

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE
Ministère de l'Enseignement Supérieur de la Recherche Scientifique
Université Abderrahmane MIRA de Bejaia
Faculté de technologie
Département de GENIE MECANIQUE

Mémoire de fin d'étude

En vue de l'obtention du diplôme de Master en génie mécanique
Option : Maintenance Industrielle

Thème

**Détection des défaillances par analyse vibratoire sur
un groupe électro pompe**

Encadré par :

M^r. IMAOUCHEN

Présenté par:

M^r. OUADAH Sofiane

M^r. MENZOU Koceila

Promotion 2016 - 2017

Remerciements

*Nous tenons à adresser nos plus vifs
remerciements à notre promoteur
M^r IMAOUCHEN YACINE pour ses conseils et
sa disponibilité.*

*Nos remerciements vont également à Mr
Saigh Samir notre encadreur ainsi qu'à Mr
Boumoula Mr Guerroute et Mr Louiba qui
nous ont assisté lors de notre stage .*

*Nous exprimons toute notre gratitude à
tous ceux qui nous aidé de près ou de
loin à l'accomplissement de ce travail.*

*Une mention spéciale aux membres du jury
et également à tous les enseignants qui
ont contribué à notre formation .*

Dédicaces

Je dédie ce travail :

- ✓ *A mes très chers parents qui ont été d'une importance capitale dans la réussite de mes études.*
- ✓ *A mes frères et sœurs Amine , Rayan et fifi sans oublier Yacine et Iméne.*
- ✓ *A tous mes amis*
- ✓ *A mon défunt grand père et mon cousin « Réda » qui nous ont récemment quitté.*

Sofiane.

Dédicaces

Rien n'est aussi beau à offrir que le fruit d'une labeur qu'on dédie du fond du cœur à ceux qu'on aime et qu'on remercie en exprimant la gratitude et la reconnaissance durant toute notre existence.

Je dédie ce modeste travail

A mes très chers parents qui m'ont guidé durant les moments les plus pénibles de ce long chemin, ma mère qui a été à mes côtés et m'a soutenu durant toute ma vie, et mon père qui a sacrifié toute sa vie afin de me voir devenir ce que je suis, merci mes parents.

- **A toute ma famille**
- **A mon binôme et sa famille**
- **A mes frères et soeurs « Mayas, Massilia », sans oublier mon très cher oncle Mustapha**
- **A tous mes amis(es) sans exception**
- **A mes copains de chambre « youba, khalef ,nourredine ,sofiane , Hmidouhe , Moumouh,Tahar et walid »**

Koceila

Sommaire

Liste des figures

Liste des tableaux

Chapitre I: Présentation de Sonatrach

| | |
|---|----|
| I.1. Introduction..... | 1 |
| I.2. Présentation de la SONATRACH..... | 1 |
| I.2.1. Structure organisationnelle de la SONATRACH..... | 3 |
| I.3. La direction régionale de BEJAIA (DRGB) | 4 |
| I.3.1. Situation géographique..... | 6 |
| I.3.2. Organisation et activité de l'entreprise..... | 6 |
| I.3.3. Département maintenance | 7 |
| I.3.4. Terminal Marin de Bejaia (TMB) | 8 |
| I.3.5. Ligne HEH – Bejaia | 11 |
| Conclusion..... | 12 |

Chapitre II : Défaillance des machines tournantes

| | |
|---|----|
| II.1. Introduction | 13 |
| II.2. Définition des défaillances des machines tournantes | 13 |
| II.3. les Sources d'informations pour détections des défauts..... | 15 |
| II.3.1. L'analyse vibratoire | 15 |
| II.3.2. L'analyse d'huile | 15 |
| II.3.3. La thermographie infrarouge | 15 |
| II.3.4. L'analyse acoustique..... | 15 |
| II.3.5. Le contrôle par ultrasons..... | 15 |
| II.4. Défauts des machines tournantes..... | 17 |
| II.4.1. Les roulements | 18 |
| II.4.2. Défauts des paliers à film d'huile (Paliers lisses) | 22 |
| II.4.2.1. Définition | 22 |
| II.4.2.2. Caractéristiques | 22 |
| II.4.2.3. Avantages des paliers lisses | 22 |
| II.4.2.4. Inconvénients des paliers lisses..... | 22 |
| II.4.3. L'engrenage | 22 |
| II.4.3.1. Définition | 22 |
| II.4.3.2. Défauts des engrenages | 23 |
| II.4.3.3. Les Différents types de défauts des dentures d'engrenages | 23 |

| | |
|--|----|
| II.4.4. Les courroies | 26 |
| II.4.4.1. définition | 26 |
| II.4.4.2. Fonctionnement des courroies | 26 |
| II.4.4.3. Défauts de courroies | 26 |
| II.4.5. désalignement | 27 |
| II.4.5.1. Désalignement angulaire | 27 |
| II.4.5.2. Désalignement parallèle | 28 |
| II.4.6. Stator et Rotor | 28 |
| II.4.6.1. Stator | 28 |
| II.4.6.1.1. Défauts du stator..... | 29 |
| II.4.6.1.2. Causes des défauts du stator | 29 |
| II.4.6.2. Le Rotor..... | 29 |
| II.4.6.2.1. Défauts du rotor..... | 30 |
| II.4.6.2.2. Causes des défauts du rotor | 30 |
| Conclusion..... | 30 |
| Chapitre III: Outils de traitement du signal dédiés à l'analyse vibratoire | |
| III.1. Introduction | 31 |
| III.2. L'opération d'échantillonnage | 31 |
| III.3. Méthodes d'analyse..... | 33 |
| III.3.1. Méthodes temporelles (Les valeurs classiques)..... | 34 |
| III.3.1.1. valeur efficace | 34 |
| III.3.1.2. Facteur de crête | 34 |
| III.3.1.3. Kurtosis | 35 |
| III.3.2. Méthodes fréquentielles..... | 35 |
| III.3.2.1. Analyse spectrale | 36 |
| III.3.2.2. Analyse d'enveloppe..... | 38 |
| Conclusion..... | 42 |
| Chapitre V: Simulation avec MATLAB | |
| IV.1 Introduction..... | 43 |
| IV.2. Signal sinusoïdal d'une seule fréquence | 43 |
| IV.3. La somme de plusieurs sinusoïdes | 44 |
| IV.4. Signaux modulés | 45 |
| IV.4.1. Signal modulé en fréquence | 45 |
| IV.4.2. Signal modulé en amplitude | 46 |

| | |
|---|----|
| IV.4.3 Signal modulé en amplitude et en fréquence..... | 47 |
| IV.5. Simulation signal de roulement..... | 48 |
| IV.5.1. Analyse spectrale et analyse d'enveloppe (Roulement)..... | 49 |
| Conclusion..... | 49 |
| Chapitre V: Diagnostic du groupe électropompe | |
| V.1 Introduction | 50 |
| V.2. Description d'une pompe centrifuge simple | 51 |
| V.2.1. Composition de l'ensemble mobile du rotor | 52 |
| V.2.2. Définition d'une garniture mécanique | 53 |
| V.3. Caractéristiques techniques du moteur | 55 |
| V.4. Moyens utilisés..... | 56 |
| V.5. caractéristiques des produits | 56 |
| V.6. Les points de mesures effectués | 57 |
| V.7. Présentation des signaux vibratoires | 57 |
| V.7.1. calcul des fréquences de défaut | 57 |
| V.7.1.1. Roulement à bille de type 6218..... | 57 |
| V.7.1.2. Roulement à bille de type 7218 | 58 |
| V.7.1.3. Roulement 7312 BEP a contact oblique | 58 |
| V.7.1.4. Défaut de pompe | 59 |
| V.7.2. Etude des spectres..... | 59 |
| V.7.2.1. Moteur..... | 59 |
| V.7.2.2. Pompe..... | 80 |
| V.7.3 Diagnostic et suggestions suggérés au groupe électropompe | 90 |
| Conclusion..... | 91 |
| Conclusion générale | 92 |
| Bibliographie | |

