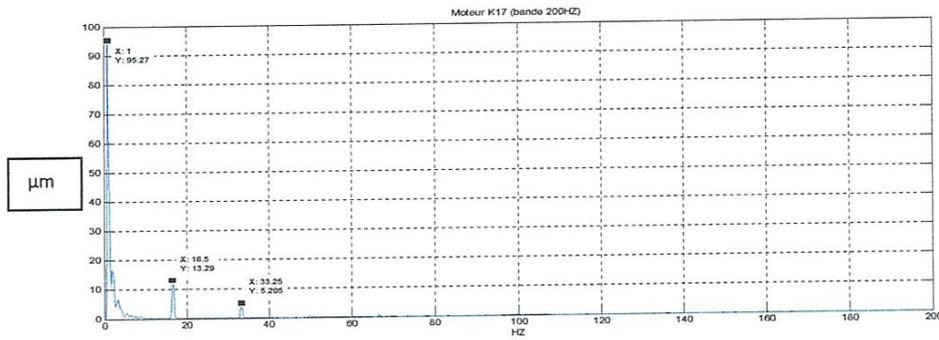


Figure 9 : Spectre de déplacement; palier 2 du moteur M-17, direction H2

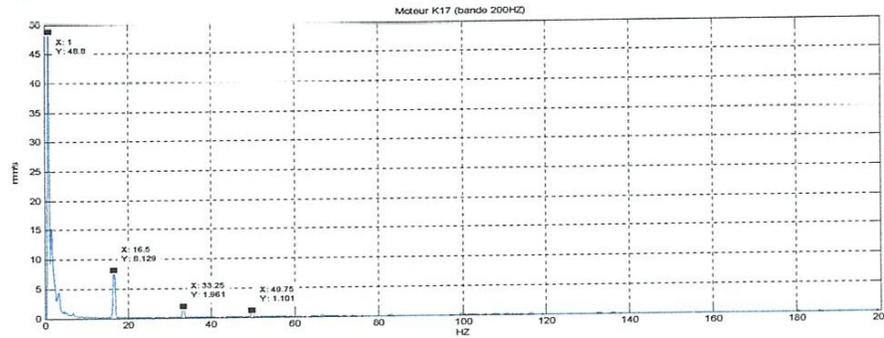


Figure 10 : Spectre de déplacement; palier 2 du moteur M-17, direction V2

De la même façon, nous présentons sur les figures 11 à 20 les spectres de déplacements mesurés sur les paliers du ventilateur K-17. Les niveaux des déplacements en μm sont un peu plus élevés que ceux du moteur M-17, mais ils restent raisonnables. La même remarque pour le pic de très basse fréquence.

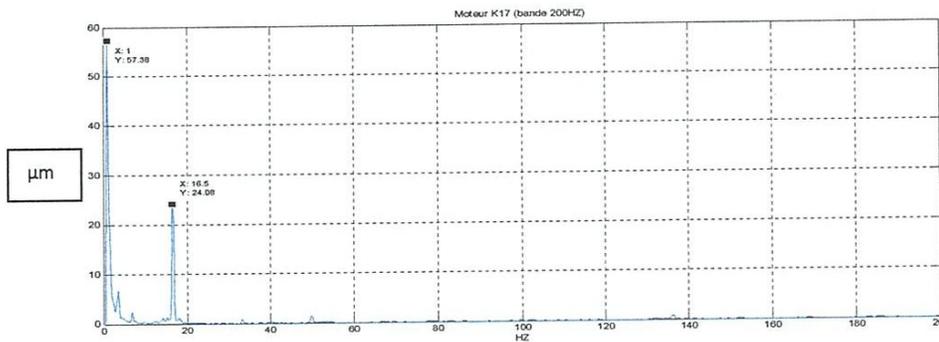


Figure 11 : Spectre de déplacement; palier 3 du ventilateur K-17, direction A3

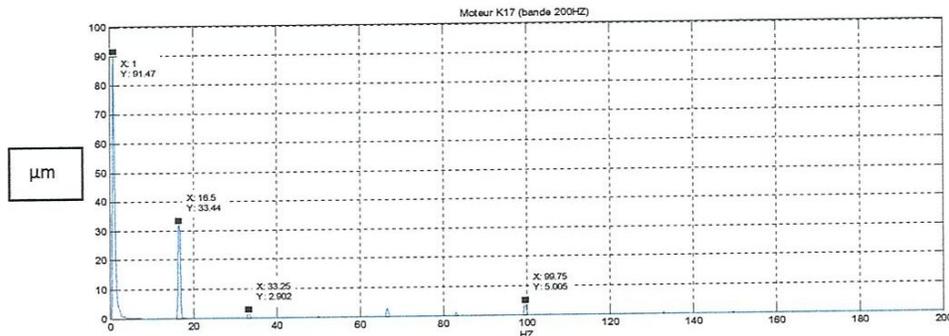


Figure 12 : Spectre de déplacement; palier 3 du ventilateur K-17, direction H3

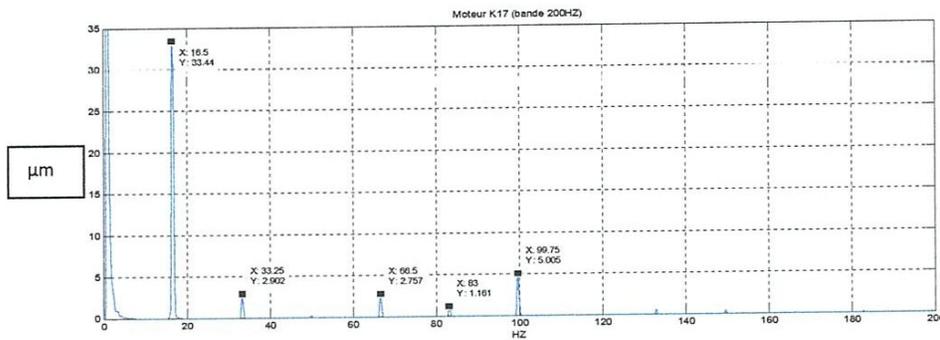


Figure 13 : Zoom du spectre de déplacement; palier 3 du ventilateur K-17, direction H3

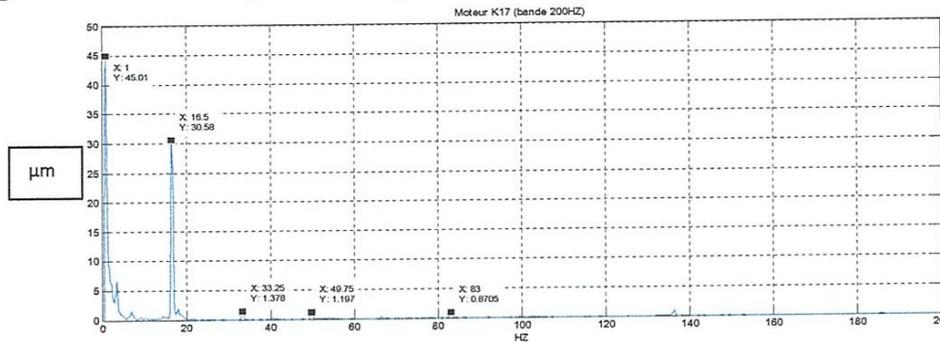


Figure 14 : Spectre de déplacement; palier 3 du ventilateur K-17, direction V3

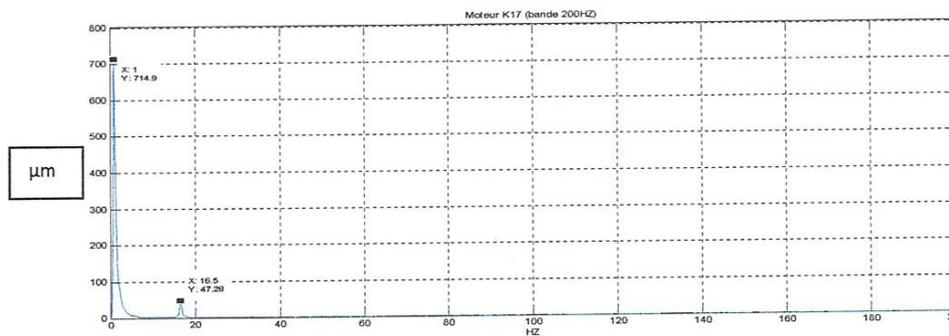


Figure 15 : Spectre de déplacement; palier 4 du ventilateur K-17, direction A4

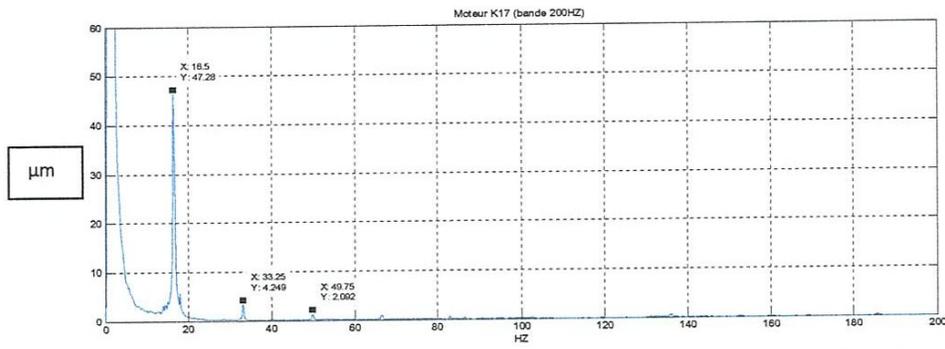


Figure 16 : Zoom du spectre de déplacement; palier 4 du ventilateur K-17, direction A4

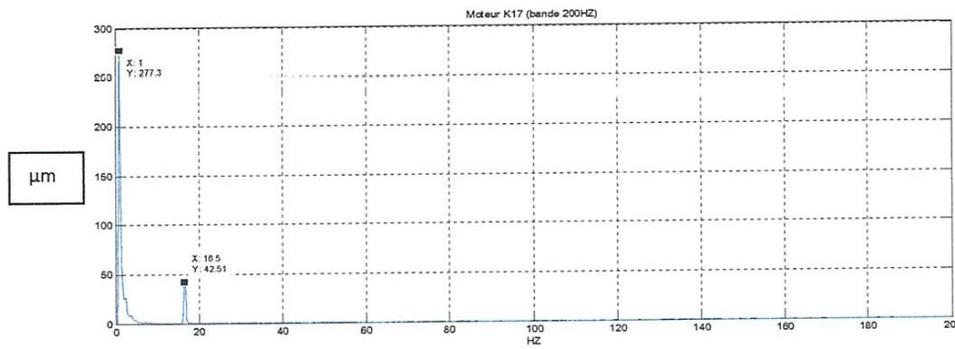


Figure 17 : Spectre de déplacement; palier 4 du ventilateur K-17, direction H4

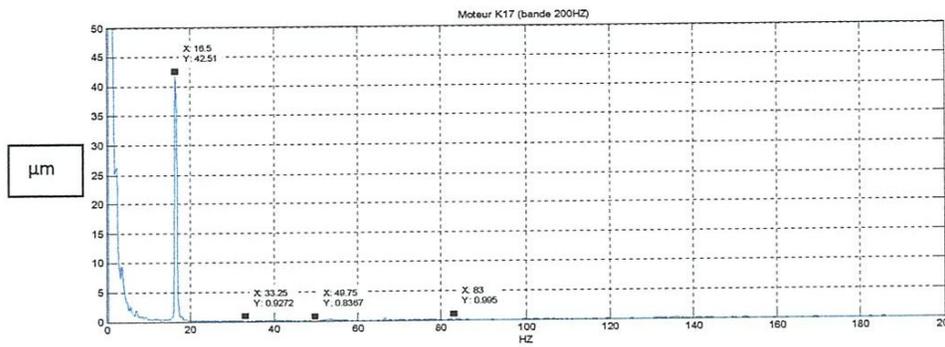


Figure 18 : Zoom Spectre de déplacement; palier 4 du ventilateur K-17, direction H4

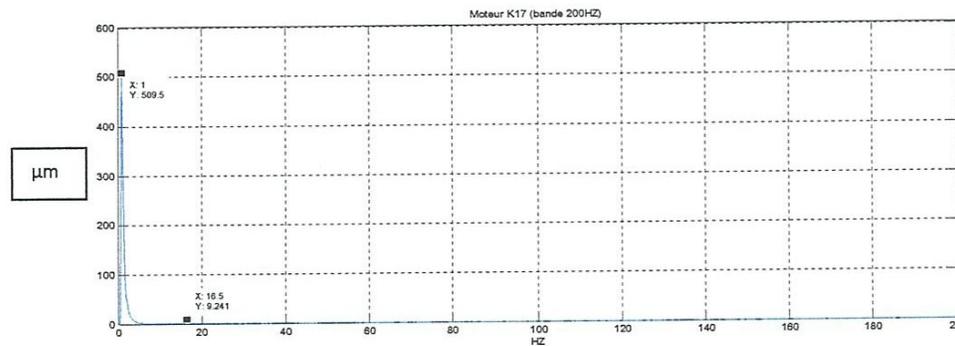


Figure 19 : Spectre de déplacement; palier 4 du ventilateur K-17, direction V4

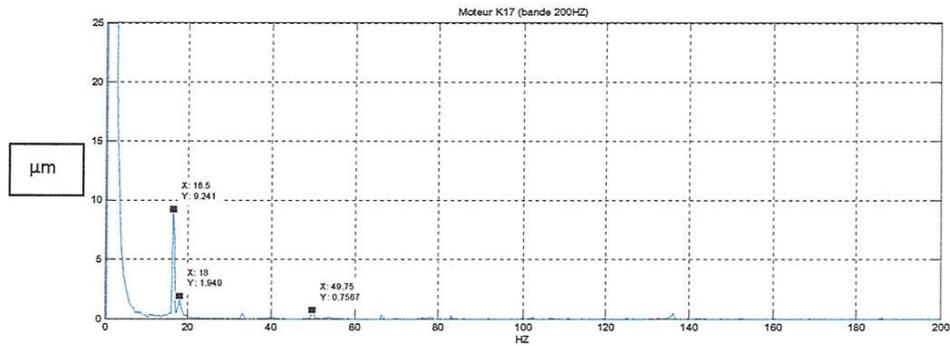


Figure 20 : Zoom du Spectre de déplacement; palier 4 du K-17, direction V4

II 7.2 Analyse des spectres de vitesses

La deuxième campagne d'essais a été réalisée le 29/03/2012, par la mesure des spectres de vitesses dans la bande de fréquence [0-200 Hz] et la bande [0- 1000 Hz], sur les quatre paliers du moto-ventilateur.

II 7.2.1 Analyse des spectres de vitesses mesurés dans la bande [0-200 Hz]

Nous présentons sur les figures 21 à 26 les spectres de vitesse mesurés sur les paliers du moteur M-17. Les niveaux des vitesses en mm/s restent très raisonnables, inférieurs au niveau d'alarme qui est fixé pour ce système à 7 mm/s.