Liste des tableaux :

| | |
|--|----|
| Tableau II.1. Techniques d'analyse de l'état d'une machine tournante | 16 |
| Tableau II.2. Classification des défauts de machine électrique selon leurs origines | 18 |
| Tableau II.3. Cause des défauts dans les roulements | 19 |
| Tableau III.1. Les différents indicateurs | 33 |
| Tableau III.2. Récapitulatif des indicateurs | 35 |
| Tableau V.1. Caractéristiques techniques de la pompe | 54 |
| Tableau V.2. Caractéristiques techniques du moteur | 55 |
| Tableau V.3. Caractéristiques du pétrole brut | 56 |
| Table V.4. Caractéristiques du condensat | 56 |

Liste des figures :

| | |
|--|-----|
| Figure I.1 Réalisation du 1 ^{er} pipeline (Archives SONATRACH)..... | 31 |
| Figure I.2 Carte du réseau de transport de SONATRACH | 32 |
| Figure I.3 Structure organisationnelle de l'entreprise SONATRACH | 33 |
| Figure I.4 Recherche et exploration de Sonatrach(en amont) | 34 |
| Figure I.5. Raffinage (Activité en aval) | 36 |
| Figure I.6 Transport par canalisation | 36 |
| Figure I.7 Commercialisation par voie maritime | 37 |
| Figure I.8. Organigramme de la D.RG.Béjaia..... | 39 |
| Figure I.9. Direction Régionale de Béjaia | 40 |
| Figure I.10. Organigramme du département maintenance | 41 |
| Figure I.11. Terminal marin de Béjaia | 42 |
| Figure I.12.Manifold au niveau du terminal nord Bejaia | 42 |
| Figure I.13. Tour de contrôle..... | 42 |
| Figure I.14.Racleur de nettoyage | 42 |
| Figure I.15 Carte de transport par oléoduc (Archives SONATRACH) | 33 |
| Figure II.1Dégredation du bien et durée de vie | 34 |
| Figure II.2 le pourcentage de défauts | 36 |
| Figure II.3 Structure d'un roulement a billes..... | 36 |
| Figure II.4 Principaux aspects de la détérioration des roulements..... | 37 |
| Figure II.5 Engrenages à axes parallèles (A et B), à axes concourants (C) | 39 |
| Figure II.6Vibration d'un engrenage | 40 |
| Figure II.7 L'usure des engrenages a) usure par interférence b) usure abrasive | 41 |
| Figure II.8Piqûres..... | 42 |
| Figure II.9 Ecaillage des dents | 42 |
| Figure II.10 Grippage a) Froid, b) à Chaud..... | 42 |
| Figure II.11 Transmissions par courroies..... | 42 |
| Figure II.12 Spectres typique de désalignement angulaire | 39 |
| Figure II.13Spectres typique de désalignement parallèle | S40 |
| Figure II.14 Stator en cours de bobinage | 41 |
| Figure II.15 Stator | 42 |
| Figure II.16 Machines électriques tournantes | 42 |

| | |
|--|----|
| Figure III.1. L'opération d'échantillonnage | 31 |
| Figure III.2. Le signal d'échantillonnage | 32 |
| Figure III.3. Spectre du signal $d(t)$ | 33 |
| Figure III.4. Représentation des indicateurs temporels | 34 |
| Figure III.5. Spectre d'un Signal sinusoïdal | 36 |
| Figure III.6. Spectre d'un Signal composite | 36 |
| Figure III.7 Allure générale du spectre d'un signal périodique | 37 |
| Figure III.8. Schéma de fonctionnement de la méthode de l'enveloppe. | 39 |
| Figure III.9. Etat de référence – Filtrage autour de 1786Hz | 40 |
| Figure III.10. Défaut BPF1 – Filtrage autour de 1786 Hz | 41 |
| Figure III.11. le signal simulé $s_2(t)$ | 42 |
| Figure III.12. son enveloppe | 42 |
| Figure III.13. son spectre | 42 |
| Figure III.14. spectre de son enveloppe | 42 |
| | |
| Figure IV.1 Le signal sinusoïdal x_1t et son spectre | 45 |
| Figure IV.2. Le signal x_2t , et son spectre..... | 45 |
| Figure IV.3. Signal x_3t modulé en fréquence avec son spectre et son spectre d'enveloppe | 46 |
| Figure IV.4. Signal x_4t modulé en amplitude, son spectre et spectre d'enveloppe | 47 |
| Figure IV.5. Signal x_5t modulé en amplitude et en fréquence ainsi que son spectre, et le spectre d'enveloppe..... | 48 |
| Figure IV.6 signal d'un défaut de roulement simulé avec et sans bruit..... | 49 |
| Figure IV.7. Spectre du signal simulé, avec son Spectre enveloppe..... | 49 |
| Figure V.1. Station de pompage (D.RG.Biskra) | 50 |
| Figure V.2. pompe centrifuge monocellulaire | 51 |
| Figure V.3. Environnement d'une pompe centrifuge en unité..... | 52 |
| Figure V.4. la position d'une garniture d'étanchéité..... | 53 |
| Figure V.5. Principe de fonctionnement d'une garniture mecanique..... | 54 |
| Figure V.6. moteur asynchrone 616/2 (SP2 Biskra) | 55 |
| Figure V.7. Nevada (Scout 100)ET le PC pour la lecture..... | 56 |
| Figure V.8.groupe électropompe..... | 57 |

| | |
|--|----|
| Figure V.9 Fréquences de défaut de la cage (Horizontal) (point2)..... | 59 |
| Figure V.10 Fréquences de défaut de la cage (vertical)(point2)..... | 60 |
| Figure V.11 Fréquences de défaut de la cage(Axial)(point2)..... | 60 |
| Figure V.12 Fréquences de défaut de bille (Horizontal)(point2)..... | 61 |
| Figure V.13 Fréquences de défaut de bille (Axial)(point2)..... | 61 |
| Figure V.14 Fréquences de défaut de bille(Vertical)(point2)..... | 62 |
| Figure V.15 Fréquences de rotation (Horizontal)(point2)..... | 62 |
| Figure V.16. Fréquences de rotation (axial)(point2)..... | 63 |
| Figure V.17. Fréquences de rotation (vertical)(point2)..... | 63 |
| Figure V.18. fréquence de défaut de bague interne (horizontal)(point2)..... | 64 |
| Figure V.19. fréquence de défaut de bague interne(vertical)(point2)..... | 64 |
| Figure V.20. fréquence de défaut de bague interne (axial)(point2)..... | 65 |
| Figure V.21. fréquence de défaut de bagueexterne (horizontal)(point2)..... | 65 |
| Figure V.22 fréquence de défaut de bague externe (axial)(point2)..... | 66 |
| Figure V.23 fréquence de défaut de bague externe (vertical)(point2)..... | 66 |
| Figure V.24 fréquences défauts de billes et cages(point2)..... | 67 |
| Figure V.25 Fréquences de rotation, bague ext,int(point2)..... | 67 |
| Figure V.26 Fréquences de rotation et défaut de bille(point2)..... | 68 |
| Figure V.27 Fréquences de défaut cage (axial) (point 1)..... | 69 |
| Figure V.28 Fréquences de cage (vertical) (point 1)..... | 70 |
| Figure V.29 Fréquences de défaut de la cage (horizontal) (point 1)..... | 70 |
| Figure V.30 Fréquences de défaut de bille (Axial) (point 1)..... | 71 |
| Figure V.31 Fréquences de défaut de bille (vertival) (point 1)..... | 71 |
| Figure V.32 Fréquences de défaut de bille (horizontal) (point 1)..... | 72 |
| Figure V.33 Fréquences de rotation(axial) (point 1)..... | 72 |
| Figure V.34 Fréquences de rotation (vertical) (point 1)..... | 73 |
| Figure V.35. Fréquences de rotation (horizontal) (point 1)..... | 73 |
| Figure V.36. Fréquences dedéfaut de bague interne (axial) (point 1)..... | 74 |
| Figure V.37. fréquence de défaut de bague interne (vertical) (point 1)..... | 74 |
| Figure V.38. fréquence de défaut de bague interne (horizonta) (point 1)..... | 75 |
| Figure V.39. fréquence de défaut de bague externe(axial) (point 1)..... | 75 |