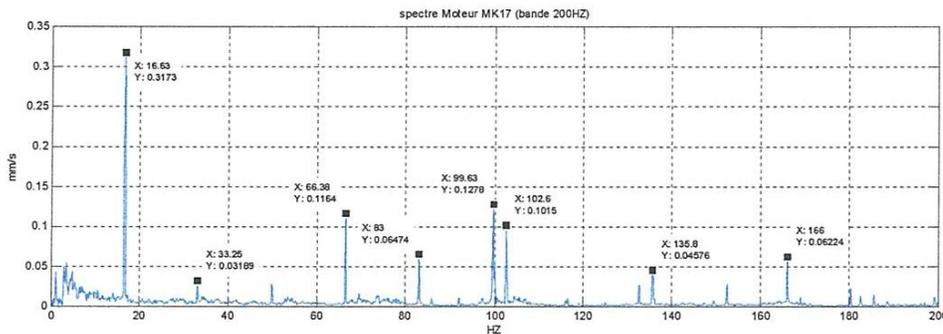


Figure 21 : Spectre de vitesse; palier 1 du moteur M-17, direction A1

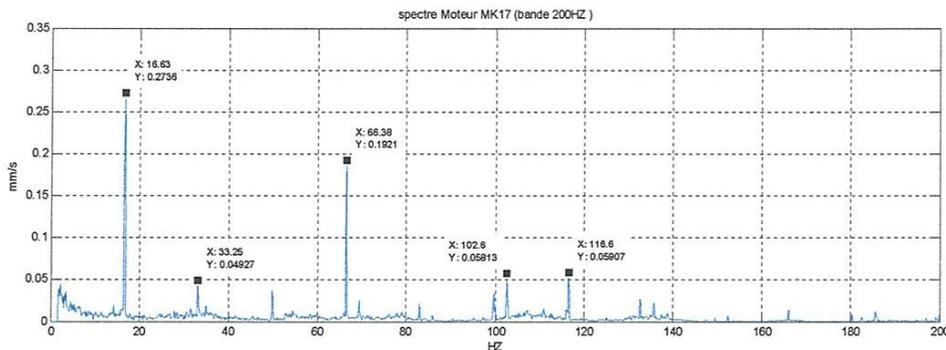


Figure 22 : Spectre de vitesse; palier 1 du moteur M-17, direction H1

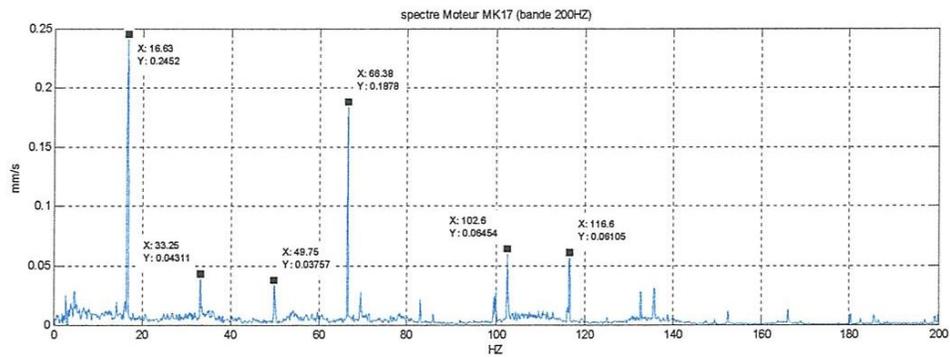


Figure 23 : Spectre de vitesse; palier 1 du moteur M- 17, direction V1

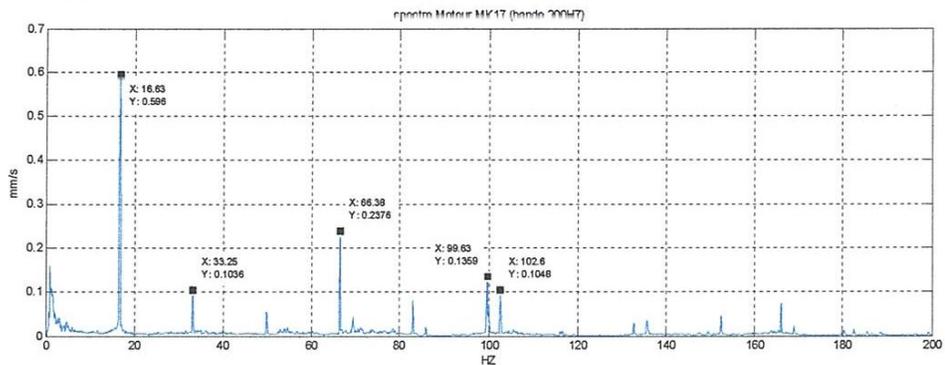


Figure 24 : Spectre de vitesse; palier 2 du moteur M- 17, direction A2

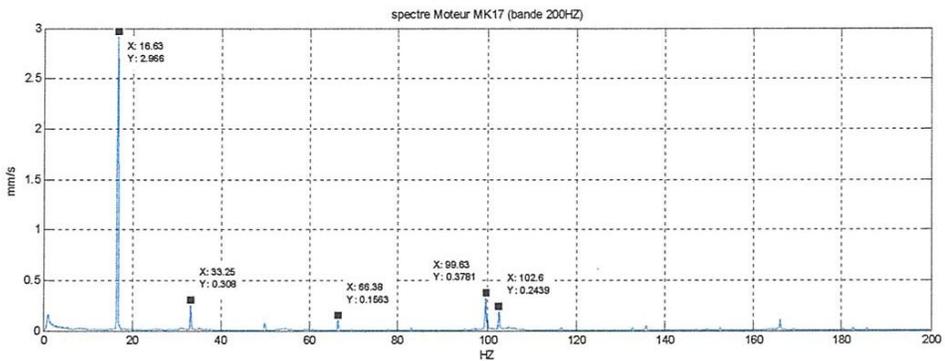


Figure 25 : Spectre de vitesse; palier 2 du moteur M- 17, direction H2

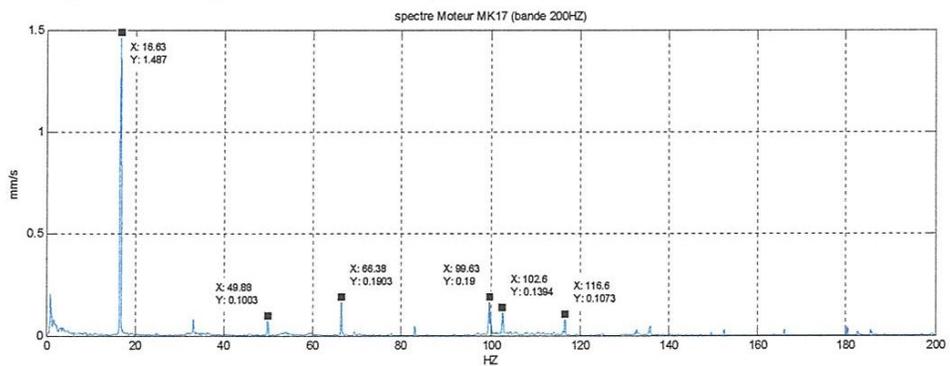


Figure 26: Spectre de vitesse; palier 2 du moteur M- 17, direction V2

De la même façon, nous présentons sur les figures 27 à 32 les spectres de vitesses mesurés sur les paliers du ventilateur K-17. Les niveaux des vitesses en mm/s restent

raisonnables, inférieurs au niveau d'alarme qui est fixé pour ce système à 7 mm/s. Cependant, on constate dans la direction horizontale des deux paliers du ventilateur (figures 28 et 31) un niveau de vitesse qui dépasse légèrement le niveau d'alarme, donc, présence de balourd.

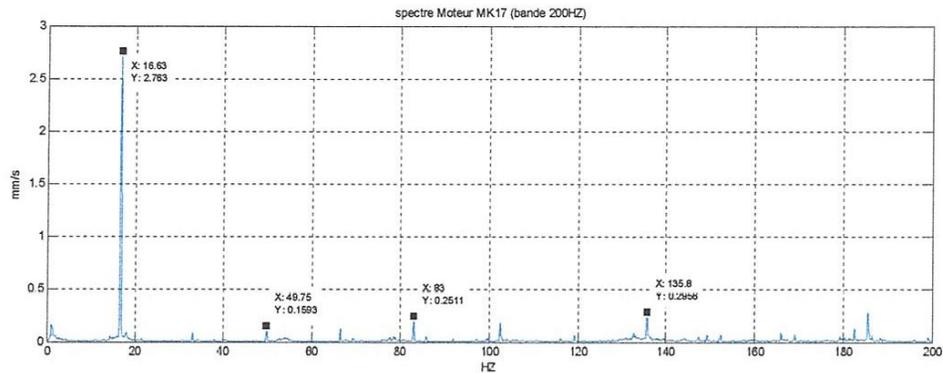


Figure 27: Spectre de vitesse ; palier N°3 du ventilateur K-17, direction A3

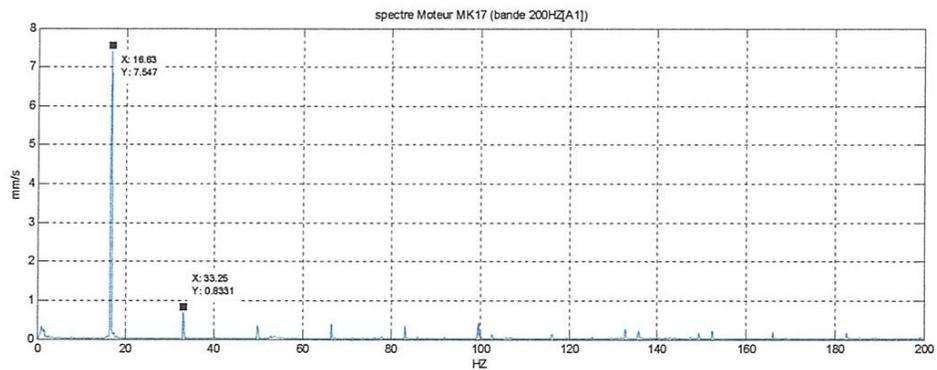


Figure 28: Spectre de vitesse ; palier 3 du ventilateur K-17, direction H3

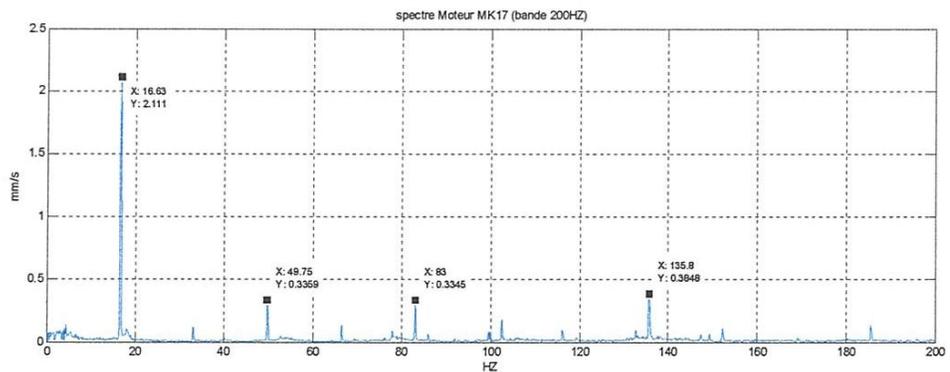


Figure 29 : Spectre de vitesse ; palier 3 du ventilateur K-17, direction V3

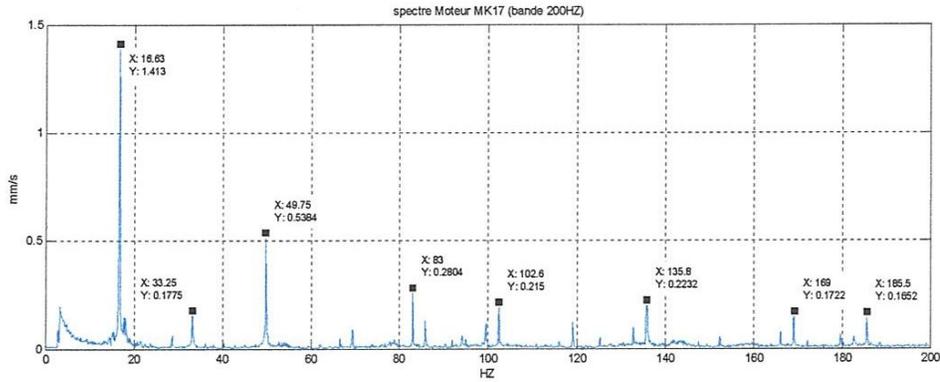


Figure 30: Spectre de vitesse ; palier 4 du ventilateur K-17, direction A4

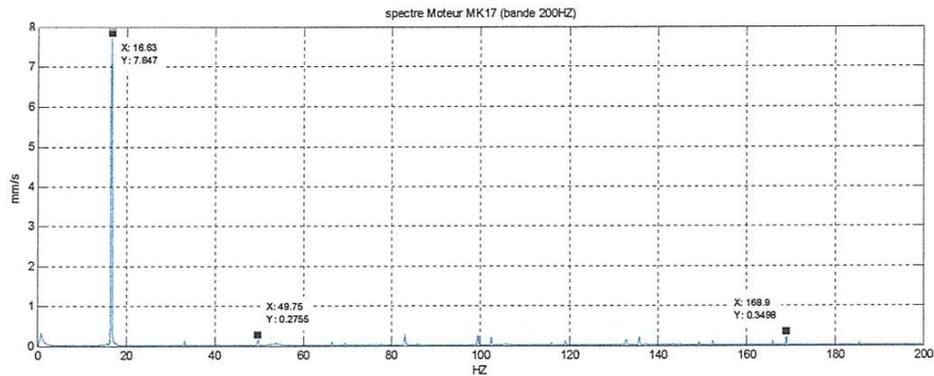


Figure 31: Spectre de vitesse ; palier 4 du ventilateur K-17, direction H

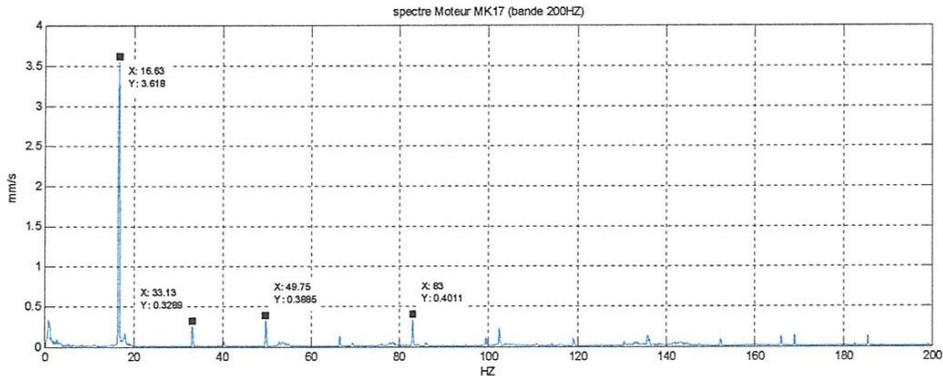


Figure 32: Spectre de vitesse ; palier 4 du ventilateur K-17, direction V4

II 7.2.2 Analyse des spectres de vitesses mesurés dans la bande [0-1000 Hz]

Nous présentons sur les figures 33 à 38 les spectres de vitesse mesurés sur les paliers du moteur M-17. Les niveaux des vitesses en mm/s restent très raisonnables, inférieurs au niveau d'alarme qui est fixé pour ce système à 7 mm/s. Cependant, on constate un désalignement sécant (angulaire), dans la direction axiale figures 33 et 36 où l'amplitude de la quatrième harmonique dépasse celle de la fréquence de rotation.

Une autre constatation sur ces spectres, c'est l'amplitude très importante de la sixième harmonique dans toutes les directions des deux paliers du moteur, qu'on n'arrive pas à expliquer, vu que nous ne disposons pas de spectre de vibration libre (de résonance). Nous

suspectons la présence d'une résonance qui peut être due à l'affaiblissement de la rigidité du support en béton du mécanisme suite à l'apparition de fissuration sur ce dernier.

II 7.2.2 Analyse des spectres de vitesses mesurés dans la bande [0-1000 Hz]

Nous présentons sur les figures 33 à 38 les spectres de vitesse mesurés sur les paliers du moteur M-17. Les niveaux des vitesses en mm/s restent très raisonnables, inférieurs au niveau d'alarme qui est fixé pour ce système à 7 mm/s. Cependant, on constate un désalignement sécant (angulaire), dans la direction axiale figures 33 et 36 où l'amplitude de la quatrième harmonique dépasse celle de la fréquence de rotation.

Une autre constatation sur ces spectres, c'est l'amplitude très importante de la sixième harmonique dans toutes les directions des deux paliers du moteur, qu'on n'arrive pas à expliquer, vu que nous ne disposons pas de spectre de vibration libre (de résonance). Nous suspectons la présence d'une résonance qui peut être due à l'affaiblissement de la rigidité du support en béton du mécanisme suite à l'apparition de fissuration sur ce dernier.

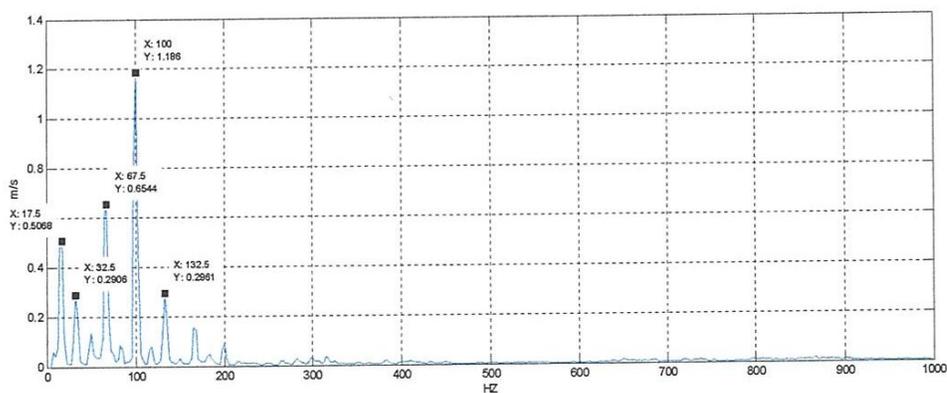


Figure 33 : Spectre de vitesse palier 1 du moteur M-17, direction A1

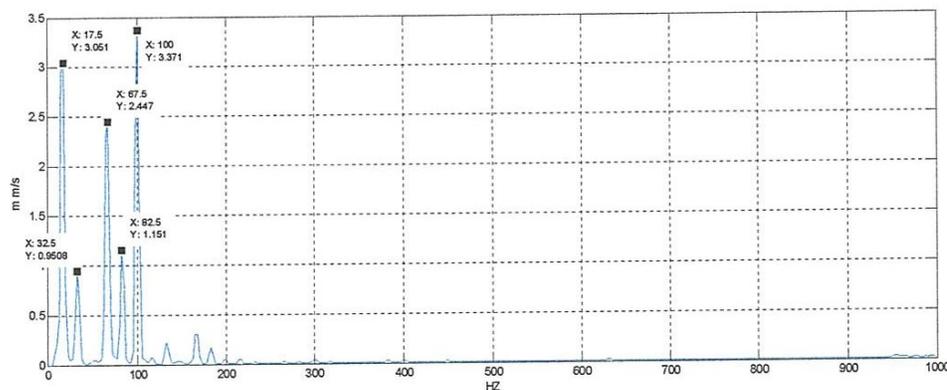


Figure 34 : Spectre de vitesse; palier 1 du moteur M-17, direction H1

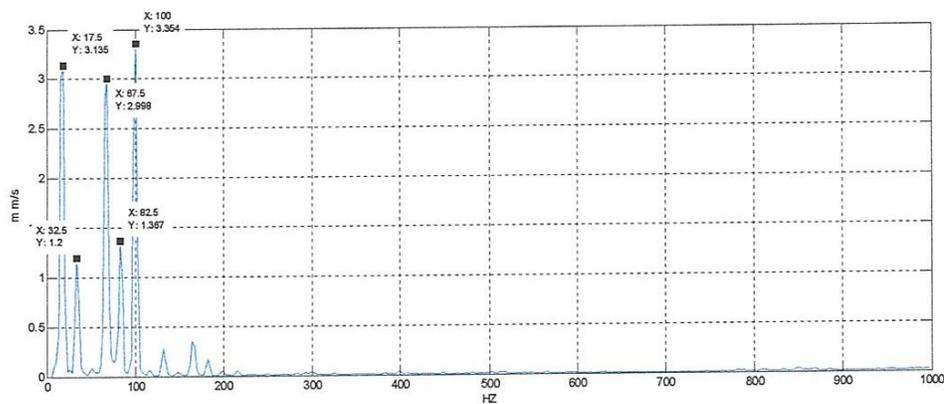


Figure 35 : Spectre de vitesse; palier 1 du moteur M-17, direction V1

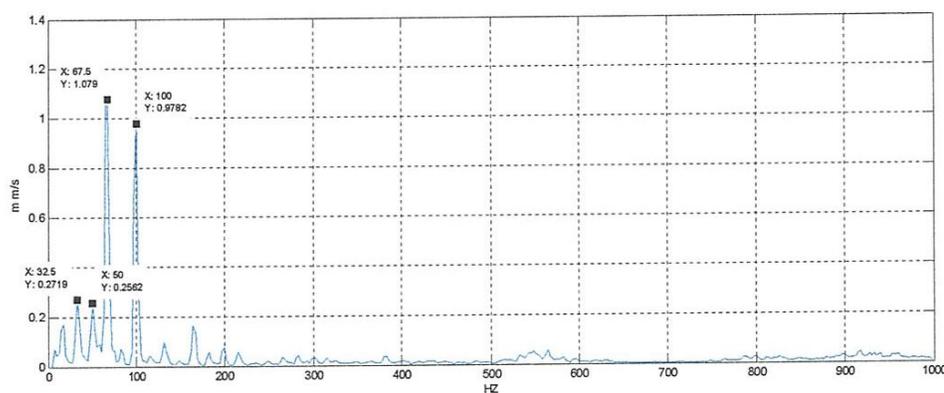


Figure 36 : Spectre de vitesse; palier 2 du moteur MK 17, direction A2

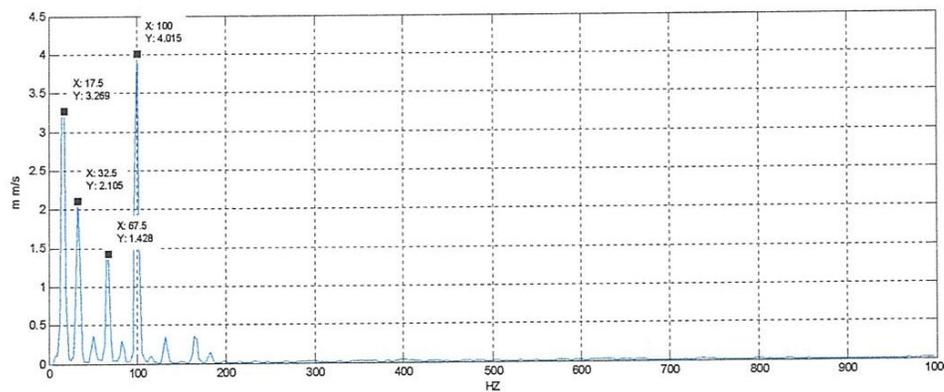


Figure 37 : Spectre de vitesse; palier 2 du moteur M-17, direct H2

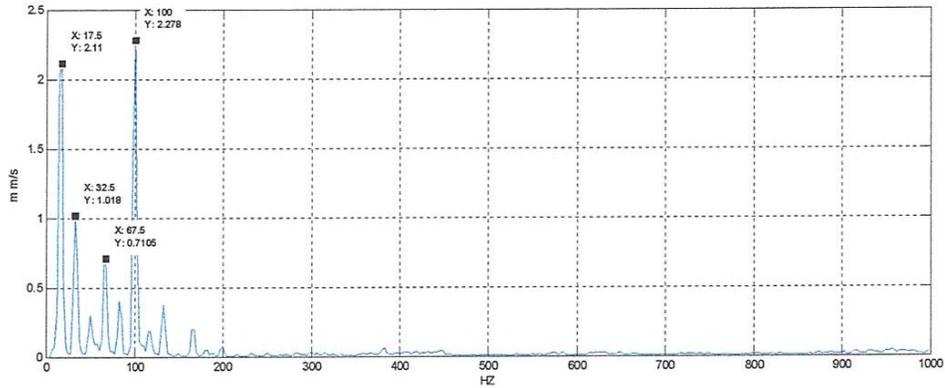


Figure 38 : Spectre de vitesse; palier 2 du moteur M-17, direction V2

De la même façon, nous présentons sur les figures 39 à 43 les spectres de vitesse mesurés sur les paliers du ventilateur K-17. Les niveaux des vitesses des pics correspondant à la fréquence de rotation en mm/s sont élevés en comparaison avec le niveau d’alarme qui est de 7 mm/s. Donc, nous suspectons la présence d’un balourd sur le rotor du ventilateur.