| | |
|--|----|
| Figure V.40. fréquence de défaut de bague externe (vertical) (point 1) | 76 |
| Figure V.41 fréquence de défaut de bague externe (horizontal) (point 1) | 76 |
| Figure V.42 fréquence de rotation, bague interne(point 1) | 77 |
| Figure V.43 fréquences de rotation et de défauts de billes , bagues internes, externes | 77 |
| Figure V.44 Fréquences de rotation,défaut de billes et bagues externes(point 1) | 78 |
| Figure V.45 Fréquences de rotation , billes, bague externe(point 1) | 78 |
| Figure V.46 Fréquences de défaut de la cage (axial) (point 4)..... | 80 |
| Figure V.47 Fréquences de défaut de la cage (vertical) (point 4) | 80 |
| Figure V.48 Fréquences de défaut de la cage(horizontal) (point 4) | 81 |
| Figure V.49 Fréquences de défaut de bille (axial) (point 4)..... | 81 |
| Figure V.50 Fréquences de défaut de bille (vertical) (point 4) | 82 |
| Figure V.51 Fréquences de défaut de bille (horizontal) (point 4) | 82 |
| Figure V.52 Fréquences de rotation (axial) (point 4) | 83 |
| Figure V.53. Fréquences de rotation (horizontal) (point 4)..... | 83 |
| Figure V.54. Fréquences de rotation (vertical) (point 4)..... | 84 |
| Figure V.55. fréquence de défaut de bague interne (axial) (point 4) | 84 |
| Figure V.56. fréquence de défaut de bague interne (vertical) (point 4) | 85 |
| Figure V.57. fréquence de défaut de bague interne (horizontal) (point 4) | 85 |
| Figure V.58. fréquence de défaut de bague externe (horizontal) (point 4) | 86 |
| Figure V.59 fréquence de défaut de bague externe (axial) (point 4)..... | 86 |
| Figure V.60 fréquence de défaut de bague externe (vertical) (point 4)..... | 87 |
| Figure V.61 fréquences défauts de billes ,pompe, bague externe et interne | 87 |
| Figure V.62 Fréquences de défaut de pompe, externe, interne, billes | 88 |
| Figure V.63 Fréquences de rotation et défaut de pompe(point 4)..... | 89 |
| Figure V.64 Fréquences de rotation, pompe (axial) (point 3) | 89 |
| Figure V.65 Fréquences de rotation , pompe(horizontal) (point 3)..... | 90 |

Introduction Générale

Le diagnostic des machines s'est fortement développé dans le monde industriel car la volonté d'obtenir une chaîne de production de plus en plus sûre devient, pour certaines applications, indispensable. Les chaînes de production doivent être dotées de systèmes de protection fiables car une quelconque défaillance, même la plus anodine, peut mener à un dommage matériel ou corporel inévitable entraînant, en conséquence, un coût de réparation non négligeable pour l'entreprise, et vu le rôle que jouent les machines tournantes, elles font désormais partie de ces équipements que l'on ne peut se permettre d'immobiliser à tout moment.

Pour prévenir les défaillances ; La surveillance des machines tournantes est aujourd'hui un point essentiel de la fiabilité et de la sûreté de fonctionnement. Les aspects diagnostic et détection de défaut des organes mécaniques en font partie intégrante et requièrent la mise au point de techniques de mesure, d'acquisition, d'analyse et d'aide à la décision. Le succès de ces techniques passe nécessairement par une bonne connaissance de la machine ainsi que de son comportement en présence d'un défaut interne.

C'est dans ce contexte que s'inscrit notre travail, qui porte sur la détection des défaillances par analyse vibratoire des machines tournantes ; Il est réparti en cinq chapitres :

Dans le premier chapitre nous présenterons l'entreprise SONATRACH d'une manière générale, ensuite nous ferons une présentation du département maintenance.

Le deuxième chapitre englobera les différents types de défaillances auxquelles font face les machines tournantes tout en expliquant brièvement les sources d'informations dont on a besoin pour l'analyse vibratoire et plus particulièrement les vibrations qui nous intéressent particulièrement dans notre thèse

Le troisième chapitre rappellera les principaux outils de traitement du signal dédiés à l'analyse vibratoire utilisés dans la détection des défauts dans les machines tournantes (Méthodes temporelles et fréquentielles)

Le quatrième chapitre, présentera une étude sur des signaux simulés sur MATLAB qui reflètent le mouvement vibratoire de quelques éléments mécaniques sains ou défectueux ainsi qu'une étude sur le cas d'un signal simulé de roulement défaillant sans et avec bruit, tout en nous intéressant de plus près sur la méthode d'enveloppe qui joue un rôle important dans la détection des défauts.

Pour finir le cinquième chapitre parlera d'une étude de signaux vibratoires réels collectés au niveau d'un groupe électropompe se situant à Biskra (SP2) en collaboration avec la direction générale ceci pour lire et tenter de détecter les défauts sur le groupe.

I.1. Introduction

L'aventure de l'exploration pétrolière en Algérie remonte au dernier quart du 19ème siècle, avec les premières explorations dans le Nord, en 1895, dans la région d'AinZeft, près de Relizane, dans l'Ouest de l'Algérie.

Dans les années 1950, les travaux d'exploration s'étendirent au Sahara avec la découverte de plusieurs gisements de pétrole et de gaz naturel. Ainsi, entre 1953 et 1957 furent découverts les champs d'huile de Edjelah, de Hassi-Messaoud et de Zarzaitine ainsi que les champs de gaz de Hassi-R'mel et de In Amenas.

Depuis, le potentiel en hydrocarbures de l'Algérie, n'a cessé de montrer ses richesses, à travers son développement dans le Sahara, et aujourd'hui dans le Nord, avec les promesses offertes par l'exploration, qui trouve un nouvel élan dans cette région

L'Algérie comporte une surface sédimentaire de plus de 1,5 millions de km², dont l'exploration est loin d'être terminée. La majorité des gisements d'huile et de gaz découverts à ce jour sont situés dans la partie Est de la plate-forme saharienne.

Cependant, afin de pouvoir exporter le précieux liquide en Europe, il était indispensable de construire une canalisation allant de Hassi-Messaoud jusqu'à la côte algérienne.

I.2. Présentation de la SONATRACH

Société Nationale de Transport et de Commercialisation des Hydrocarbures. Créé le 13 décembre 1963, répondait au souci d'une mobilisation des ressources de la rente pétrolière, perçue très tôt comme un élément moteur dans le développement de l'Algérie. Au fil des années, elle est devenue un puissant élément d'intégration nationale et de stabilité économique et sociale, SONATRACH est la plus importante compagnie d'hydrocarbures en Algérie et en Afrique. Elle intervient dans l'exploitation, la production, le transport par canalisation, la transformation et commercialisation des hydrocarbures et de leurs dérivés. Elle se développe dans les activités de génération électrique, d'énergie nouvelles et renouvelables dessalaison d'eau de mer, de recherche et d'exploitation minière. SONATRACH opère en Algérie et dans plusieurs régions du monde, notamment en Afrique (Mali, Tunisie, Niger, Libye, Egypte, Mauritanie), en Europe (Espagne, Italie, Portugal, Grande-Bretagne, France), en Amérique latine (Pérou) et aux Etats-Unis .