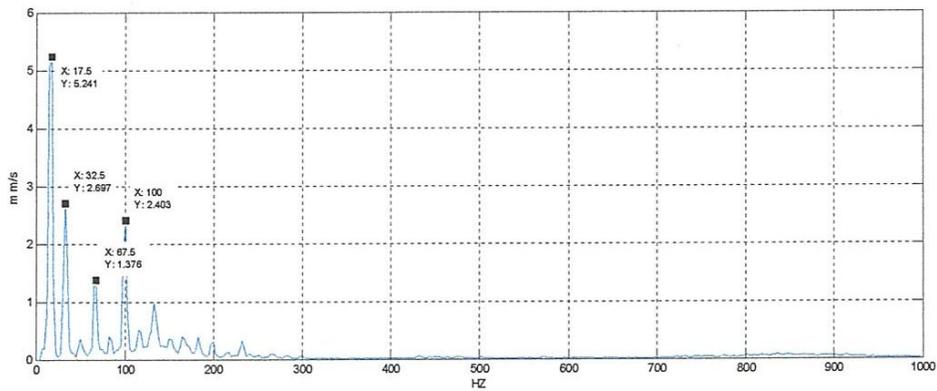


Figure 39 : Spectre de vitesse; palier 3 ventilateur K-17, direction A3

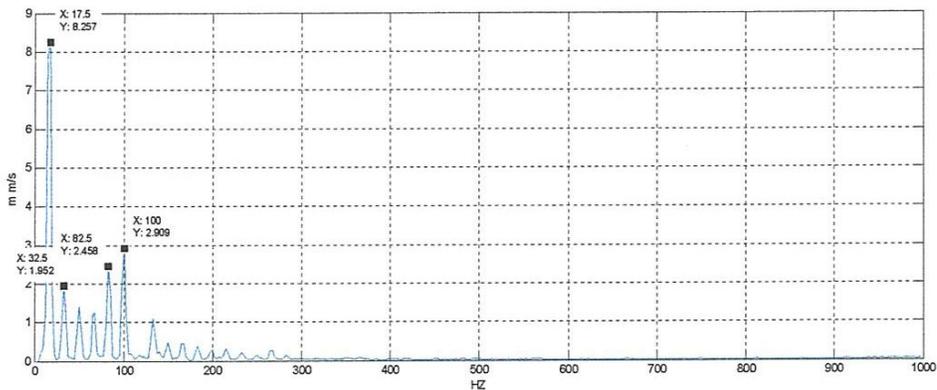


Figure 40 : Spectre de vitesse; palier 3 ventilateur K-17, direction H3

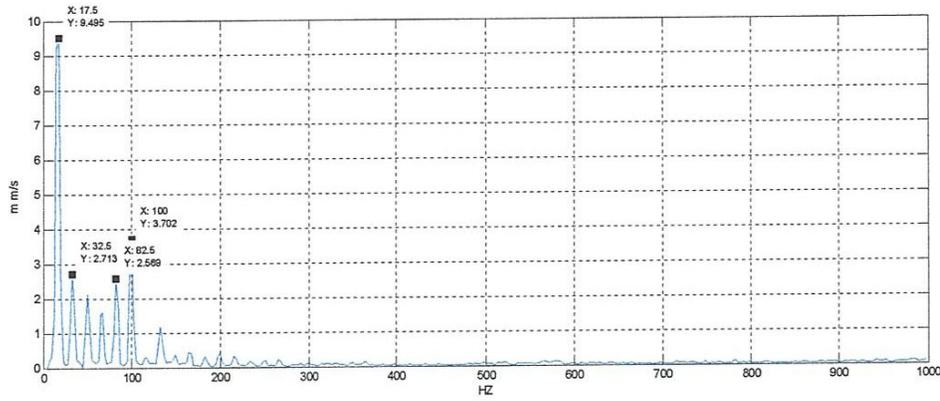


Figure 41 : Spectre de vitesse; palier 3 ventilateur K-17, direction V3

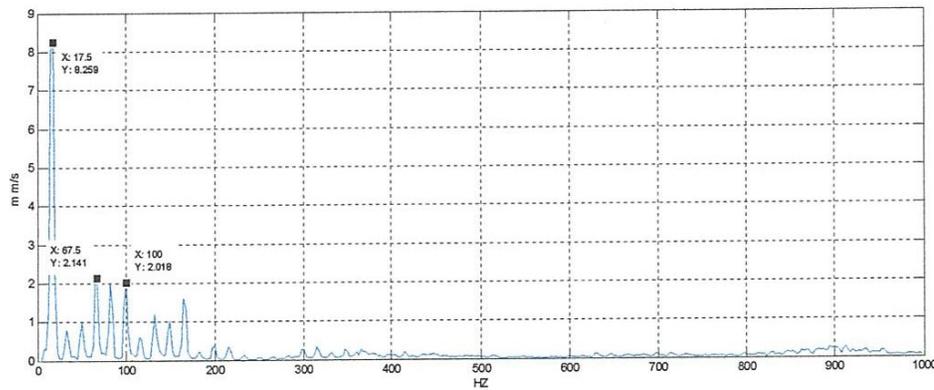


Figure 42 : Spectre de vitesse; palier 4 ventilateur K-17, direction H4

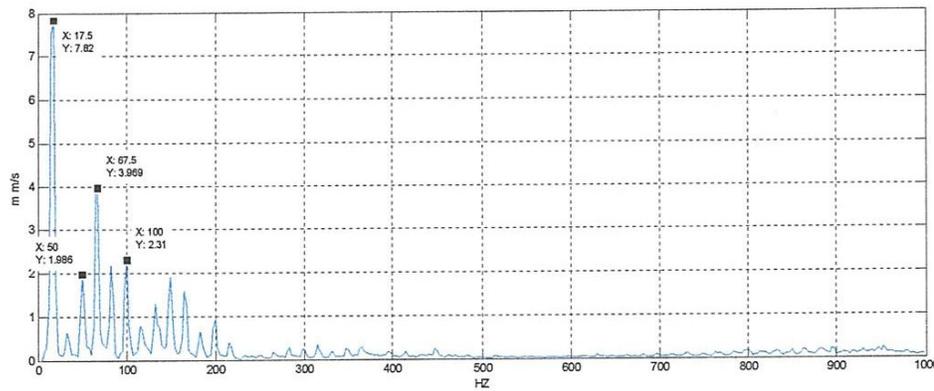


Figure 43 : Spectre de vitesse; palier 4 ventilateur K-17, direction V4

II 8 Conclusion :

La surveillance des machines gagne beaucoup d'importance dans l'industrie en raison de la nécessité d'augmenter la fiabilité des machines et de diminuer la perte de production possible due aux pannes engendrées par les différents défauts.

Chapitre III

Diagnostic des cassures de barres dans un moteur asynchrone par analyse vibratoire

III 1 Introduction

L'analyse vibratoire, en vue d'une maintenance préventive conditionnelle, s'avère un outil admirable depuis quelques décennies pour les industries. Son emploi vise à servir trois niveaux d'analyse : la surveillance, le diagnostic et le suivi de l'état d'endommagement des équipements. En pratique, les signaux vibratoires enregistrés sont le résultat d'un mélange de différentes sources correspondant aux composants de la machine, ce qui rend difficile l'interprétation de l'état d'endommagement d'un composant particulier.

L'intérêt est de séparer la contribution des différentes sources vibratoires généralement directement liées à une défaillance plus ou moins importante d'un composant mécanique, à partir de plusieurs mesures réalisées par les accéléromètres. La séparation permettra non seulement de localiser les défauts sur les composants mais également de suivre l'évolution de l'endommagement de chacun d'entre eux. Le principe est alors d'améliorer le diagnostic et le suivi.

Dans notre cas la machine asynchrone en fonctionnement peut subir divers types de défauts mécaniques: roulements détériorés, désalignement, rupture des barres rotoriques...etc. Ces défauts provoquent en général l'apparition d'un certain niveau de vibration sur le système mécanique. En général, les plans de surveillance sont concentrés sur l'analyse des modes de défaillance particuliers dans l'un des trois composantes du moteur asynchrone: le stator, le rotor ou les roulements. Quoique le contrôle thermique et de vibrations aient été employés pendant des décennies, la plupart des recherches récentes ont été orientés vers le l'analyse vibratoire du moteur en se basant sur l'analyse de vibration du moteur.

III 2 Plan expérimentale

Ce chapitre est consacré à la présentation du dispositif conçu par le laboratoire de mécanique et structures permettant la réalisation d'un plan d'expérience contenant des simulations pratique des défauts de roulements et de cassures de barres rotoriques dans les moteurs asynchrone . Le plan d'expérience est réalisé pour différentes vitesses de rotations et différentes bandes de fréquentielles.

III.2.1 Banc d'essais et matériel de mesure

Le banc d'essais permet de simuler plusieurs défaillances sur le moteur asynchrone tels que les cassures de barres rotoriques, les défauts dans les roulements qui portent l'arbre moteur et autres. Ce banc d'essais est d'une conception très simple permettant le montage et le démontage rapide des rotors à testés. Les mesures ont été collectées sur le palier par un

accéléromètre triaxial. Il est essentiellement composé d'un moteur asynchrone, un accouplement élastique, une transmission par courroie et un frein électromagnétique pour provoquer des charges sur le système mécanique, (voir Figure 1):

1. **Moteur asynchrone à cage**
2. **Frein électromagnétique**
3. **Accouplement élastique**

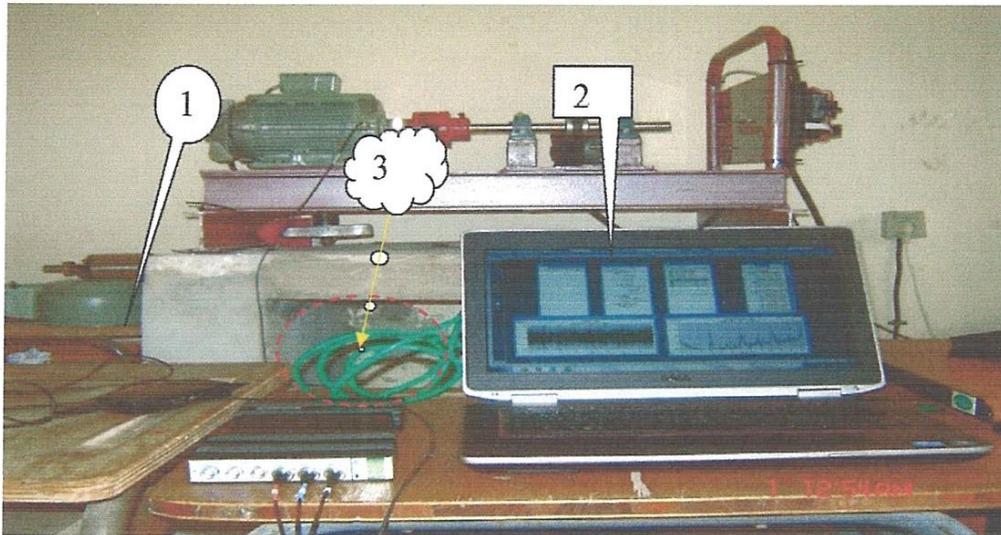


Figure1:Photo du banc d'essais

4. **Le pulse** analyseur de mesure de vibratoires et d'acoustique avance fabrique par Brüel&Kjær.



Figure2: Photo du pulse

5- PULSE multi-analyses, type (3160-A-042) qui permet d'analyser et d'enregistrer en temps réel le bruit et les vibrations. L'analyseur PULSE multi-analyses permet d'effectuer des mesures FFT, 1/n d'octave (CPB), analyse d'ordre,...etc. et de faire un certaines analyses

telles que l'analyse cepstrale l'analyse d'enveloppe, ...etc. Avec le PC et l'analyseur PULSE, on peut en toute liberté effectué des mesures sur le terrain et de traiter les données où on le veut. Le PULSE fait du PC un analyseur, en misant sur la rapidité de développement, toujours croissante, des performances du processeur PC pour le traitement du signal en temps réel.



Figure3 : Photo du PC du pulse

6- Un accéléromètre triaxial piézo-électrique de type «4524-B-001» (Figure III.2), dont la fixation se fait par la cire d'abeilles sur les paliers de roulements.



Figure4: Accéléromètre triaxial

III 2.1 Caractéristiques Moteur

La machine asynchrone à cage d'écureuil utilisée pour les différents essais expérimentaux est une machine de 1,5Kw, accouplée à une charge (frein électromagnétique). Nous présentons respectivement le rotor sain et le rotor ayant trois barres cassées. Le perçage des barres rotoriques a été réalisé sur le rotor ce qui donne l'aspect réel d'une barre cassée.

Type	Mot 3 N 890-150-0964-0041
Tension	380 V
Puissance	1500 PW
Nombre de paires de pôles	2

Nombre de barres du rotor	28
Vitesse de moteur	1500 (1420) Tr/Min
Fréquence d'alimentation (F_a)	50 HZ
Glissement	0.053HZ
Type de palier	Roulement
Type de roulement palier 1	SKF 6004 C3
-diamètre extérieur du roulement	42 mm
- diamètre intérieur du roulement	20 mm
nombre de rangées	1
Type de roulement palier 2	SKF 6205 C3
-diamètre extérieur du roulement	52 mm
- diamètre intérieur du roulement	25 mm
-nombre de rangées	1

III 2.2 Schéma cinématique du banc d'essais

On montre sur la figure 5, le palier du moteur du banc d'essais, sur lequel, on va prendre des mesures de vibration coloré par en bleu.

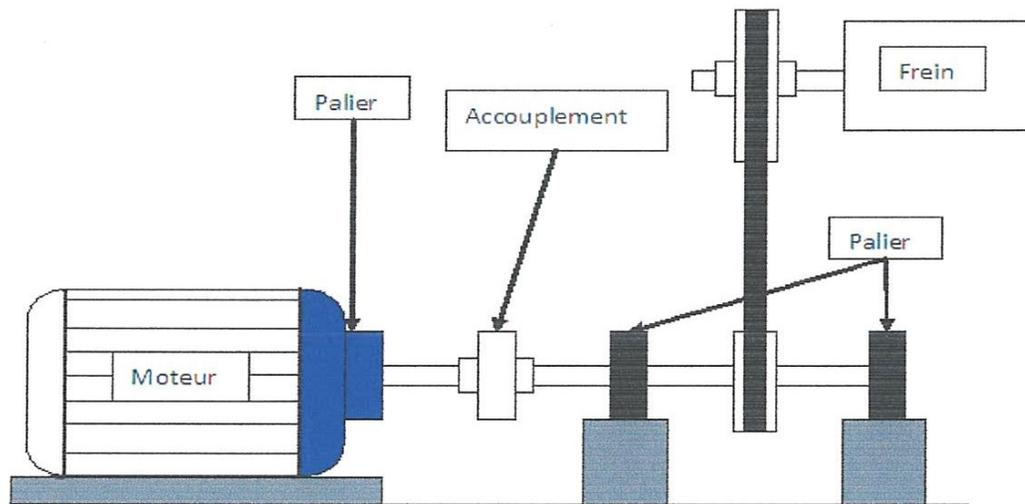


Figure 5: Schéma cinématique du banc d'essais

III 2.3 Calcul cinématique

Les fréquences des défauts de barres cassées dépendent principalement des caractéristiques géométriques du moteur asynchrone et leurs vitesses de rotations, la fréquence du défaut de la barre rotorique cassée est donnée par l'expression suivante :

$$F_B = F_R \pm 2gF_A$$

Avec F_R la fréquence de rotation réelle du moteur et F_A la fréquence d'alimentation.

➤ Cas de $F_A=25\text{Hz}$

La fréquence de rotation théorique F_s du moteur est égale au rapport de la fréquence d'alimentation du courant F_A et le nombre de pair de pôle p .

$$F_s = \frac{F_A}{p} = \frac{25}{2} = 12,5\text{Hz}$$

Le glissement du moteur et la défronçer entre la fréquence d'alimentation et la fréquence de rotation:

$$g = \frac{F_s - F_R}{F_s} = \frac{12,5 - 12,375}{12,5} = 0,01$$

La fréquence de défaut de la barre rotorique :

$$F_B = 12,375 \pm 2 * 0,01 * 25 = 12,375 \pm 0,5\text{Hz}$$

La fréquence d'encoches:

$$F_{enc} = q_1 \times R \times F_R \pm q_2 \times 2 \times F_A \quad \text{Avec : } q_1 = 1, 2, 3 \dots \text{ Et } q_2 = 0, 1, 2 \dots$$

$$F_{enc1} = 1 * 28 * 12,375 \pm 0 * 2 * 25 = 346,5 \text{ Hz}$$

$$F_{enc2} = 1 * 28 * 12,375 \pm 1 * 2 * 25 = 346,5 \pm 50\text{Hz}$$

Défaut barre cassée	$F_B = F_R \pm 2gF_A$	12.375 ± 0,25Hz		
Fréquences d'encoches	$F_{enc} = q_1 \times R \times F_R \pm q_2 \times 2 \times F_A$	346,5 Hz		
Défaut magnétique stationnaire	$F_R \pm (1/ F_R)$	18,56Hz		
Balourd	$1 \times F_R$	12.375 Hz		
Défaut de fixation	$1 \times, 2 \times, 3 \times, 4 \times F_R$	12.375; 24, 75 ; 50 Hz		
Jeu mécanique	$1 \times, 2 \times F_R$	12.375; 24, 75 Hz		
Défaut désalignement	$2 \times F_R$	24, 75 Hz		
Electromagnétique	$1 \times, 2 \times, 3 \times, 4 \times F_A$	25 ; 50 ; 70 ; 100..... Hz		
Défaillance du roulement		P1 (Hz)	P2 (Hz)	
	- bague externe	$F_{BE} = \frac{Z}{2} (1 - \frac{d}{D_M} \cos \alpha) \times F_R$	42,34	42,42
	- bague interne	$F_{BI} = \frac{Z}{2} (1 + \frac{d}{D_M} \cos \alpha) \times F_R$	64,16	64,08
	- éléments roulants	$F_B = \frac{1}{2} \frac{D_M}{2} (1 - \frac{d^2}{D_M^2} \cos^2 \alpha) \times F_R$	55,35	55,79

➤ Cas de $F_A=35\text{hz}$

Même chose:

$$F_s = \frac{F_A}{2} = 17,5\text{hz}$$

Le glissement du moteur :

$$g = \frac{F_s - F_R}{F_s} = \frac{17,5 - 17,375}{17,5} = 0,0071$$

La fréquence de défaut de la barre rotorqué :

$$F_B = 17.375 \pm 2 * 0,0071 * 35 = 17.375 \pm 0,497\text{Hz}$$

La fréquence d'encoches :

$$F_{enc} = q_1 \times R \times F_R \pm q_2 \times 2 \times F_A \quad \text{Avec : } q_1 = 1, 2, 3 \text{ et } q_2 = 0, 1, 2, \dots$$

$$F_{enc} = 1 \times 28 \times 17,375 \pm 0 \times 2 \times 35 = 486,5 \text{ Hz}$$

$$F_{enc} = 1 \times 28 \times 17,375 \pm 1 \times 2 \times 35 = 486,5 \pm 70 \text{ Hz}$$

Défaut barre cassée	$F_B = F_R \pm 2gF_A$	$17.375 \pm 0,248\text{Hz}$	
Fréquences d'encoches	$F_{enc} = q_1 \times R \times F_R \pm q_2 \times 2 \times F_A$	$F_{enc} = 486,5 \text{ Hz}$	
Défaut magnétique stationnaire	$F_R \pm (1/ F_R)$	26,06Hz	
Balourd	$1 \times F_R$	17,375 Hz	
Défaut de fixation	$1 \times, 2 \times, 3 \times, 4 \times F_R$	17,375 ; 34,7 ; 52 ,1 Hz	
Jeu mécanique	$1 \times, 2 \times F_R$	17,375; 74, 75 Hz	
Défaut désalignement	$2 \times F_R$	34, 75 Hz	
Electromagnétique	$1 \times, 2 \times, 3 \times, 4 \times F_A$	35 ; 70 ; 140..... Hz	
Défaillance du roulement		P1 (Hz)	P2 (Hz)
- bague externe	$F_{BE} = \frac{Z}{2} (1 - \frac{d}{D_M} \cos \alpha) F_R$	62,62	62,74
- bague interne	$F_{BI} = \frac{Z}{2} (1 + \frac{d}{D_M} \cos \alpha) F_R$	94,88	94,76
- éléments roulants	$F_B = \frac{1}{2} \frac{D_M}{2} (1 - \frac{d^2}{D_M^2} \cos^2 \alpha) F_R$	81,85	82,51

III 3 Analyse des résultats

III 3.1 Moteur sain

Sur les figures 8 à 11, sont présentés les signaux et les spectres de vibrations d'un moteur sain mesurés dans la bande de fréquence [0 – 50Hz], pour deux fréquences de rotation du moteur $F_R = 12.5\text{Hz}$ et $F_R = 17.5\text{Hz}$.

Pour les deux fréquences de rotations, RPM et ces harmoniques ne sont pas modulées par la fréquence de cassure des barres rotoriques qui est égale à $2gF_A$. Cependant, on constate un

désalignement de l'arbre moteur, les amplitudes des 2^{èmes}, 3^{èmes} et 4^{èmes} harmoniques sont supérieures à l'amplitude de RPM. D'un autre côté, on constate l'apparition des demi-harmoniques sur le spectre de la figure 9, qui s'explique par la présence d'un problème magnétique.

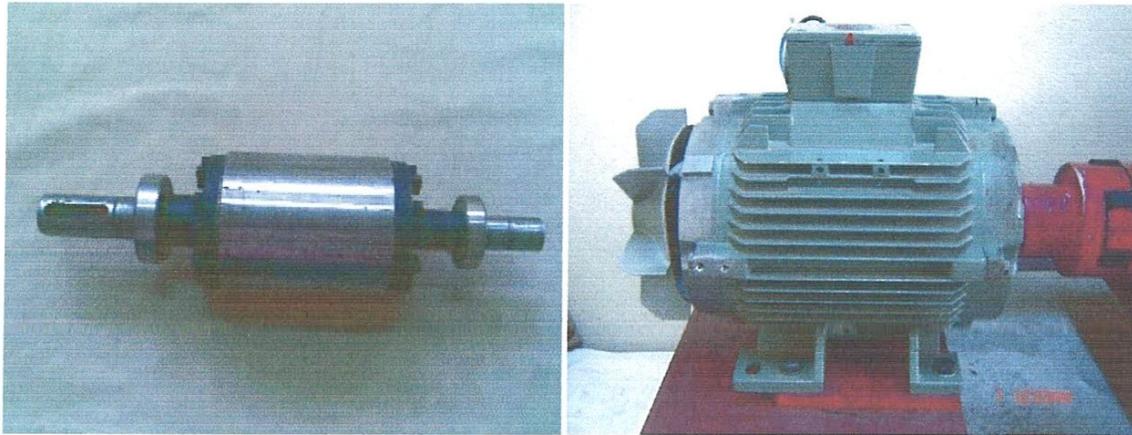


Figure 7: Photo du rotor sain et du moteur asynchrone

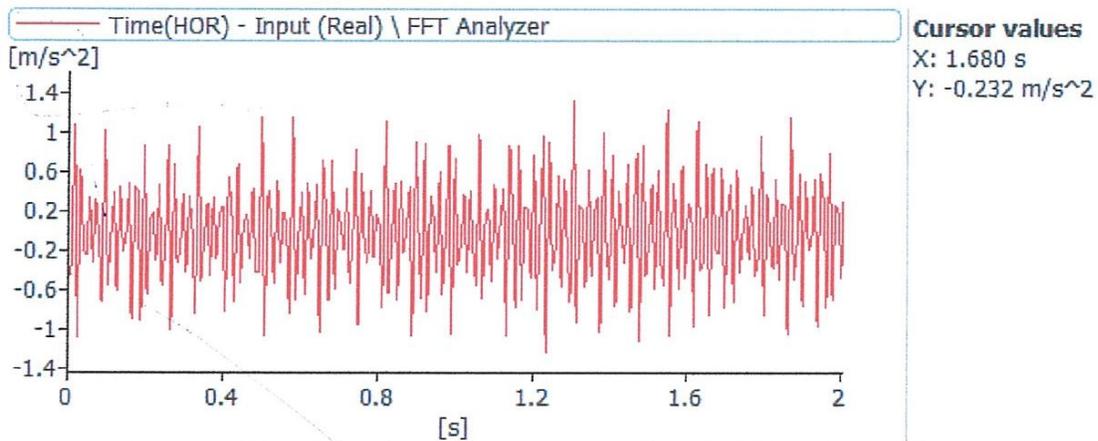


Figure 8 : Signal de vibration mesuré, pour $F_R = 12.5$ Hz, direction horizontale

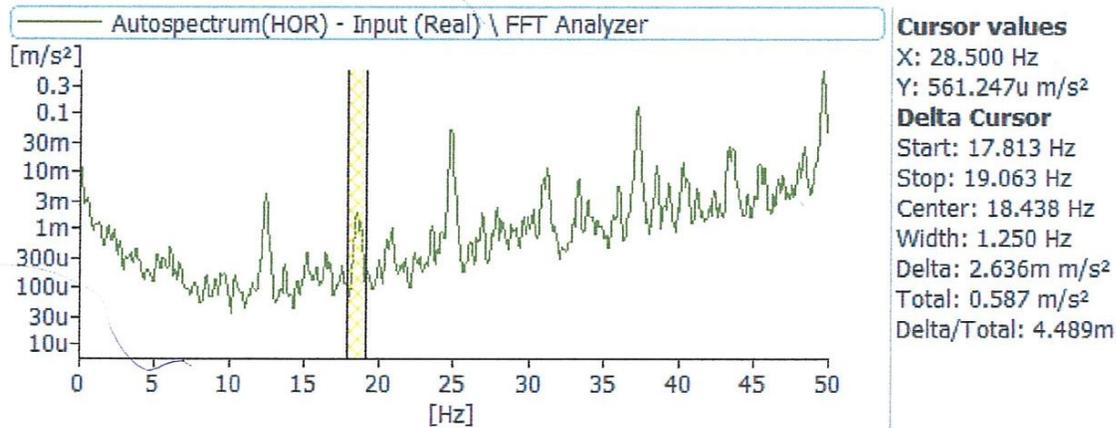


Figure 9: Spectre de vibration mesuré, pour $f_r = 12.5$ Hz, direction Horizontale

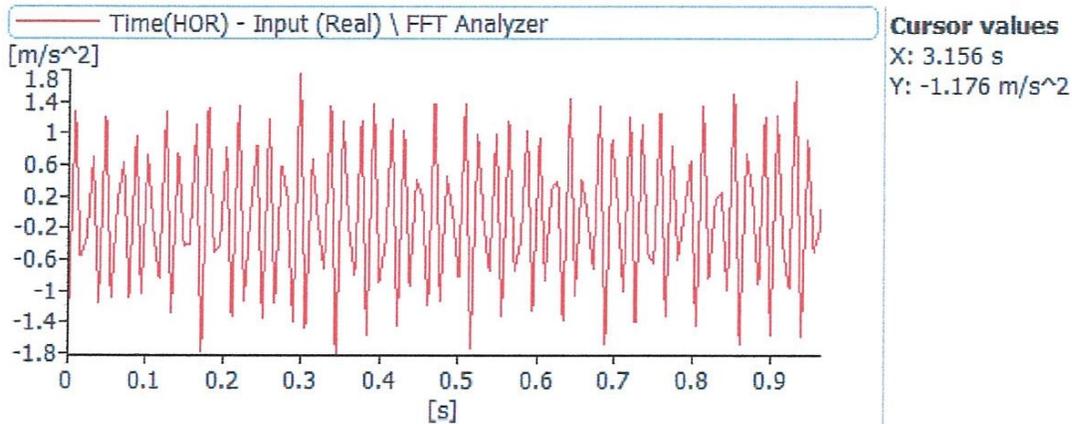


Figure 10 : Signal de vibration mesuré pour $F_R = 17.5$ Hz, direction horizontale

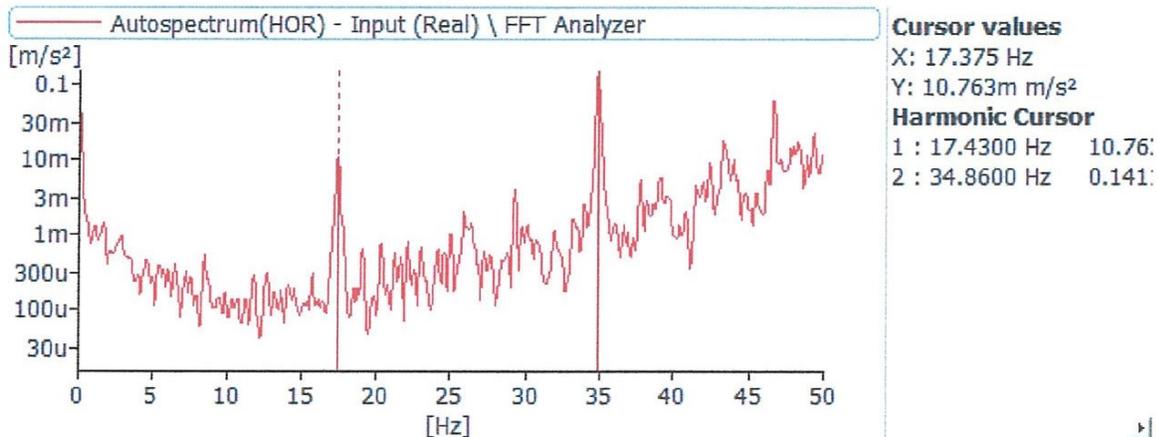


Figure 11: Spectre de vibration mesuré pour $F_R = 17.5$ Hz direction horizontale

III 3.2 Moteur défectueux (trois barres cassées)

Pour les deux fréquences de rotations 12.5 Hz et 17.5 Hz, on constate que RPM et ces harmoniques sont clairement modulées par la fréquence de cassure des barres rotoriques. Sur les zooms des spectres apparaissent d'une manière très claire cette modulation, voir figure 23. La superposition des signaux correspondant au rotor sain et défectueux, figures 13, 20 et 24, montre que le niveau de vibration d'accélération est très important dans le cas de moteur défectueux surtout dans la direction axiale en comparaison avec le cas son défaut.

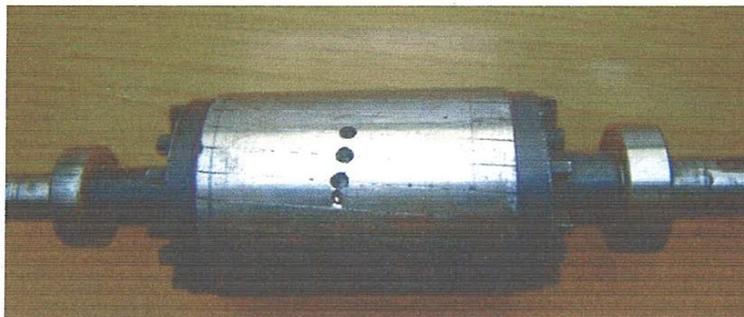


Figure 12: Photo du rotor défectueux

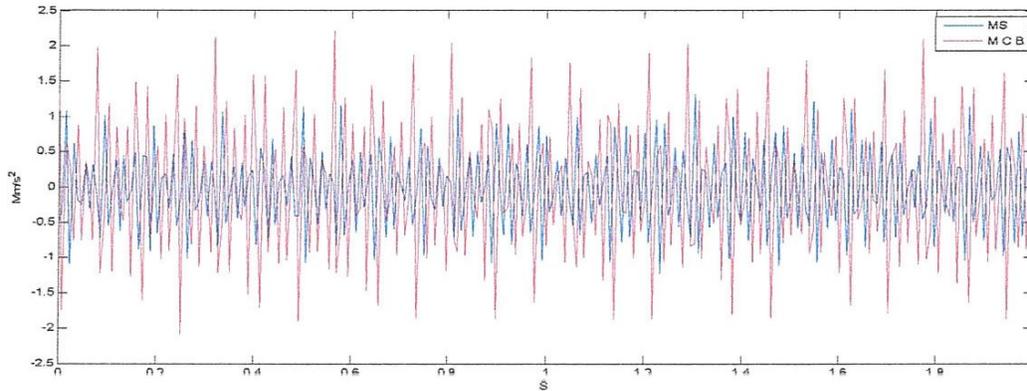


Figure 13 : Superposition de deux signaux de vibrations du rotor sain et défectueux, pour $F_R = 12.5$ Hz, direction horizontale

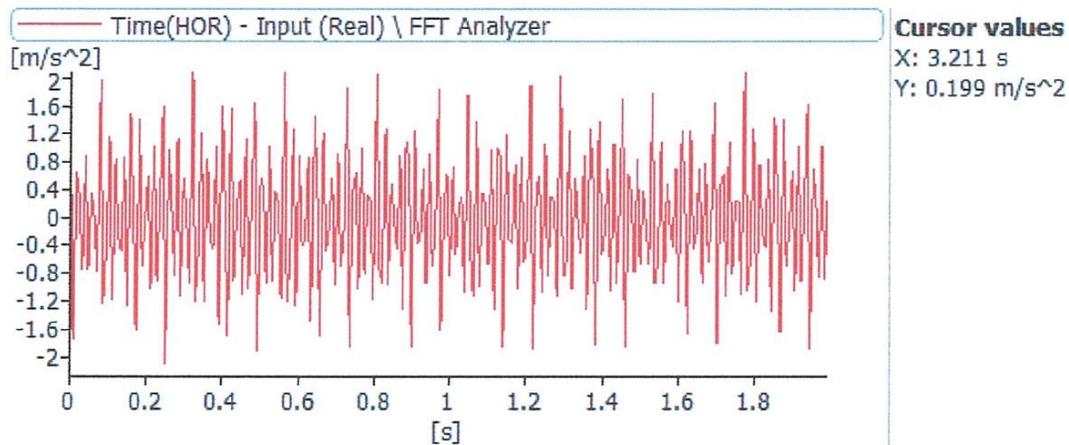


Figure 14 : Signal de vibration mesuré pour $F_R = 12.5$ Hz, direction horizontale

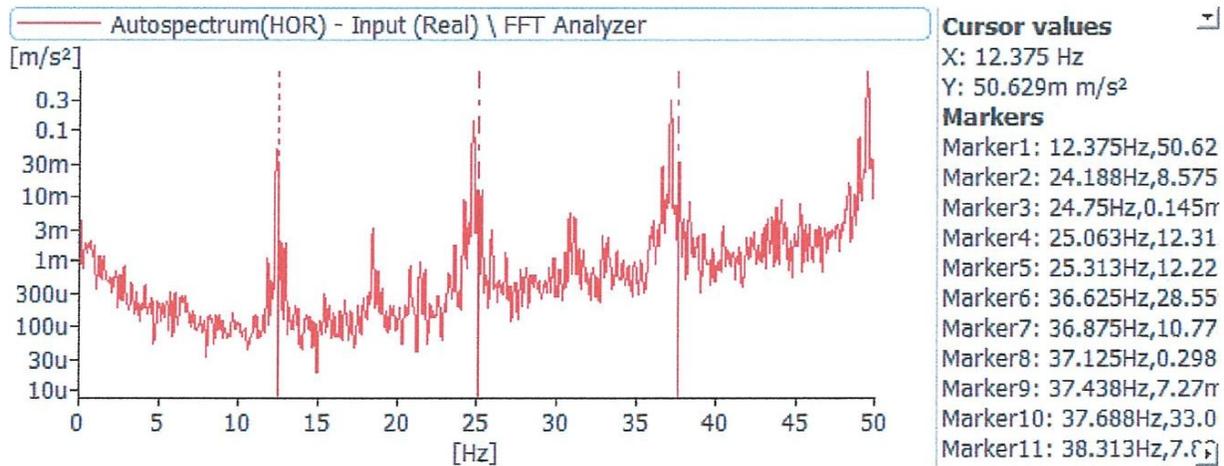


Figure 15 : Spectre de vibration mesuré pour $F_R = 12.5$ Hz, direction horizontale