L'acheminement des hydrocarbures se fait à partir des sites de HAUD-EL-Hamra et Ain Amenas vers les régions Est, Ouest et Centre du pays .Ainsi ils sont destinés soit à la consommation intérieure, soit à l'exportation ou à la transformation. [1]

Pour une meilleure gestion et maîtrise de ses activités de transport, plusieurs directions régionales ont été créées. Il s'agit de :

- La direction régionale Est (Skikda)
- La direction régionale Centre (Bejaïa)
- La direction régionale Ouest (Arzew)
- La direction régionale de HAOUA-EL-HAMRA
- La direction régionale d'Ain Amenas



Figure I.1. Réalisation du 1^{er} pipeline (Archives SONATRACH)



Figure I.2. Carte du Réseau de transport de SONATRACH

I.2.1. Structure organisationnelle de la SONATRACH

L'activité de SONATRACH s'articule autour de quatre branches principales :

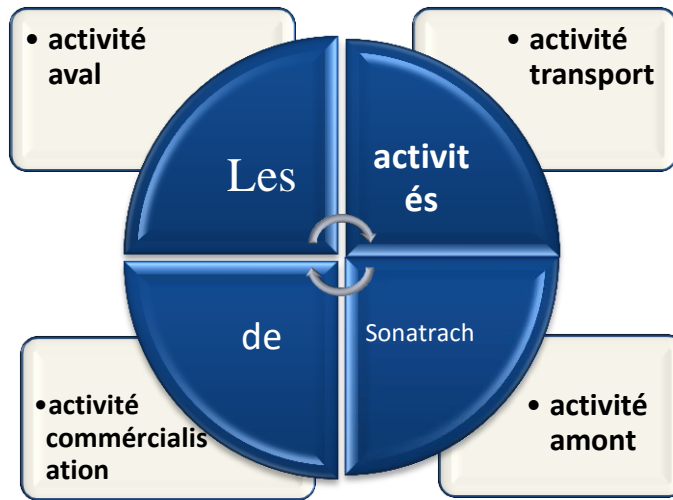


Figure I.3. Structure organisationnelle de l'entreprise SONATRACH

a. Activité Amont

- Exploration.
- Recherches et développement.
- Production.
- Forage.
- Engineering et construction.
- Associations en partenariat.



Figure I.4. Recherche et exploration (en amont)

b. Activité Aval

- Liquéfaction du gaz naturel.
- Raffinage du pétrole.
- Pétrochimie.
- Etudes et développement de nouvelles technologies.



Figure I.5. Raffinage (activité en aval)

c. Transport par canalisations

-Stockage d'hydrocarbures liquides et gazeux en amont et en aval, par canalisation d'hydrocarbures liquides gazeux, depuis les lieux de la production primaire, à travers les réseaux secondaire et principal.

-Le chargement des navires pétroliers.



Figure I.6. Transport par canalisation

d. Activité commercialisation

-Commercialisation sur le marché extérieur.

-Commercialisation sur le marché intérieur.

-Transport maritime des hydrocarbures.

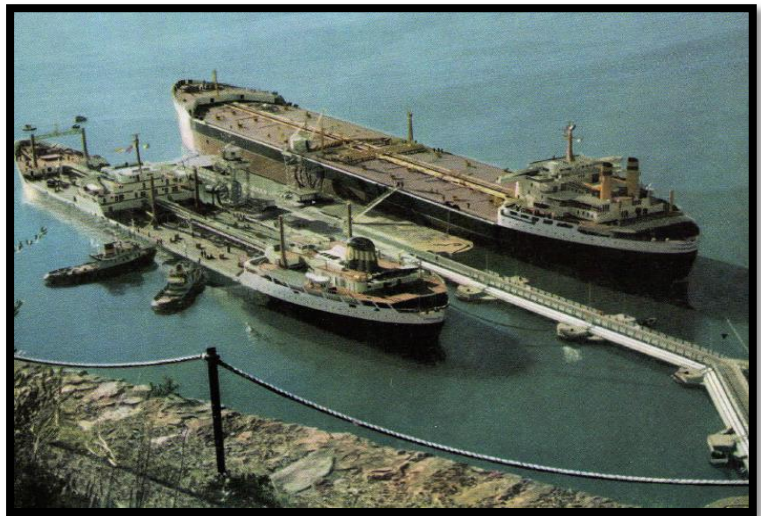


Figure I.7. Commercialisation par voie maritime

1.3. La direction régionale de BEJAIA (DRGB)

Autrefois appelée la SOPEG (société pétrolière de gérance) elle fut créé par une coopération franco-algérienne le 12 mars 1957 ayant pour but l'exécution de tous les travaux nécessaires au transport des hydrocarbures. Dans les années 50, juste après la découverte du gisement de Hassi-Messaoud, deux types de transport d'hydrocarbures étaient employés par les entreprises de cette époque, le réseau de transport qui appartient à la SONATRACH s'étend sur tout le territoire National avec 28 canalisations il relie le Sud au Nord et achemine presque tous les types d'hydrocarbures non raffinés. D'autre part il faut savoir que La direction régionale de Bejaia est l'une des 5 directions régionales de la SONATRACH, est qu'elle a pour principale tâche le transport, le stockage et la livraison du pétrole brut et le condensa. [1]