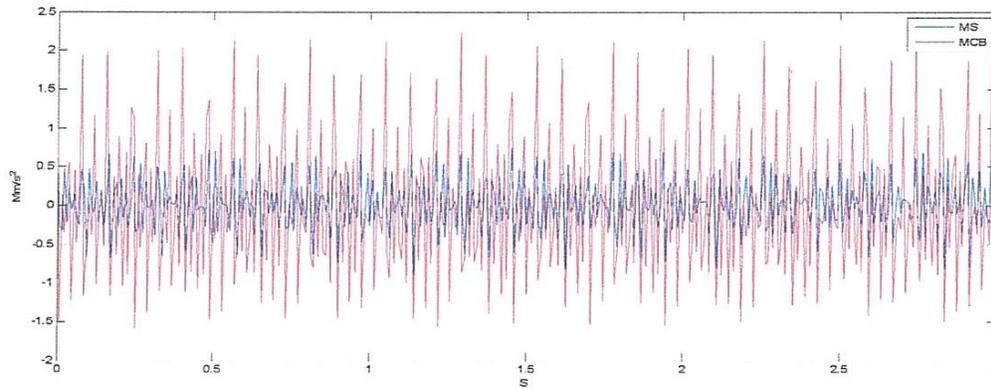


Figure 16 : Superposition de deux signaux de vibrations du rotor sain et défectueux, pour $F_R = 12.5$ Hz, direction axiale

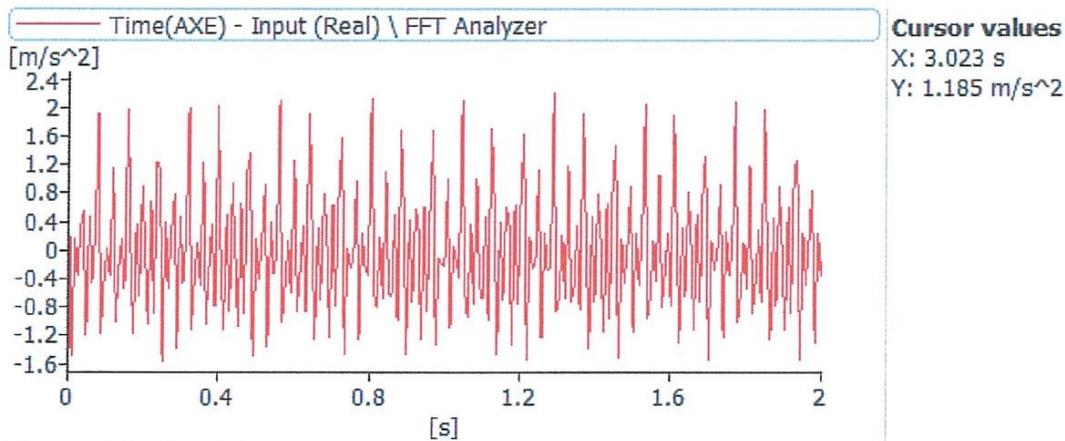


Figure 17 : Signal de vibration mesuré pour $F_R = 12.5$ Hz, direction axiale

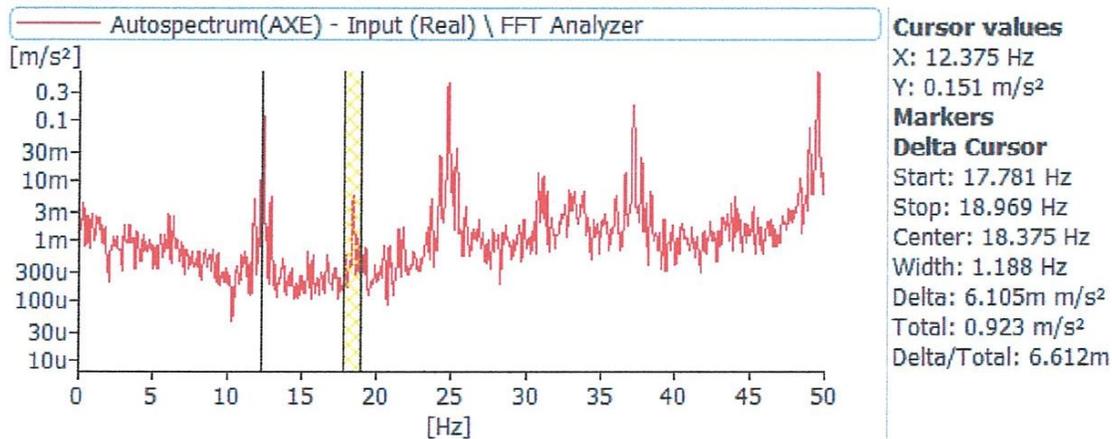


Figure 18 : Spectre de vibration mesuré pour $F_R = 12.5$ Hz, direction axiale

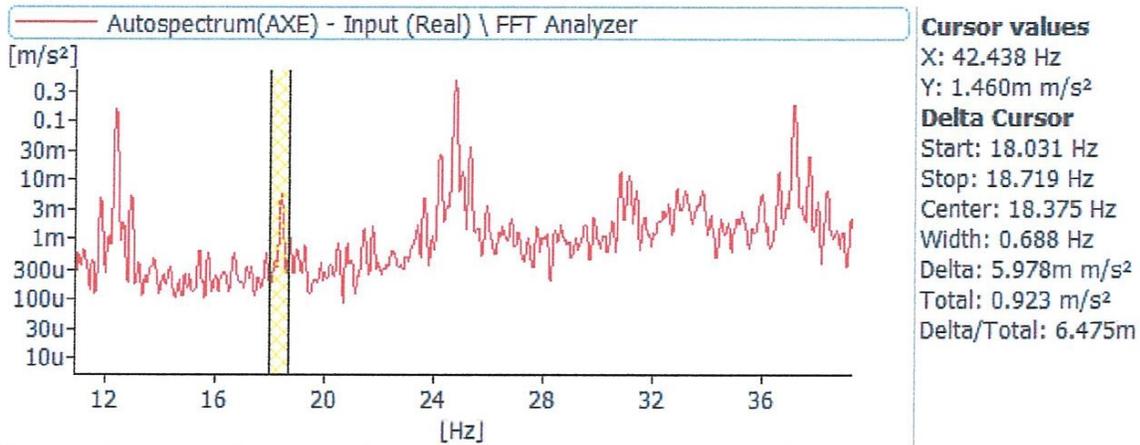


Figure 19 : Zoom du spectre de vibration mesuré pour $F_R = 12.5$ Hz, direction axiale

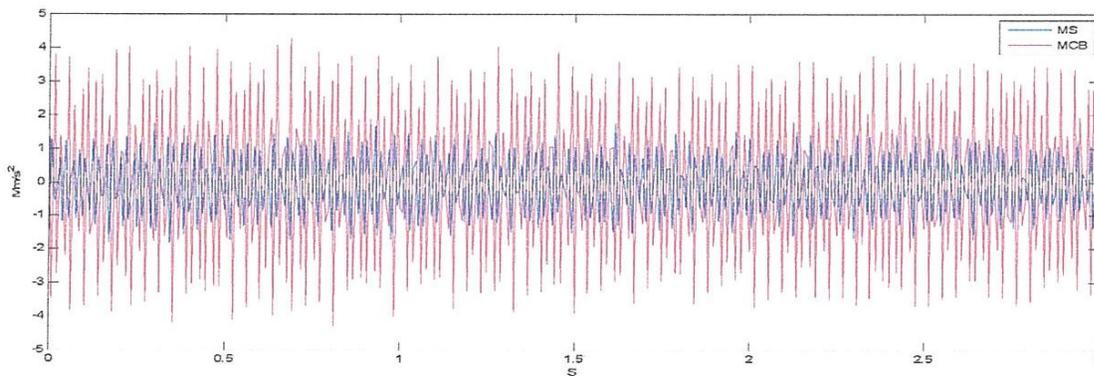


Figure 20 : Superposition de deux signaux de vibrations du rotor sain et défectueux, pour $F_R = 17.5$ Hz, direction horizontale

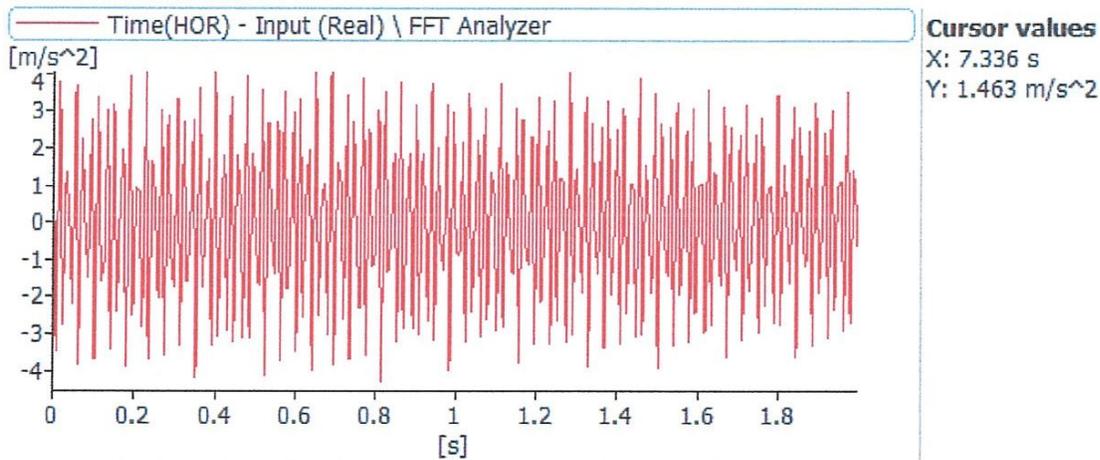


Figure 21 : Signal de vibration mesuré pour $F_R = 17.5$ Hz, direction horizontal

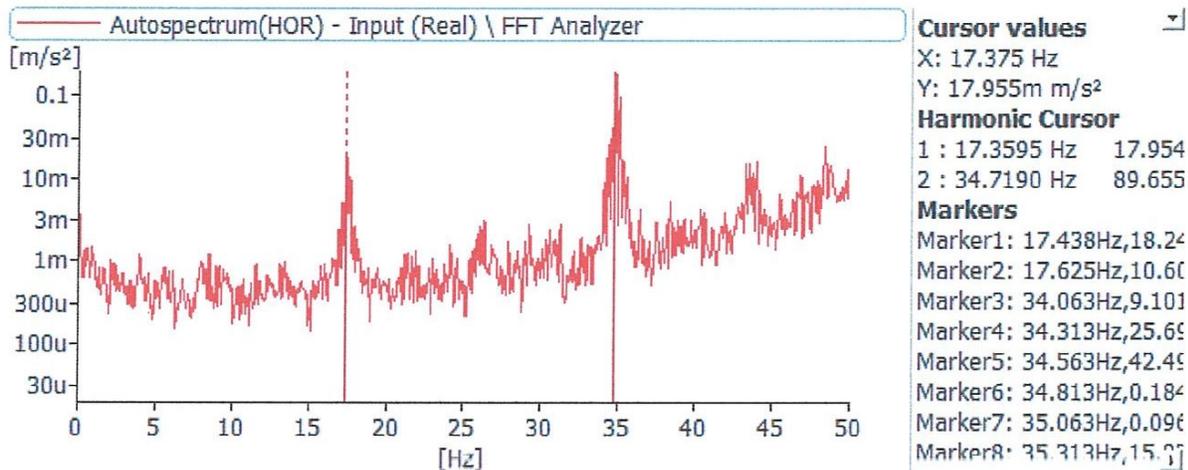


Figure 22 : Spectre de vibration mesuré pour $F_R = 17.5$ Hz, direction horizontale

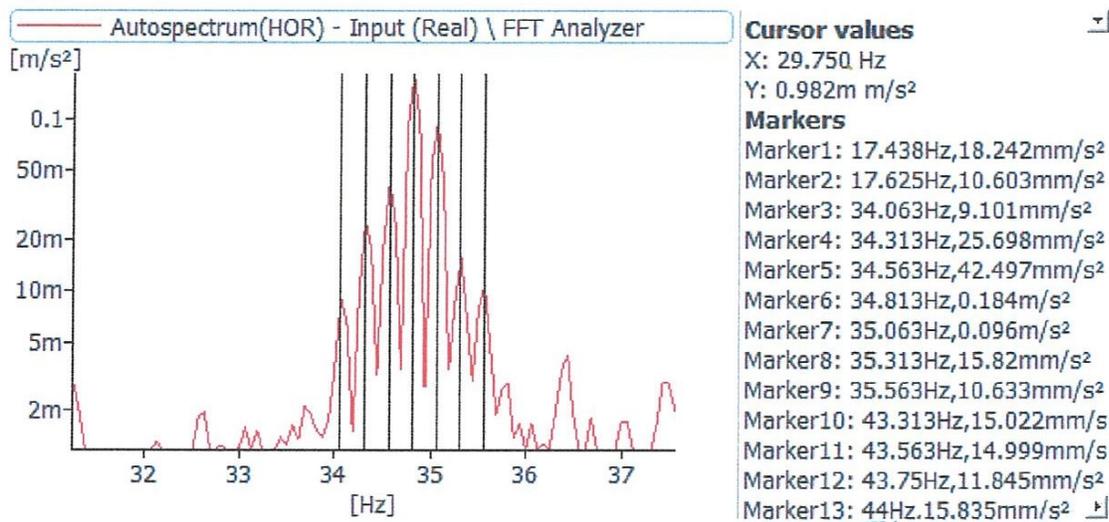


Figure 23 : Zoom du spectre de vibration mesuré pour $F_R = 17.5$ Hz, direction horizontale

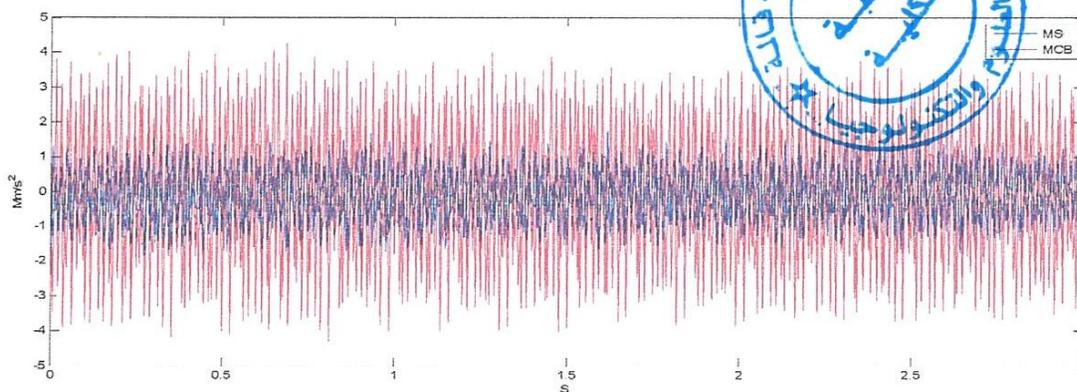


Figure 24 : Superposition de deux signaux de vibrations du rotor sain et défectueux pour $F_R = 17.5$ Hz, direction axiale

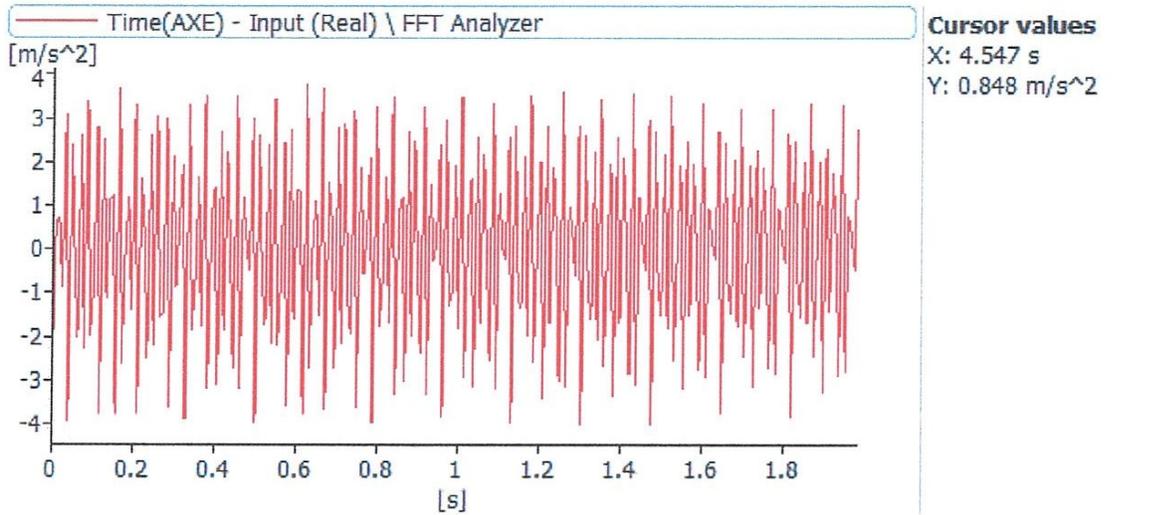


Figure 25 : Signal de vibration mesuré pour $F_R = 17.5$ Hz, direction axiale

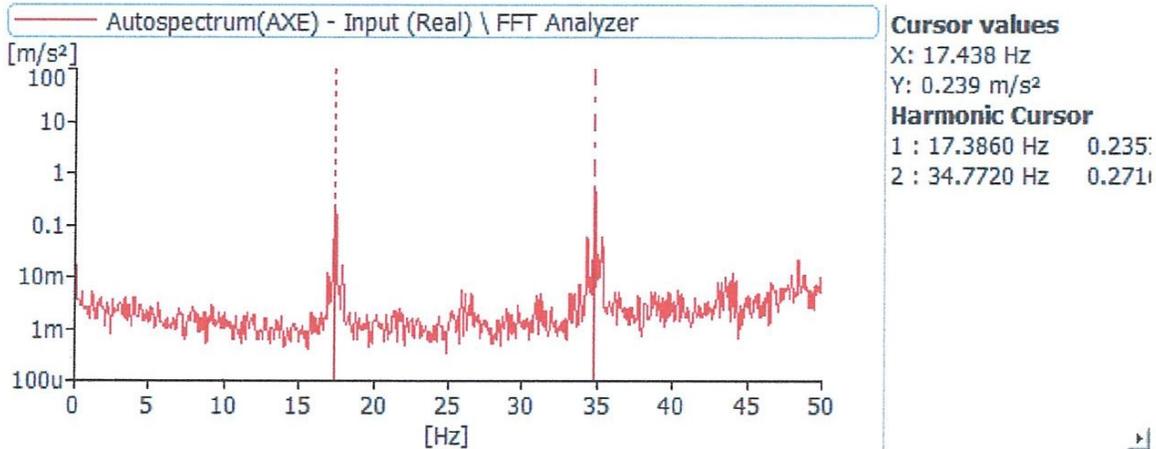


Figure 26 : Spectre de vibration mesuré pour $F_R = 17.5$ Hz, direction axiale

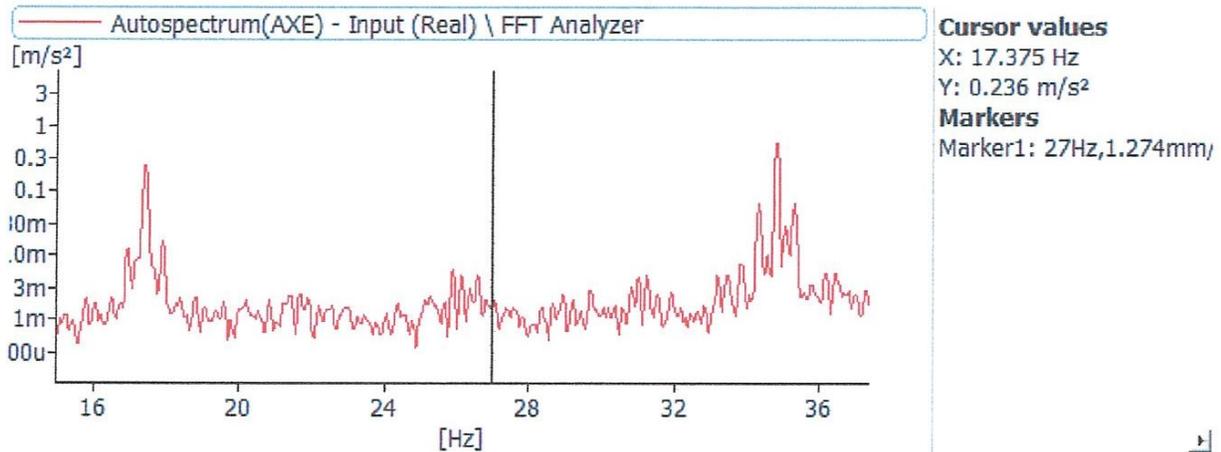


Figure 27 : Zoom du spectre de vibration mesuré pour $F_R = 17.5$ Hz, direction axiale

III 3.3 Moteur défectueux plus charge

Les mêmes constatations mentionnées précédemment sont valables dans le cas du chargement du moteur.