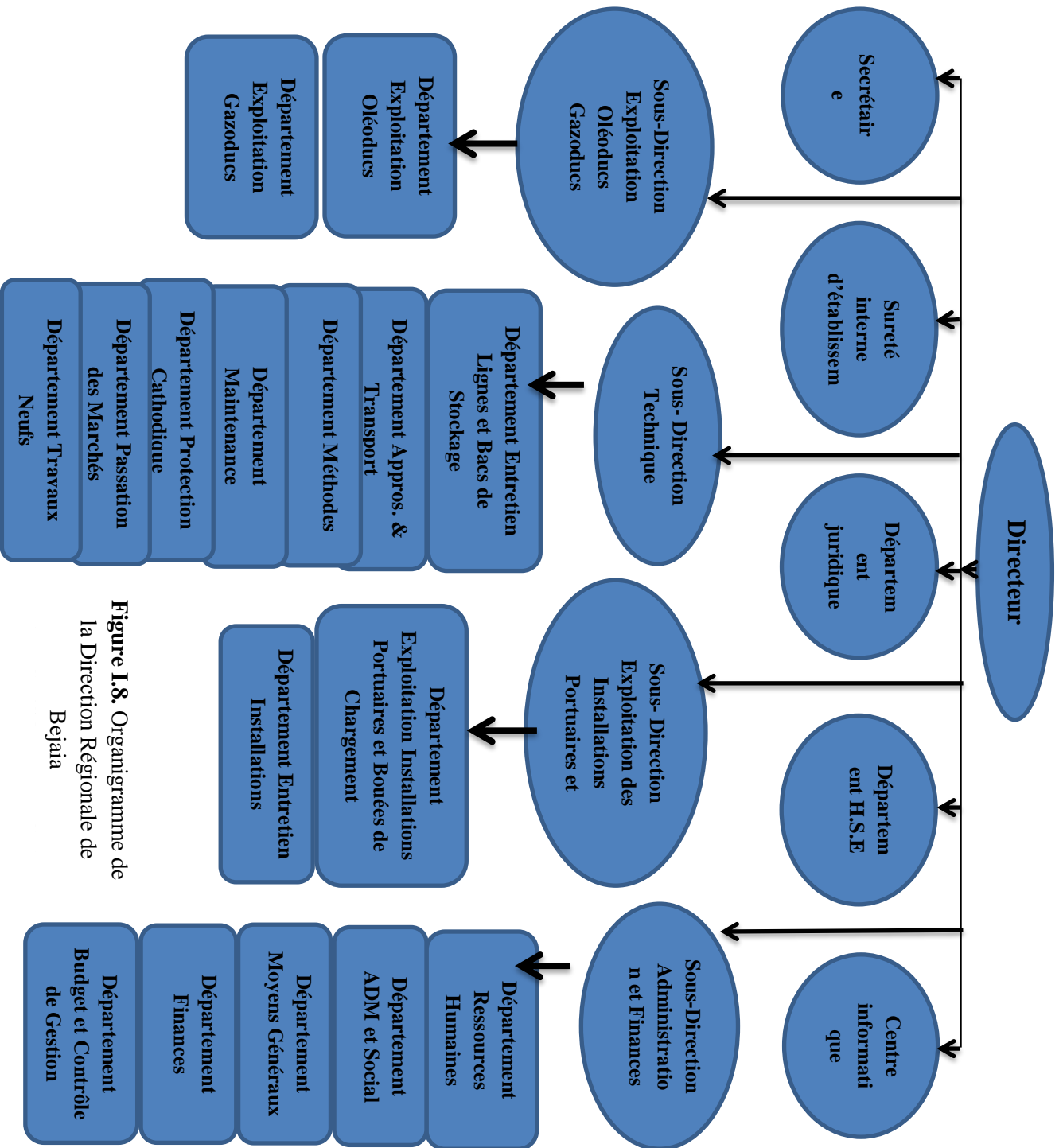


Figure I.8. Organigramme de la Direction Régionale de Bejaia

I.3.1. Situation géographique

Elle est située dans la zone industrielle a deux kilomètres au sud-ouest de la ville de Béjaia d'une superficie de (04) hectares environs, constituée d'une zone de stockage et d'un port pétrolier qui se trouve a (05) kilomètres environs au nord-est de l'entreprise de l'entreprise du parc de stockage.



Figure I.9. Direction régionale de Bejaia

I.3.2. Organisation et activité de l'entreprise

Elle a un organisme important qui se compose de plusieurs structures dirigeantes, à savoir des sous directions : département et services qui permettent de mener à bien sa mission et ses activités.

L'exploitation et l'activité principale de la DRGB en assurant la maintenance rigoureuse et la surveillance vigilante des ouvrages qui se traduit par :

- L'entretien des installations et parc de stockage
- Assurer les coordinations des moyens humains et matériels pour un fonctionnement continu.
- Assurer l'approvisionnement en brut pour la raffinerie d'Alger.
- Assurer le chargement des navires pétroliers à partir du port.

L'entreprise doit toutefois consacrer une vigilance importante pour éviter autant que possible le stockage insuffisant pour ne pas faire attendre les pétroliers ravitailleurs. L'enlèvement non régulier du brut qui peut handicaper les moyens de stockage [1]

I.3.3. Département maintenance : Chargé de l'entretien de la ligne et s'occupe de toutes les opérations de maintenance, il est constitué de cinq services :

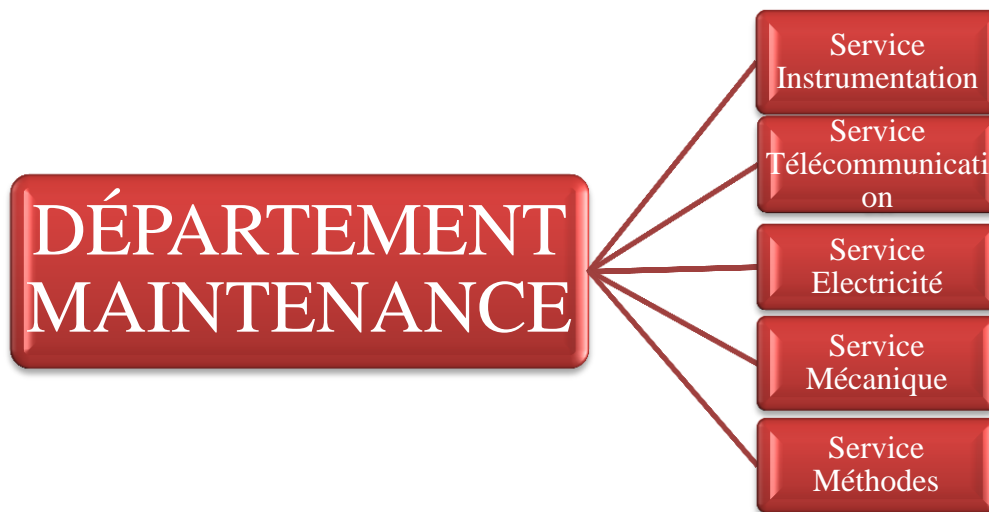


Figure I.10. Organigramme du département maintenance.

- Service électricité : il se charge de trois types d'équipements :
 - » équipements industriels (transformateur, moteur,...)
 - » équipements électromécaniques (pompes, moteur Diesel,...)
 - » équipements de conditionnement (climatisation,...)
- Service méthode : c'est un service de coordination avec les autres services, ses fonctions principales sont :
 - » suivi des approvisionnement en matière première (pièces de rechange)
 - » Etablissement du plan de production (révision des machines tournantes)
 - » Elaboration des rapports d'incidents.
 - » Analyse des dossiers techniques et historiques des équipements.
 - » Etablissement des mises à jour des catalogues constituant le dossier équipement.
- Service mécanique : Ce service s'occupe essentiellement de la maintenance des parties mécaniques des équipements principaux des stations de pompage. Il est constitué d'un atelier de réparation, doté de toutes les machines nécessaires pour les révisions, dépannages et modifications.
- Service instrumentation : Ce service s'occupe essentiellement des appareils de mesure.
- Service télécommunication : Ce service s'occupe de trois types d'équipements :
 - » Radio HT fixe, HT mobile.
 - » Réseau téléphonique de 400 lignes extensibles à 1 000 lignes.
 - » Réseau télégraphique.

I.3.4. Terminal Marin de Bejaia (TMB)



Figure I.11. Terminal Marin de Bejaia.

Ce terminal a pour rôle de gérer les Parcs de stockage suivants: le terminal nord, sud, tour de contrôle, port pétrolier de Bejaia et les postes de chargement ; Le terminal marin de Bejaia est l'extrémité de l'itinéraire de la ligne OB1, il est utilisé pour la réception et le stockage de grandes quantités du pétrole brut et du condensat (auparavant) destiné à l'exploitation.

A. Le terminal Nord

On trouve dans ce terminal les éléments suivants :

❖ Parc de stockage :

Il contient 12 bacs à toit flottant de capacité volumique de 35 000 m³, chaque bac contient une vanne, deux agitateurs.

Un jaugeur (transmetteur de niveau et de température), en plus de ça des bouteilles de halon pour étouffer le feu en cas d'incendie.

Un bac 4Y1 à toit fixe de capacité de 2900 m³ utilisé pour emmagasiner le brut et le condensat en cas de surpression et lors de nettoyage des bacs.

❖ Manifold :

C'est un jeu de vannes de canalisation et d'instrumentations (indicateurs de sens d'écoulements du liquide, indicateurs de pression d'aspirations et de refoulement, filtres).le manifold permet de :

- Envoyer le liquide arrivant par ligne vers un réservoir choisi.
- Vidange d'un bac au plusieurs vers le poste de changement.
- Transvaser le brut d'un bac a un autre.

Le manifold nord comprend des vannes réparties comme suit :

- 08 vannes de transfert de collecteurs (KA, KB, KC, KD, KE, KF, KM, KN).
- 06 vannes de ligne (LA, LB, LC, LD, LE, LF).

- 06 vannes pour chaque pompe de remplissage.

Chaque bec est doté d'une vanne motorisé appelée vanne pied de bac.