Une dernière constatation sur les résultats des trois configurations étudiées, moteur sain, moteur défectueux sans charge et moteur défectueux avec charge, les amplitudes de la fréquence de rotation et ces harmonique augmentent d'une manière considérable en fonction de la gravité du défaut, en fonction de la charge et en fonction de l'augmentation de la fréquence de rotation du moteur. Les amplitudes des harmoniques sont plus importantes dans la direction axiale en comparaison avec ceux de la direction horizontale.

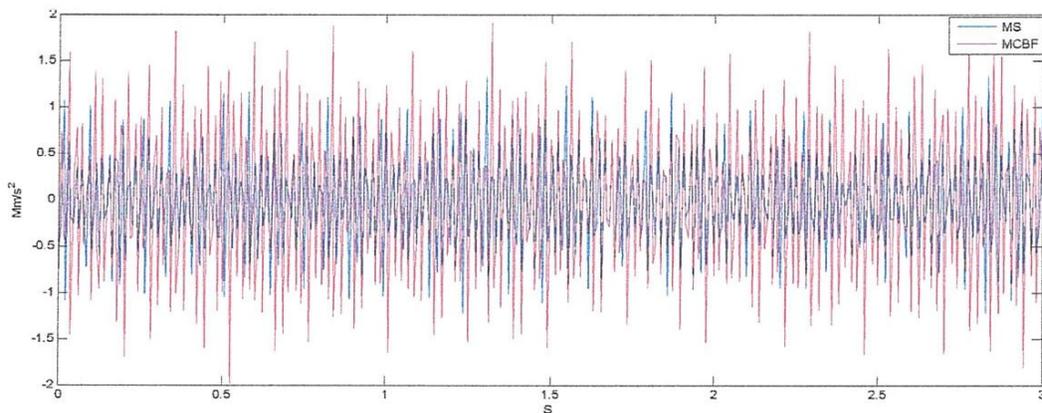


Figure 28 : Superposition de deux signaux de vibrations du rotor sain et défectueux pour $F_R = 12.5$ Hz, direction horizontal

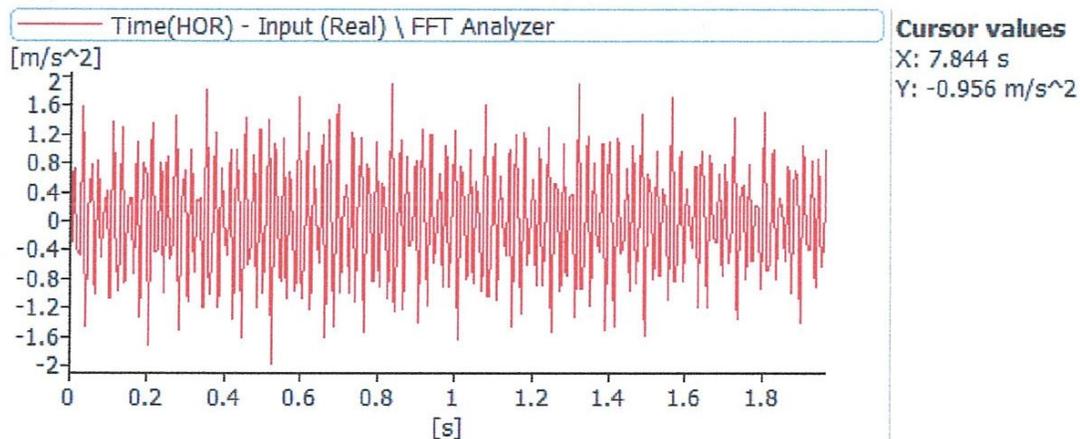


Figure 29 : Signal de vibration mesuré pour $F_R = 12.5$ Hz, direction horizontale

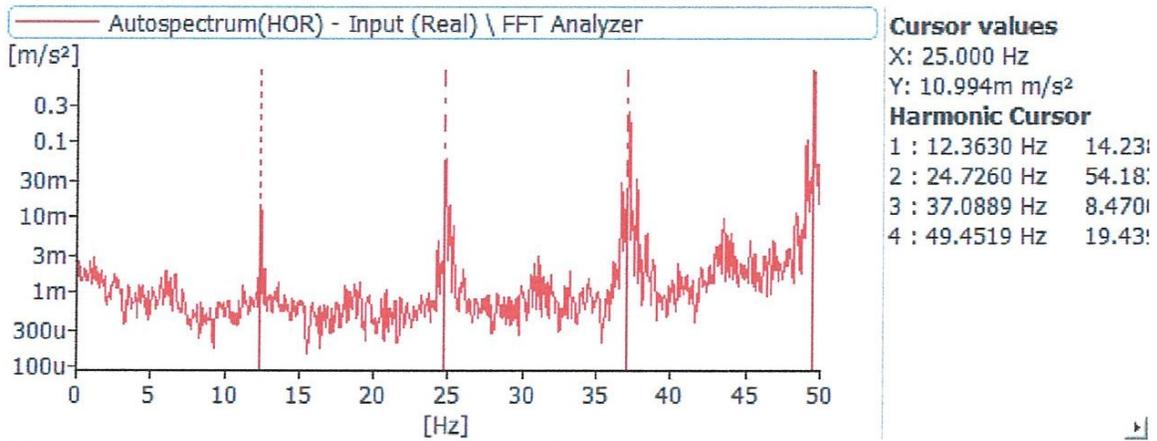


Figure 30 : Spectre de vibration mesuré pour $F_R = 12.5$ Hz, direction horizontale

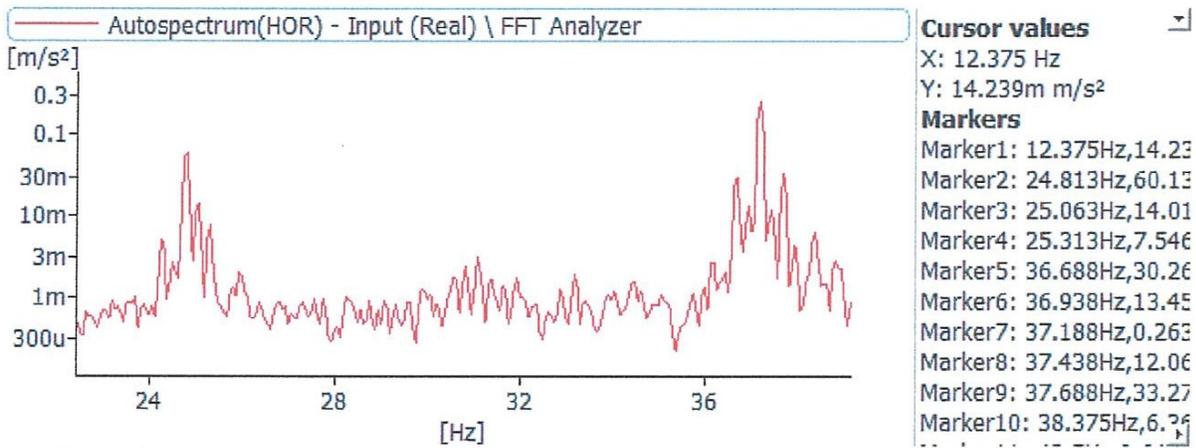


Figure 31 : Zoom du spectre de vibration mesuré pour $F_R = 12.5$ Hz, direction horizontale

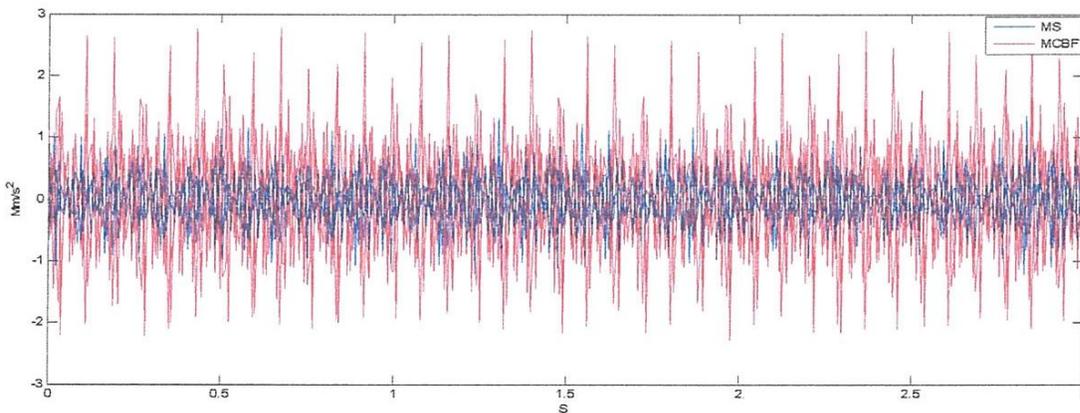


Figure 32 : Superposition de deux signaux de vibrations du rotor sain et défectueux pour $F_R = 12.5$ Hz, direction axiale

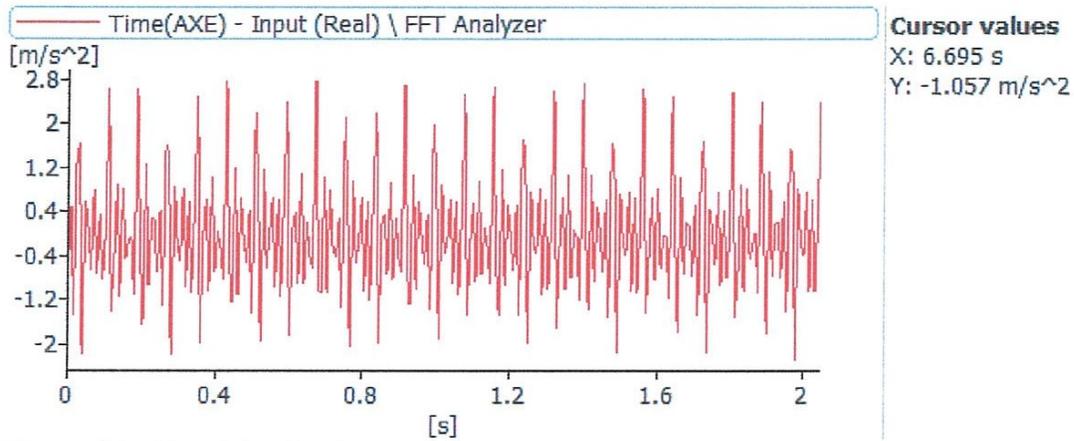


Figure 33 : Signal de vibration mesuré pour $f_R = 12.5$ Hz, direction axiale

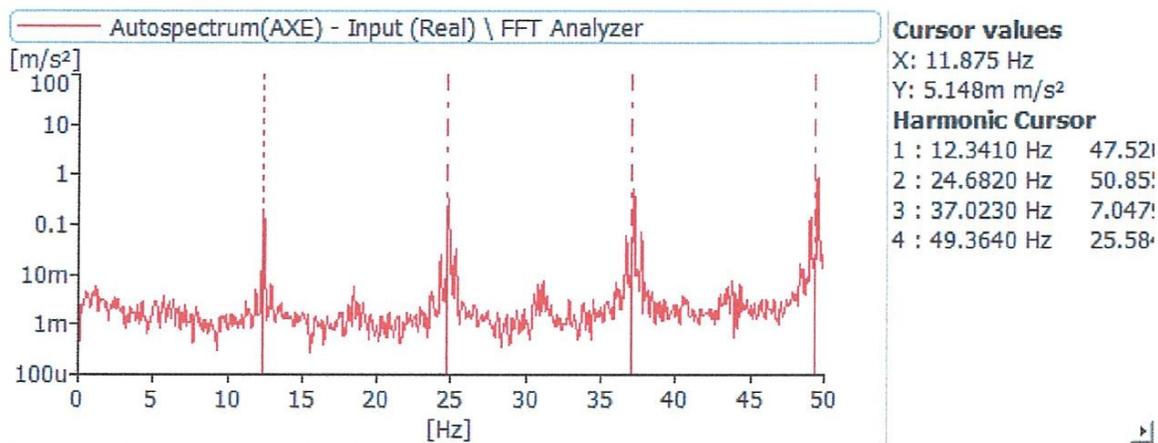


Figure 34 : Spectre de vibration mesuré pour $f_R = 12.5$ Hz, direction axiale

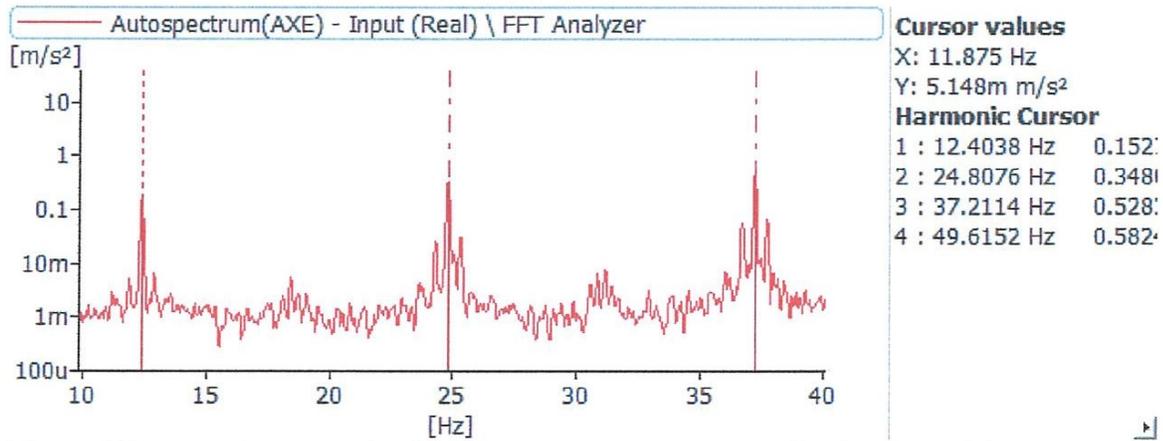


Figure 35 : Zoom du spectre de vibration mesuré pour $f_R = 12.5$ Hz, direction axiale

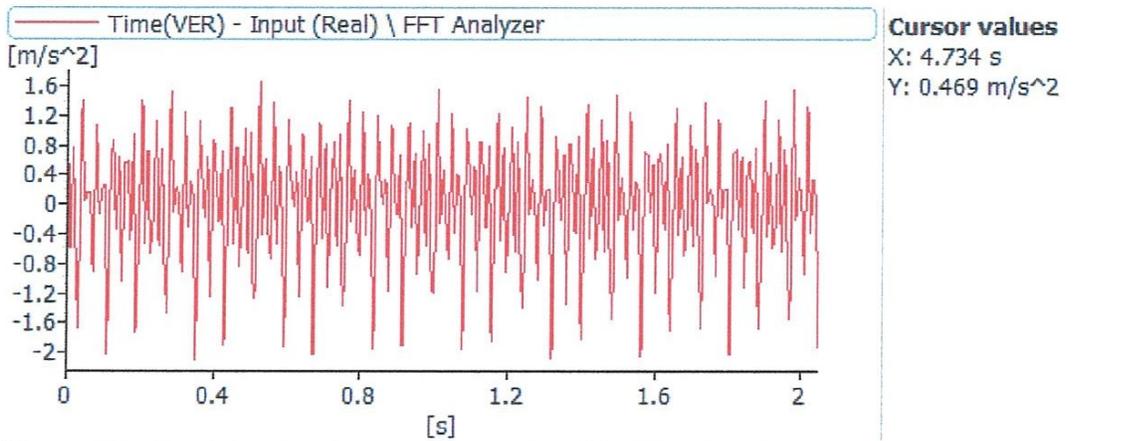


Figure 36: Signal de vibration mesuré pour $F_R = 12.5$ Hz, direction verticale

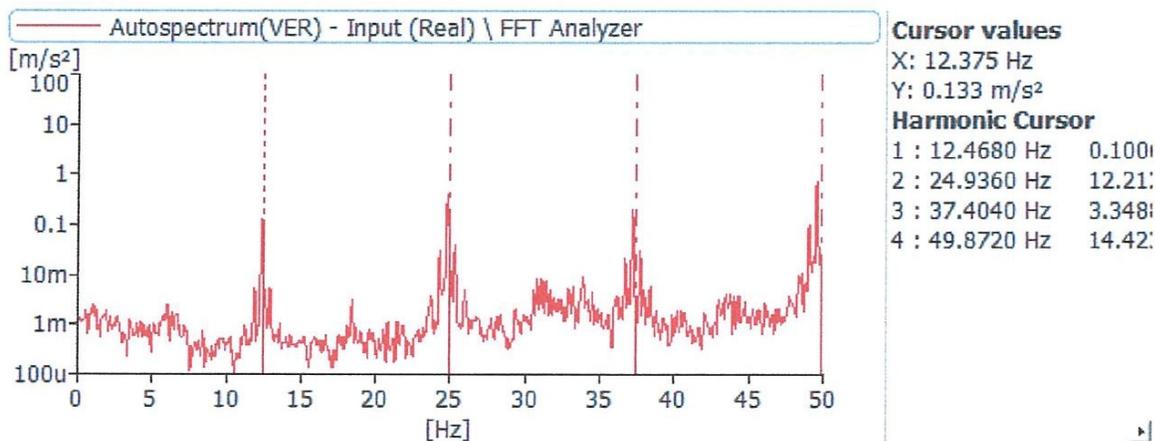


Figure 37 : Spectre de vibration mesuré pour $F_R = 12.5$ Hz, direction verticale