Figure I.12. Manifold au niveau du terminal nord Bejaia

❖ Tour de contrôle :

C'est une salle dans laquelle on trouve les tables de commande pour le terminal nord et sud pour commander l'ouverture des vannes et la sélection du bac, la pompe et le chemin de circulation du fluide, en plus de ça la tour a une auteur importante permettant de visualiser l'état des vannes et des bacs.



Figure I.13. Tour de contrôle

❖ La gare de racleur :

C'est un équipement qui est installé à l'extrémité d'un pipeline et qui permet d'introduire et de réceptionner des racleurs. Chaque station de pompage possède une gare de racleur d'arrivée et une de départ.

Les pipelines sont nettoyés à intervalles prévus ou lorsque cela est nécessaire pour maintenir le débit en réduisant les frottements et en conservant un diamètre intérieur aussi grand que possible. Le racleur est introduit dans le pipeline où il est propulsé par le pétrole d'une station de pompage à l'autre. A mesure qu'il avance, il enlève les impuretés, paraffines et autres dépôts accumulés sur les parois. Lorsqu'il atteint une station de pompage, il est récupéré, nettoyé et réintroduit dans la conduite jusqu'à la station suivante.

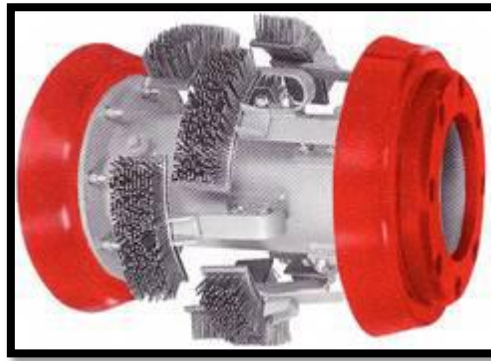


Figure I.14. Racleur de nettoyage

B. Le terminal Sud

On trouve dans ce terminal les éléments suivants :

❖ Parc de stockage :

Il contient 4 bacs à toits flottants de capacité volumique de 50 000 m³, chaque bac contient une vanne, deux agitateurs, un jaugeur (transmetteur de niveau et de température), en plus de ça des bouteilles de halon pour étouffer le feu en cas d'incendie.

❖ Salle électrique :

Elle est divisée en trois chambres, haute tension, moyenne et basse tension. On trouve dans la chambre de haute tension, les deux arrivées de sonal gaz sont connectées à deux disjoncteurs principaux redondants, un disjoncteur en amont et en aval de chaque transformateur de tension 30kv/5.5kv. Dans la chambre de moyenne tension, on trouve deux transformateurs 5.5kv/380v redondant, un transformateur 380v/380v pour extraire le neutre du secondaire, un disjoncteur en amont et en aval de chaque transformateur et des petits disjoncteurs pour l'alimentation des moteurs et des pompes. Dans la chambre de basse tension, on trouve des batteries rechargeables, des redresseurs de tension, des chargeurs de batterie et des armoires contenant les automates Allen Bradley et siemens S7 300, S7 400 et un ordinateur pour la supervision des installations qui sont connectées directement avec l'automate S7 400 par un câble Ethernet. Dans ces chambres on trouve des capteurs de fumée et des bouteilles de Halon pour la sécurité de la salle électrique.

❖ Manifold :

Il contient un ensemble de canalisations, pompes, moteurs, électrovannes, la conduite d'étalonnage et le Skid de comptage .ces pompes aspirent le pétrole ou bien le condensat ensuite refoulent vers les postes de chargement qui se trouvent au port.

I.3.5. Ligne HEH – Bejaia

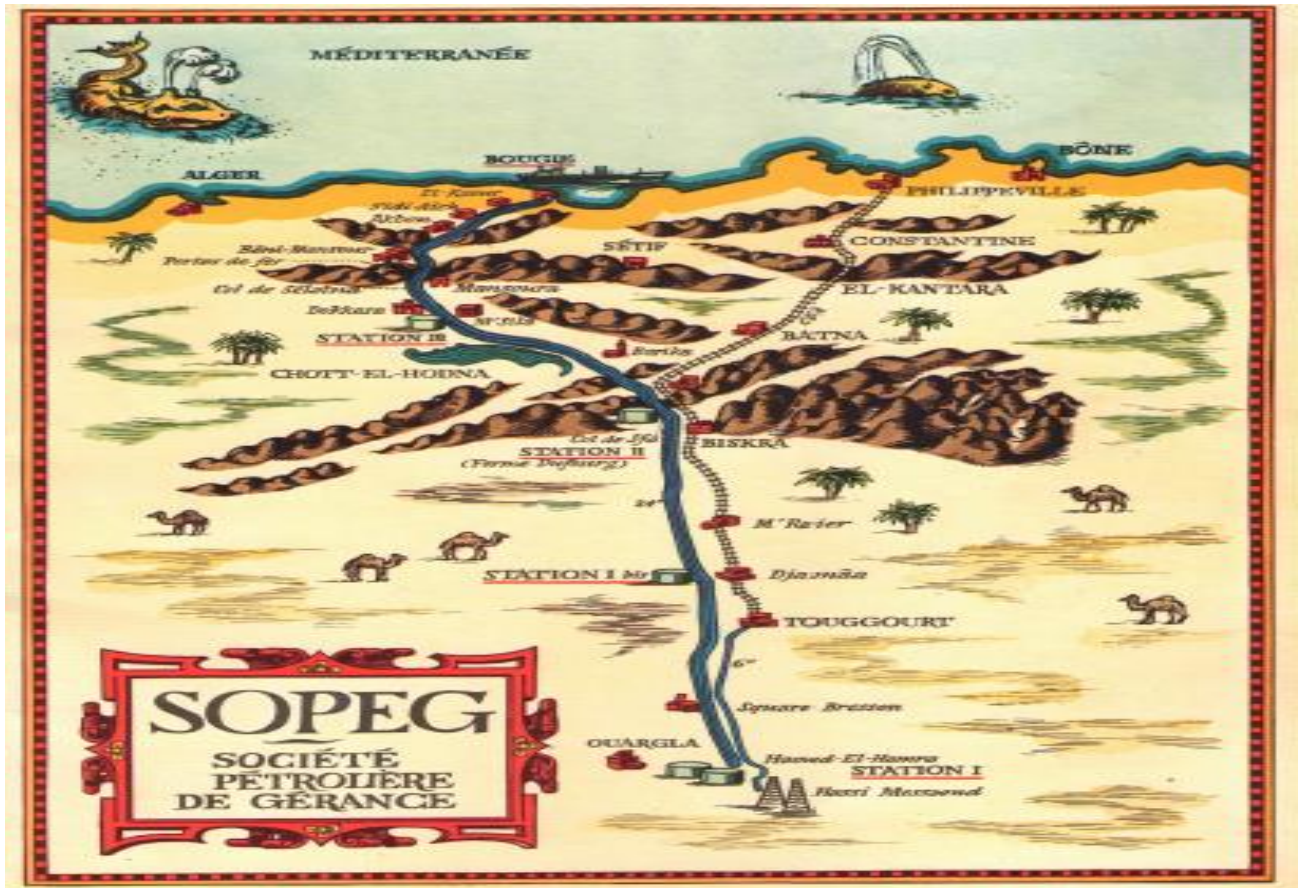


Figure I.15. Carte de transport par oléoduc (Archives Sonatrach)

✓ **Terminal départ SP1 à HEH :**

ALT=150m, PK=0, il a été construit en 1959, équipé de 5 GEP montés en série et de 4 pompes boosters montés en parallèles. Le parc de stockage comprend sept bacs de capacité de 35 000 m³ à toit flottant, le produit contenu dans les bacs arrive vers les boosters par écoulement gravitaire, ces dernières relèvent la pression à une valeur minimale pour éviter le phénomène de gravitation dans les pompes principales. Elle est gérée par la région transport sud (RTS) et ne relève pas de l'exploitation de la DRGB.