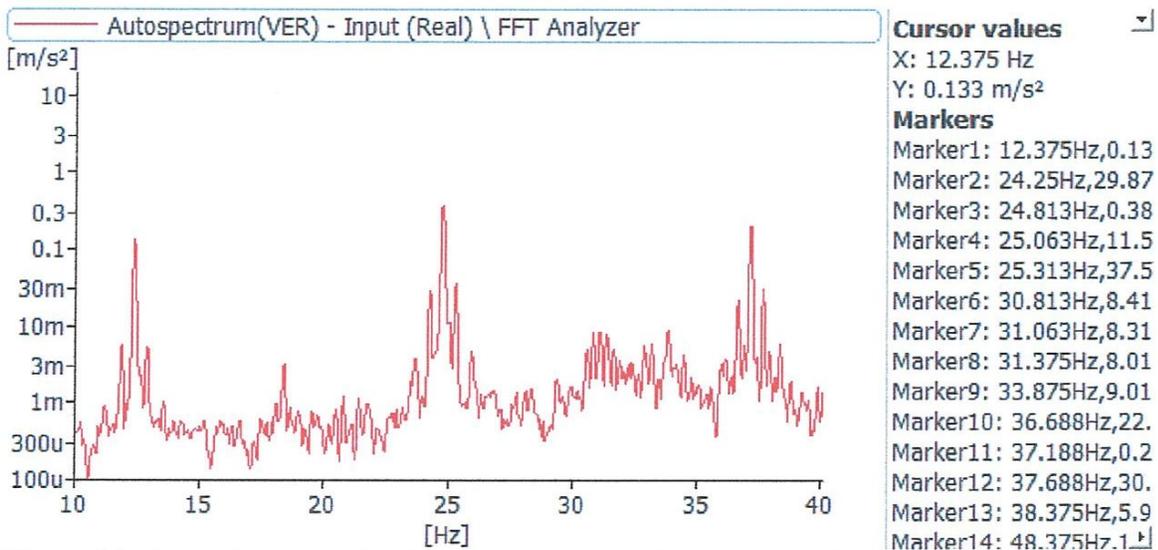


Figure 38 : Zoom du spectre de vibration mesuré pour $F_R = 12.5$ Hz, direction verticale

III 4 Conclusion

La surveillance et le diagnostic du défaut dans le moteur asynchrone est un domaine d'intérêt dans les recherches et plusieurs secteurs industriels. L'analyse spectrale est l'outil efficace dans ce domaine.

Les résultats de l'analyse vibratoire des défauts provoqués sur les barres rotoriques du moteur asynchrone, confirme la réalité de la présence d'un défaut rotorique sur le moteur.

Chapitre IV

Diagnostic des cassures de barres dans un moteur asynchrone par analyse du signal courant

IV 1 Introduction

Comme nous l'avons vu, la mise en place de mesures vibratoires pour détecter les défauts mécaniques de type défauts de roulements ou barres cassées nécessite l'emploi de capteurs vibratoires souvent de type piézo-électriques, de conditionneurs et de chaînes d'acquisitions de données. De plus, le positionnement spatial des capteurs doit être étudié en fonction de l'organe mécanique à surveiller. Dans le cadre des entraînements électriques à base de machine asynchrone, de nombreuses recherches ont été menées pour remplacer la détection de défaut mécanique basé sur la mesure de grandeurs vibratoires, par une détection basée sur la mesure de grandeurs électriques, telles que les courants statoriques de la machine. En effet, les courants statoriques de la machine asynchrone sont souvent déjà mesurés pour la commande et pour les dispositifs de protection. Il n'est donc pas nécessaire de mettre en place de nouveaux capteurs ou de nouvelles chaînes d'acquisition. Cette solution, largement investiguée, paraît donc plus viable d'un point de vue pratique et économique. Comparativement à la mesure vibratoire.

IV 2 Plan expérimental

Dans ce chapitre, on se base sur la mesure du signal du courant statorique (courant d'alimentation), pour voir la possibilité de détection des cassures de barres rotoriques dans un moteur asynchrone.

IV 2.1 Banc d'essais et matériel de mesure

On utilise le même banc d'essais, sur lequel, on a fait des mesures de signaux de vibrations, voir chapitre III. Cependant pour la mesure du signal du courant, on utilise un oscilloscope numérique, le **Hameg HM 507** et la pince ampérométrique **i30s AC/DC**. La manipulation est composée de :

1. Moteur asynchrone à cage de puissance 1.5 Kw
2. Frein électromagnétique
3. Accouplement élastique



Figure 1: Photo de la manipulation (Banc d'essais)

4. L'oscilloscope Hameg HM 507 : Appareil qui permet la mesure des oscillations du courante électrique dans le moteur asynchrone.

-Domaine d'application : L'oscilloscope est conçu pour être utilisé dans les secteurs industriels, domestiques, commerciaux et artisanaux ainsi que dans les petites entreprises.

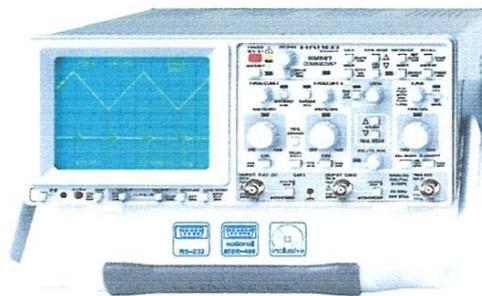


Figure 2: L'oscilloscope Hameg HM 507

5. Pince ampérométrique i30s AC/DC : Elle est destinée aux oscilloscopes et aux multimètres numériques pour effectuer des mesures précises non-intrusives des courants continus et alternatifs et des formes d'ondes complexes. La pince a été conçue exclusivement pour les multimètres numériques l'utilisation de la technologie de l'effet de hall permet à la pince de mesure avec précision des courants entre 5 mA et 30A avec une résolution de 1mA sur la gamme des fréquences de courant continu jusqu'à 100KHz.



Figure 3: Pince ampérométrique i30s AC/DC

6. Micro-ordinateur et logiciel d'exploitation : L'écran représente la fenêtre principale de l'application Windows SP107E.FEXE ainsi que ses Différents fenêtres internes destinées chacune au contrôle d'une partie fonctionnelle de l'oscilloscope.

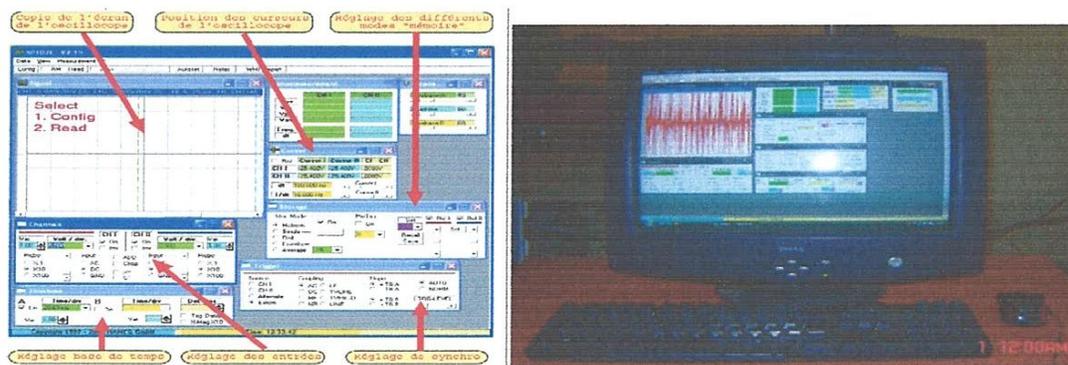


Figure 4: Micro-ordinateur et logiciel d'exploitation

IV 2.2 Schéma cinématique

Sur la figure 5, on présente un schéma cinématique du banc d'essais. Le palier du moteur côté accouplement, sur lequel, on a mesuré les vibrations est coloré en bleu. La mesure du signal courant s'effectue en posant l'un des fils d'alimentation (phase) dans la pince ampérométrique, cette dernière est liée directement à l'oscilloscope par un câble BNC. Le transfert des signaux mesurés de l'oscilloscope vers l'ordinateur s'effectue par un câble RS 232. Sur l'ordinateur est installé un logiciel d'acquisition des mesures et qui permet de faire le calcul du spectre du signal.

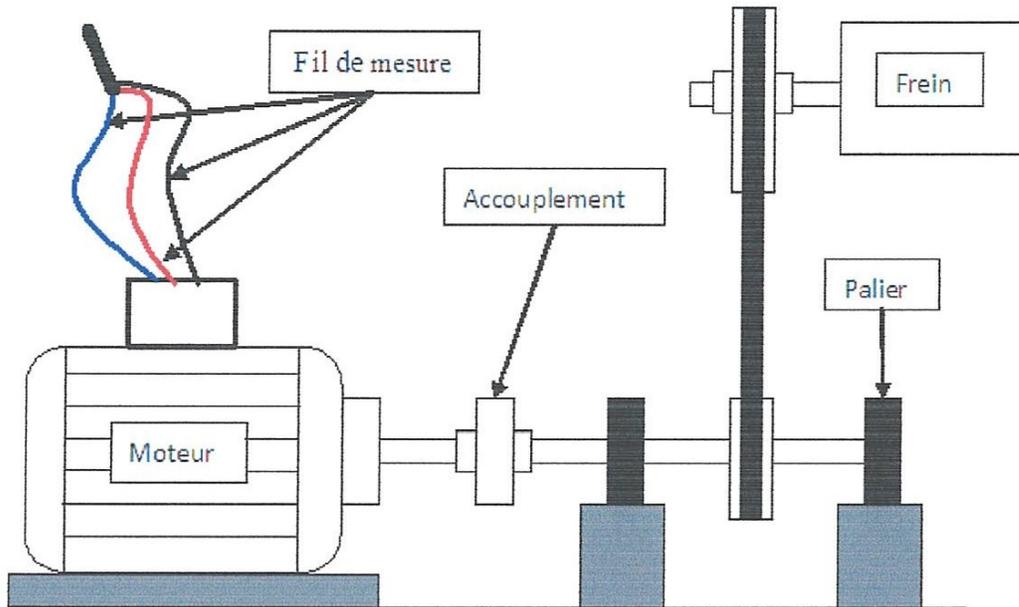


Figure 5: Schéma cinématique du banc d'essais

IV 2.3 Calcul cinématique

La fréquence du défaut de la barre rotorique cassée est donnée par l'expression suivante :

$$F_B = F_s \times (1 \pm 2g)$$

$$F_s = 25 \text{ Hz}$$

Le glissement dans les moteurs asynchrone est donné par l'expression suivante :

$$g = \frac{N_s + N_R}{N_s} = \frac{1500 + 1420}{1500} = 0.053 \text{ Hz}$$

Avec : N_s la vitesse de rotation théorique du moteur en tr/min et N_R la vitesse de rotation réelle en tr/min.

$$F_B = 25 \times (1 \pm 2 * 0.053) = 25 \pm 2.65 \text{ Hz}$$

IV 2.4 Analyses des résultats

Nous avons mesuré le signal du courant dans deux bandes de fréquences [0:50Hz] et [0:100Hz], dans le cas d'un moteur sain (sans défaut), dans le cas d'un moteur défectueux avec cassures de barres rotoriques et dans le cas du moteur défectueux en appliquant une charge sur le moteur par un frein électromagnétique placé sur l'arbre de sortie. Le logiciel d'acquisition permet le calcul direct du spectre du signal courant.

IV 2.4.1 Moteur sain

Nous avons réalisé beaucoup de mesures dans différentes bandes de fréquences, mais comme c'est la première fois au laboratoire de mécanique et structures qu'on s'attaque aux mesures du signal du courant électrique et malgré que nous avons demandé de l'aide à des enseignants d'électronique et d'électrotechnique qui sont spécialistes dans ce domaine, nous n'avons pas pu obtenir de bon résultats.

Nous présentons dans ce qui suit quelques échantillons des résultats obtenus dans deux bande de fréquences [0 :50Hz] et [0 :100Hz], pour une fréquence d'alimentation de 25 Hz et une fréquence de rotation du moteur de 12.5 Hz.

Sur les figures 6 et 8 ont présente les signaux du courant et sur les figures 7 et 9 leurs spectres respectivement, on constate l'apparition uniquement de la fréquence d'alimentation ainsi que son harmonique.

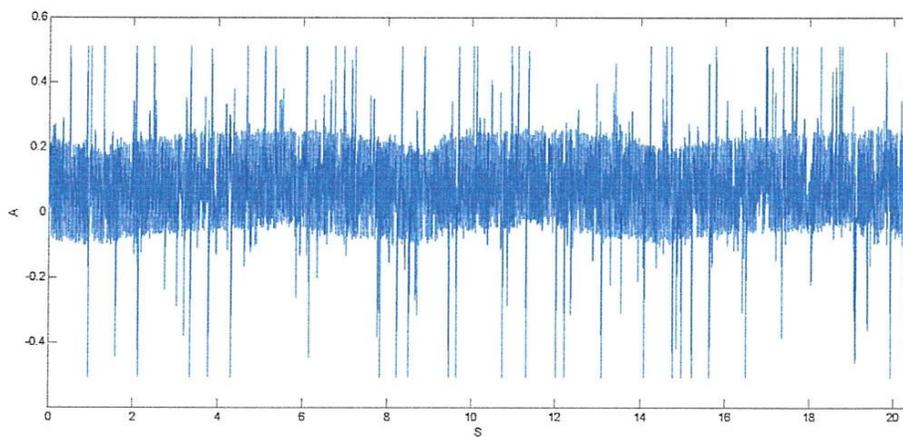


Figure 6: Signal de courant mesuré dans la bande de fréquence [0:50Hz]

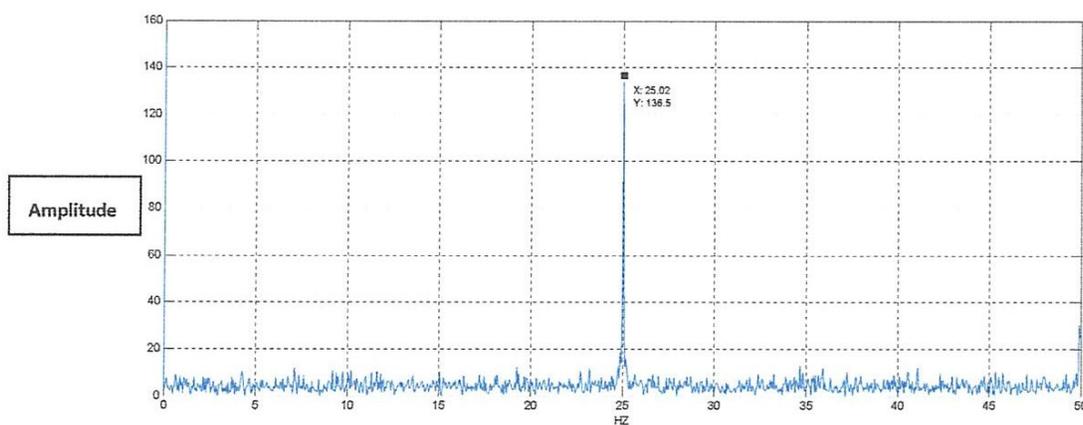


Figure 7: Spectre de courant dans la bande de fréquence [0 :50Hz]

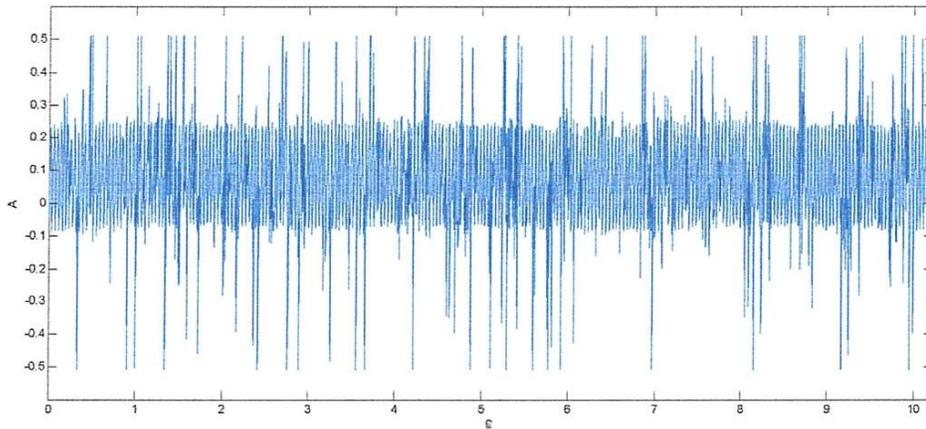


Figure 8: Signal du courant mesuré dans la bande de fréquence [0:100Hz]

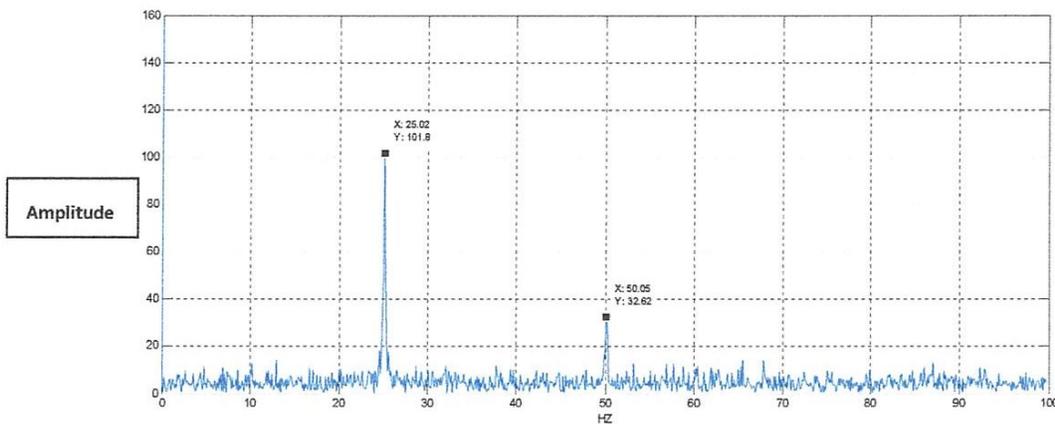


Figure 9: Spectre de courant dans la bande de fréquence 100Hz

IV 2.4.2 Moteur fonctionnant avec cassées barres

Dans le cas de cassures de barres rotoriques, on présente sur les figures 10 à 13, les signaux et leurs spectres. La seule constatation possible c'est l'augmentation de la magnitude de pic correspondant à la fréquence d'alimentation qui passe dans la bande [0:50Hz] de 136.5 à 146 et dans la bande [0:100Hz] de 101.8 à 167.8.

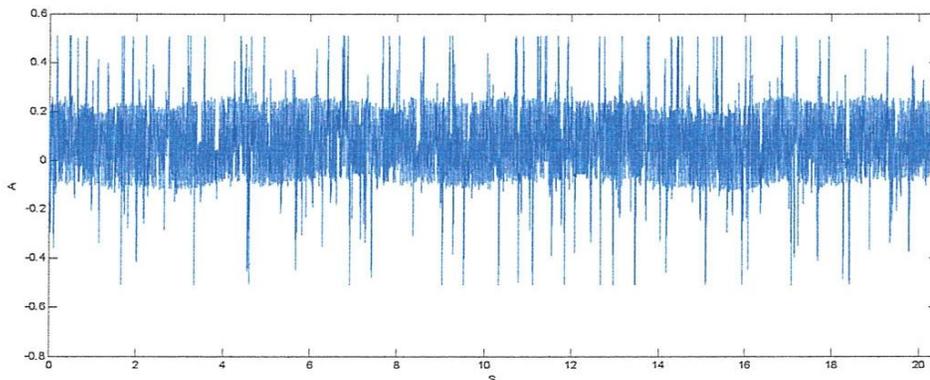


Figure 10 : Signal de courant mesuré dans la bande [0 :50Hz]

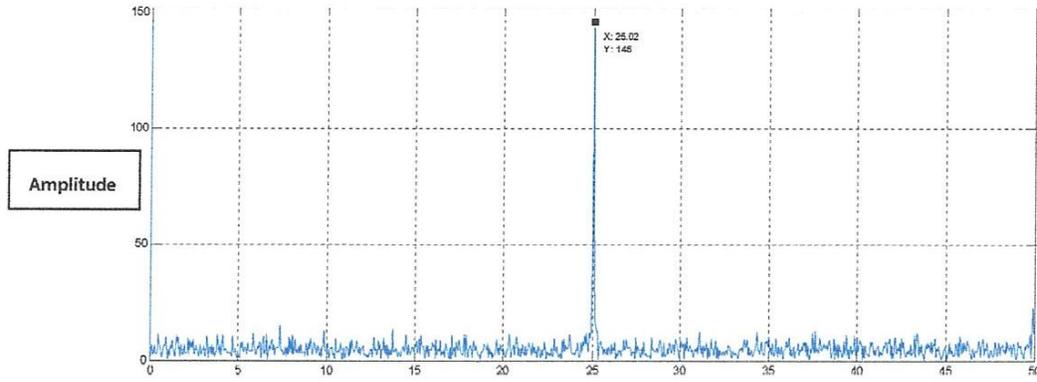


Figure 11: Spectre de courant dans la bande de fréquence [0 : 50Hz]

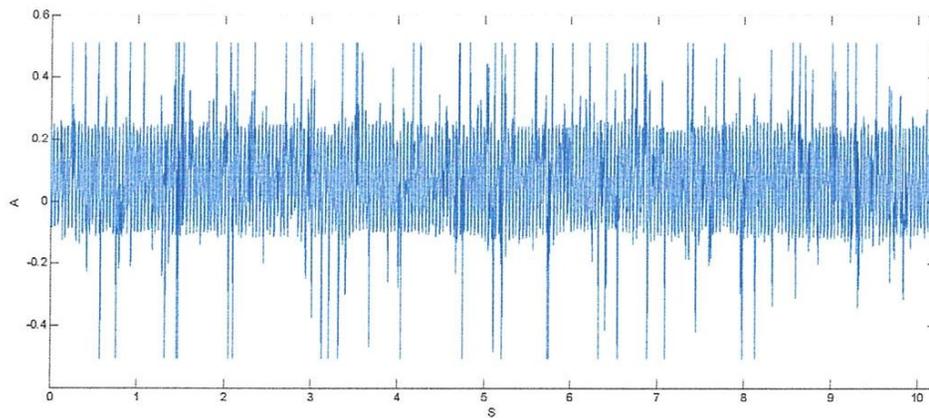


Figure 12 : Signal de courant mesuré dans la bande [0 : 100Hz]

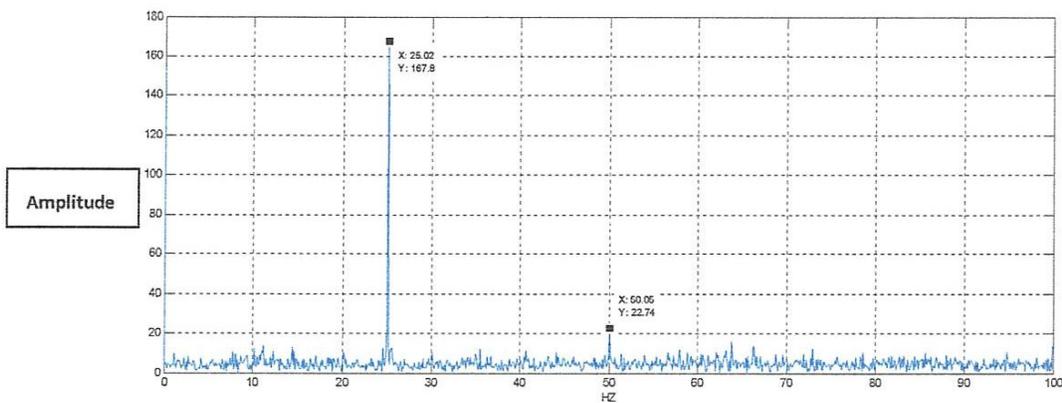


Figure 13: Spectre de courant dans la bande de fréquence [0 : 100Hz]

IV 2.4.3 Moteur fonctionnant avec cassées de barres et avec charge

Même constatation que précédemment.

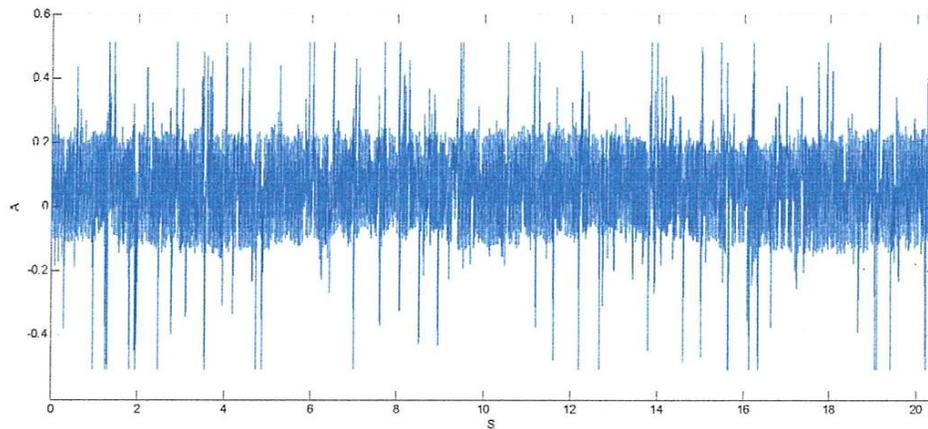


Figure 14 : Signal de courant mesuré dans la bande de fréquence [0 :50Hz]

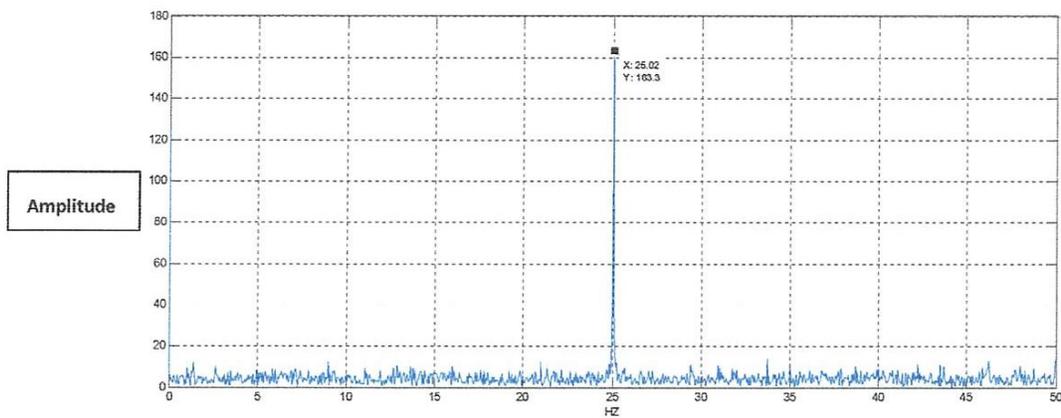


Figure 15: Spectre de courant dans la bande de fréquence [0 :50Hz]

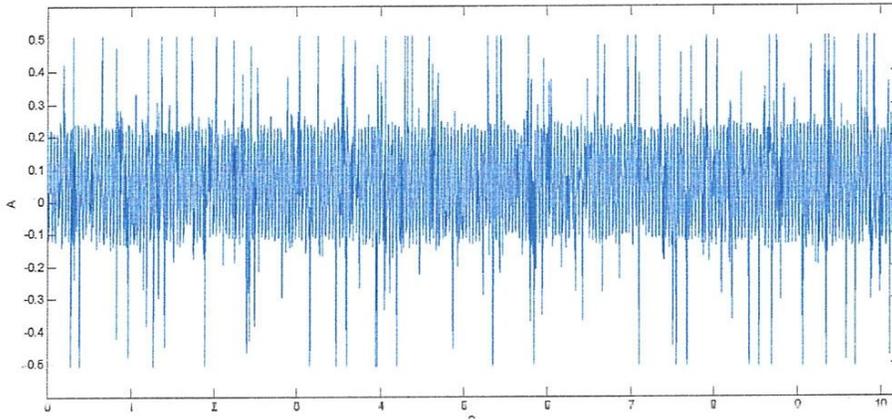


Figure 16 : Signal de courant mesuré dans la bande de fréquence [0 :100Hz]

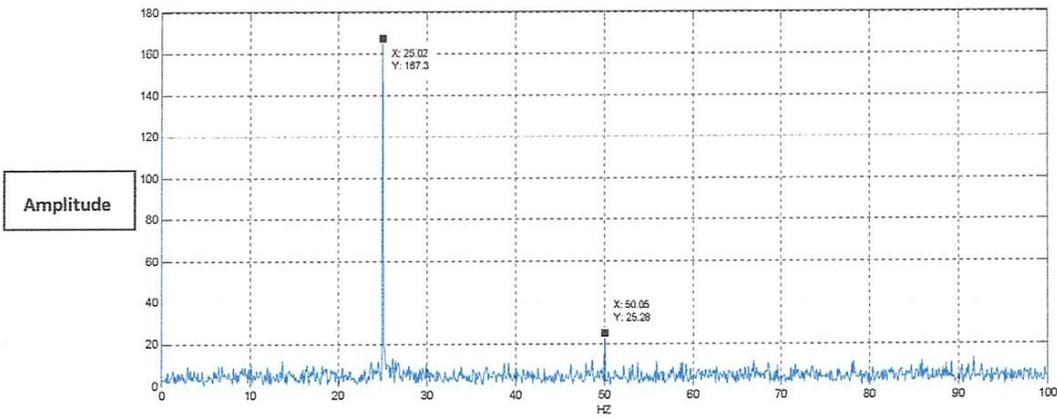


Figure 17: Spectre de courant dans la bande de fréquence [0 :100Hz]

IV 3 Conclusion

Le diagnostic du défaut dans le moteur asynchrone par l'analyse de courant est largement étudié et leurs résultats confirment la réalité de l'existence d'un défaut.

Les résultats de l'analyse de courant des défauts provoqués sur les barres rotoriques du moteur asynchrone, ne confirme pas la réalité de la présence d'un défaut rétorque sur le moteur.

Conclusion générale

L'utilisation des machines asynchrones dans l'industrie devient, à nos jours, très fréquente, donc la détection précoce des défauts dans ces machines est devenue un enjeu économique très important. Dans notre travail, nous avons effectué une étude sur la détection des cassures de barres dans un moteur asynchrone triphasé à cage.

La Recherche bibliographique a permis de comprendre la construction et le fonctionnement de la machine asynchrone et d'introduire la notion de surveillance et de diagnostic dans le cadre de la sûreté de fonctionnement. Notre choix s'est porté sur la méthode de l'analyse des signaux vibratoire qui est la plus largement utilisée et l'analyse spectrale du courant statorique

Dans un premier temps, nous avons fait le diagnostic des pannes dans le moto-ventilateur MK 17 de l'entreprise FERTIAL Annaba, sur lequel, nous avons pris des mesures spectrales durant notre stage. Les analyses des spectres de vibratoires du MK 17, ont montré que globalement le mécanisme ne présente pas beaucoup de problème vibratoire, vu que les mesures ont été prises justes après le remplacement du rotor du ventilateur. Néanmoins, on constate l'existence d'un balourd résiduel sur les paliers du ventilateur.

La deuxième partie de notre travail a consisté à faire un diagnostic des cassures de barres dans un moteur asynchrone par analyse vibratoire. Les résultats confirment l'existence des défauts provoqués volontairement sur les barres rotoriques du moteur asynchrone. Alors que dans la troisième partie où nous avons utilisé le signal du courant statorique pour faire le diagnostic des défauts de cassures des barres rotoriques, n'ont pas donné de résultats convainquant.

Les références bibliographiques

- [1] Jean Heng, pratique de la maintenance preventiven, 2002, 3p.
- [2] Djebala, application de la transformée par Ondelettes a l'étude et l'analyse vibratoire des systèmes mécaniques, Thèse de Doctorat, Université Badji Mokhtar Annaba. Algérie, 2008,5-6p.
- [3] Elamarty Ahmed, Chahed Abdelali, Maintenance des Machines Tournantes par Analyse Vibratoire, Projet de Fin d'Étude, Université Sidi Mohammed Ben Abdellah, 2007,8-9p.
- [4] Christophe Berenguer, Antoine Grall, Modélisation et évaluation des stratégies de maintenance complexes sur des systèmes multi-composants, Thèse de Doctorat préparée dans le cadre d'un partenariat entre - l'Université de Technologie de Troyes, Institut Charles Delaunay, 2009,15p
- [5] Fabien Bogard, Développement d'une approche numérique visant a optimiser le suivi vibratoire des constituants d'une machine tournante, Thèse de Doctorat, de l'Université de Reims Champagne – Ardenne, 2000,3p
- [6] Noureddine Bessous, Contribution Au Diagnostic Des Machines Asynchrones, Mémoire de Magister, Université Mentouri Constantine
- [7] Abla Bouguerne, Diagnostic automatique des défauts des moteurs asynchrones, Mémoire de Magister, Université Mentouri Constantine, 2009,12-23p
- [8] Olivier Ondel, Diagnostic par Reconnaissance des Formes : Application a un Ensemble Convertisseur – moteur asynchrone, Thèse de Doctorat, Université Mentouri Constantine, 1992,47p
- [9] KHATIR Abdelfatah, Etude comparative des modèles des machines asynchrones utilisés en Diagnostic des défauts, Mémoire Magister, Université Ferhat Abbas – SETIF-, 2009,24p
- [10] Radouane Bousseksou, Modélisation analytique des machines Asynchrone application au diagnostic, Mémoire de magister, Université Mentouri Constantine, 2007
- [11] Olivier Ondel, Diagnostic par Reconnaissance des Formes : Application a un Ensemble Convertisseur – moteur asynchrone, l'école Centrale de Lyon, Thèse de Doctorat, 1992,7-8p
- [12] Abdelkader M, Noureddine B, Azzedine B, Analyse spectrale du courant statorique pour détecter les cassures de barres dans les moteurs asynchrones triphasés à cage en tenant compte des harmoniques d'espace, Université Hassiba Benbouali de Chlef

- [13] B. Trajin, Détection automatique et diagnostic des défauts de roulements dans une machine asynchrone par analyse spectrale des courants statoriques, Université de Toulouse
- [14] A. Aboubou, M. Sahraoui, A. Ghoulal, S. E. Zouzou, Analyse de contenu spectral de la Tension de Neutre de la machine asynchrone en vue de son Diagnostic, Université Mohamed Khider, Biskra.
- [15] Abdelhakim Idir(1), Ali Belmehdi(1), Djamel Chikouche(2), Recherche de Signatures de Défaut de la Machine à Induction en Vue de Diagnostic, (1) Université A. Mira de Bejaia, (2) Université de Sétif
- [16] F. Tafnine*, K. Mokrani*, J. Antoni**, A. Kabla*, and Z. Asradj*, Introduction des SVM en MCSA,* Université A/Mira Bejaia, ALGERIE, ** Université de Technologie de Compiègne UTC, France.
- [17] Céline Theys, Michelle Vieira, Localisation de défauts dans les machines asynchrones par des méthodes MCMC
- [18] Hubert Razik, le contenu spectral du courant absorbe par la machine asynchrone en cas de défaillance un état de l'art, 2002
- [19] Pierre Granjon, Michelle Vieira, Sophie Sieg-Zieba, Surveillance du désalignement d'un moteur asynchrone par analyse du vecteur d'espace courant
- [20] M. Boumahi(1), J.P Dron(2), S. Rechak(3) et O. Cousinard(4), Détection et classification des défauts de roulements en utilisant l'analyse vibratoire et l'arbre de décision, (1) Université de Médéa, Algérie; (2,4) Laboratoire de mécanique appliquée URCA/GRESPI Reims, France; (3) Laboratoire de génie mécanique et développement ENP Alger, Algérie, 2009
- [21] M. Sahraoui, S. E. Zouzou, A. Menacer, A. Aboubou et A. Derghal, Diagnostic des défauts dans les moteurs asynchrones Triphasés a Cage, Université Mohamed Khider Biskra. Algérie, 2004
- [22] Selmane Mohamed, Charabi Ali, Détection des défauts mécaniques dans les machines asynchrones par analyse spectrale du courant statorique, Projet de fin d'Etudes, Université M'Hamed Bougarra Boumerdes, 2010
- [23] Slimani Asma, Aimeur Hayette, étude et analyse de l'efficacité de l'huile torba32 utilisée dans le compresseur du gaz de synthèse d'ammoniac, fertial-Annaba, mémoire de master, Université Badji Mokhtar Annaba, 7p