✓ **La station SP1 bis à djemââ :**

ALT=83m, PK=189,83 équipée de 2 turbopompes (TPA et TPB) mise en service en 1961, d'une turbine à gaz TPC, mise en service en 1970, un seul de ces groupes est en fonctionnement, les autres servent de réserve, elles n'interviennent que lorsqu'on doit augmenter le débit à plus de 1400 m³/h.

✓ **SP2 bis à Biskra :**

ALT=217.7m, PK=350.48, mise en service en 1960, équipé de 5 GEP. Chaque groupe est composé d'une pompe Guimard entraîné par un moteur (2000 CV 1000 tr/mn) et d'un multiplicateur (GRAFENSTADEN) qui multiplie la vitesse de moteur par 3,6 pour faire tourner la pompe à 3600 tr/mn.

Deux réservoirs de 8750 m³ de capacité unitaire servant de réservoirs tampons et un autre à toit fixe d'une capacité de 2900 m³ et un réservoir de décantation, des électropompes boosting permettant d'éviter tout danger cavitation.

Une centrale électrique permet d'assurer l'alimentation de tous les équipements de la station, et enfin un bassin de 300 m³ anti-incendie.

✓ **Station de pompage de M'SILA :**

Mise en service en novembre 1959, la première station de pompage réalisé, elle a pour but de convaincre le col de Selatna à Bni-Mansour, point à partir duquel le pétrole parvient jusqu'à Bejaia par simple écoulement gravitaire, cette station dispose d'équipements semblables à ceux de SP2 sauf que les GMP sont disposés en parallèles.

Conclusion

Ce stage pratique au sein de la SONATRACH – DRGB, nous a permis d'apprendre plein de notions dans le domaine pétrolier et de la mécanique, les connaissances théoriques acquises en cours étant complétées ici par la mise en pratique de celles-ci dans un milieu réel.

Nous avons eu la chance de côtoyer des ingénieurs et des techniciens expérimentés ayant une très bonne maîtrise dans leurs domaines.

Ce dernier a été très avantageux pour nous en matière de connaissance techniques et de savoir-faire technologique, et nous a permis de confronter le milieu industriel et professionnel.

II.1. Introduction

Le contrôle et le diagnostic sont aujourd'hui d'une importance primordiale dans la plupart des secteurs industriels. Ils consistent à mesurer des signaux physiques sur des machines et des installations industrielles, puis grâce à leur analyse, il s'agit de délivrer un diagnostic sur leur état mécanique, un suivi et contrôle est mise en place durant le fonctionnement de celles-ci et la détection de la moindre défaillance ou dysfonctionnement sera signalé immédiatement et de façon précoce. Cette démarche permet de garantir et d'assurer la sécurité des biens et des personnes, de respecter les contraintes d'environnement (normes,...), d'optimiser les opérations de maintenance en pratiquant la maintenance conditionnelle ou prédictive en prenant compte des différents paramètres tels que les vibrations, la température, les déformations et les bruits ; et ainsi assurer la disponibilité des machines. Le contrôle qualité de produits relève également de la même démarche et des méthodes outils d'analyse des signaux.

L'utilisation de ces signaux et vibratoires s'avère pertinente car on peut appréhender les phénomènes dynamiques que l'on rencontre dans les systèmes en fonctionnement (machines tournantes, structures,...). Il est ainsi possible de caractériser la plupart des défauts et mauvais fonctionnements à partir de la connaissance ou de la modélisation physique de ces phénomènes. Cette étape permet de dégager des « symptômes » sur les signaux, symptômes qu'il s'agit de mettre en évidence grâce à des méthodes de traitement des signaux.

Si le phénomène physique utilisé dans la maintenance conditionnelle est les vibrations, cette maintenance la n'est alors possible que si seulement on connaît les symptômes vibratoires associés aux défauts de chaque organe et les images vibratoires liées à la cinématique de la machine. Cette connaissance permet de formuler un diagnostic de l'état de la machine et d'éliminer les éventuels défauts et par conséquent d'augmenter la durée de vie des machines et d'assurer leur régularité de fonctionnement,

Dans ce chapitre, nous allons nous intéresser aux différents types de défaillances pouvant se passer au niveau des machines tournantes et par la suite les sources d'informations (plus particulièrement les vibrations) qui nous permettent de détecter d'éventuelles défaillances grâce aux techniques d'exploitation (analyses temporelle et spectrale).

II.2. Définition des défaillances des machines tournantes NF X 06-501

C'est la cessation de l'aptitude d'un ensemble à accomplir sa ou ses fonctions requises avec les performances définies dans les spécifications techniques. L'ensemble est indisponible suite à la défaillance [2].

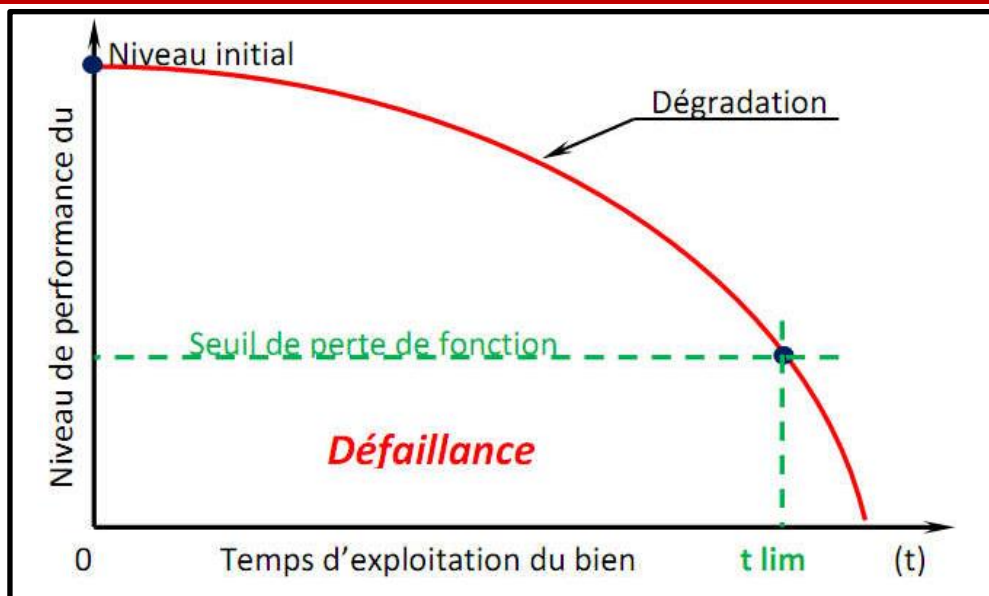


Figure II.1. Dégradation du bien et durée de vie [2]

En fonction de la rapidité de la manifestation

- **Défaillance progressive** : défaillance qui aurait pu être prévue par un examen ou une surveillance.
- **Défaillance soudaine** : défaillance qui n'aurait pas pu être prévue par un examen ou une surveillance.

En fonction du degré d'importance

- **Défaillance partielle** : défaillance résultant de déviations d'une ou des caractéristiques au-delà des limites spécifiées, mais telle qu'elle n'entraîne pas une disparition complète de la fonction requise.
- **Défaillance complète** : défaillance résultant de déviations d'une ou des caractéristiques au-delà des limites spécifiées, telle qu'elle entraîne une disparition complète de la fonction requise.
- **Défaillance intermittente** : défaillance d'un dispositif pour une période de temps limité, après laquelle le dispositif retrouve son aptitude à accomplir la fonction requise sans avoir été soumis à une action corrective extérieure. De telles défaillances sont souvent répétitives.

Par combinaison des concepts précédents

- **Défaillance catalectique** : défaillance à la fois soudaine et complète.
- **Défaillance par dégradation** : défaillance à la fois progressive et partielle. A la longue, de telles défaillances peuvent devenir de défaillances complètes.

En fonction des causes

- **Défaillance due à une faiblesse inhérente** : défaillance attribuable à une faiblesse inhérente au dispositif lui-même lorsque les contraintes ne sont pas au-delà des possibilités données du dispositif (faiblesse due à la conception ou à la réalisation du dispositif).
- **Défaillance due à un mauvais emploi** : défaillance attribuable à l'application de contraintes au-delà des possibilités données du dispositif.

- **Défaillance première** : défaillance d'un dispositif dont la cause directe ou indirecte n'est pas la défaillance d'un autre dispositif.
- **Défaillance seconde** : défaillance d'un dispositif dont la cause directe ou indirecte est la défaillance d'un autre dispositif.

Toutes les machines en fonctionnement produisent des vibrations, images des efforts dynamiques engendrent par les pièces en mouvement. Ainsi, une machine neuve en excellent état de fonctionnement produit très peu de vibration. La détérioration du fonctionnement conduit le plus souvent à un accroissement du niveau des vibrations [3].

II.3. les Sources d'informations pour détections des défauts

II.3.1. L'analyse vibratoire

C'est est la plus connue et la plus largement utilisée car adaptée aux composants mécaniques et aux machines industrielles en fonctionnement. Elle permet de détecter la majorité des défauts susceptibles d'apparaître dans les machines tournantes [4]

II.3.2. L'analyse d'huile

Elle est appliquée à toutes les machines contenant des fluides de lubrification (réducteurs, motoréducteurs, moteurs thermiques...). Elle consiste à prélever un échantillon d'huile et de l'analyser (particules d'usure) pour déduire l'état de l'équipement ; Les résultats permettent de déceler des anomalies caractéristiques telles que [5] :

- Sur moteur thermique : problèmes d'étanchéité de la filtration d'air, infiltration de liquide de refroidissement ...
- Sur multiplicateurs, réducteurs et engrenages : mauvais état d'un roulement ou d'un palier, Transmission défectueuse (engrenages endommagés) ...
- Sur les systèmes hydrauliques : pollution interne telle que la cavitation, défaut d'étanchéité, défaut de filtration.

II.3.3. La thermographie infrarouge

Elle suscite un intérêt encore récent dans le domaine de la maintenance jusqu'alors réservée au contrôle d'installations électriques. Elle est peu utilisée pour la surveillance des machines tournantes notamment pour la détection de défauts qui se manifestent par un échauffement anormal à la surface de l'équipement. La thermographie permet de réaliser des mesures à distances et d'obtenir instantanément une image thermique de la zone inspectée [3].

II.3.4. L'analyse acoustique

Elle permet de détecter tout bruit anormal à l'aide de microphones placés à distance de l'équipement [4].

II.3.5. Le contrôle par ultrasons

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

| | Principaux avantages | Principales limitations | Champ d'applications privilégié |
|--------------------|---|--|---|
| Analyse vibratoire | <ul style="list-style-type: none"> -Détection de défauts à un stade précoce. -Possibilité de réaliser un Diagnostic approfondi. -Autorise une surveillance continue. <ul style="list-style-type: none"> - Permet de surveiller l'équipement à distance (télémaintenance) | <ul style="list-style-type: none"> -Spectres parfois difficiles à interpréter - Dans le cas de la surveillance continue, installations relativement coûteuses | Détection des défauts de tous les organes cinématiques de la machine (balourd, défauts d'alignement, jeux, etc.) et de sa structure |
| Analyse D'huile | <ul style="list-style-type: none"> - Détection d'une pollution anormale du lubrifiant, avant que celle-ci n'entraîne une usure ou un échauffement. - Possibilité de connaître l'origine de l'anomalie par analyse des particules | <ul style="list-style-type: none"> - Ne permet pas de localiser précisément le défaut. - Nécessite de prendre de nombreuses précautions dans le prélèvement de l'échantillon | Contrôle des propriétés physico-chimiques du lubrifiant, détection d'un manque de lubrification, analyse des éléments d'usure. |
| Thermographie IR | <ul style="list-style-type: none"> - Permet de réaliser un contrôle rapide de l'installation. - Interprétation souvent immédiate des résultats. | <ul style="list-style-type: none"> - Détection de défauts à un stade moins précoce que l'analyse vibratoire. - Contrôle limité à ce que "voit" la caméra (échauffements de surface). | Détection de tous les défauts engendrant un échauffement (manque de lubrification en particulier). |
| Analyse acoustique | <ul style="list-style-type: none"> - Permet de détecter l'apparition de défauts audibles. - Autorise une surveillance continue. | <ul style="list-style-type: none"> - Sensibilité au bruit ambiant. - Diagnostic souvent difficile à réaliser. -problème de mesure | Détection d'un bruit inhabituel pouvant ensuite être analysé par analyse vibratoire. |

Tableau II.1. Techniques d'analyse de l'état d'une machine tournante [6]

Une machine se compose d'un ensemble de mécanismes et d'organes combinés destinés à transformer une énergie ou à transmettre un mouvement. Ces mécanismes, mobiles entre eux, ne peuvent fonctionner sans jeux, contraintes, efforts dynamiques et chocs dont les effets se

manifestent principalement sous forme de vibrations et de bruits. Tout changement dans l'importance de ces jeux, de ces contraintes, efforts ou chocs, se traduit inmanquablement par une modification de l'intensité ou des fréquences de ces vibrations. Or, cette modification de comportement vibratoire constitue souvent la première manifestation physique d'une anomalie affectant la machine, cause potentielle à terme de dégradations, voire de pannes.

Cette particularité fait de l'analyse des vibrations un outil d'investigation indispensable à l'assise d'une maintenance moderne. Cet outil occupe une place privilégiée parmi les techniques de surveillance. Il permet, par la génération d'alarmes plus ou moins précoces, de signaler la présence d'un dysfonctionnement, de dépister l'apparition d'une dégradation et d'en suivre la progression, d'éviter une casse ou une dérive de la qualité du produit fabriqué, tout en permettant une action corrective programmée à bon escient au regard des impératifs de production [7].

Dans le prochain paragraphe sont présentés différents défauts des machines tournantes, leurs origines et leur classification.

II.4. Défauts des machines tournantes

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

Les défauts peuvent être classés selon leurs origines en deux catégories : interne et externe. Les défauts internes sont provoqués par les constituants de la machine (bobinages du stator et du rotor, circuits magnétiques, cage rotorique, entrefer mécanique, etc.). Les défauts externes sont causés par le type d'alimentation, la charge mécanique ainsi que par l'environnement d'utilisation de la machine [8].

Une classification des défauts qui existent dans les machines électriques selon leurs origines est présentée dans le Tableau I.

| | | | |
|--|-------------------|---|---|
| Défaillances des machines électriques | Interne | Mécanique | Contact entre le stator et rotor |
| | | | Défaut de roulements |
| | | | Excentricité |
| | | | Mouvement des enroulements et des tôles |
| | Électrique | Défaillance au niveau de l'isolation | |
| | | Rupture de barre | |
| | | Défaillance au niveau du circuit magnétique | |

| | | | |
|--|---------|------------------|------------------------------------|
| | Externe | Mécanique | Charge oscillante |
| | | | Surcharge de la machine |
| | | | Défaut de montage |
| | | Environnementale | Humidité |
| | | | Température |
| | | | Propreté |
| | | Électrique | Fluctuation de la tension |
| | | | Sources de tensions déséquilibrées |
| | | | Réseau bruité |

Tableau II.2. Classification des défauts de machine électrique selon leurs origines [8]

Statistiquement, les études récentes faites par Bonnett sur les machines asynchrones de grande puissance, exploitées dans l'industrie pétrochimique, montre que 69 % de pannes se situent sur les roulements, 21% au stator, 7% au rotor et 3% dans les autres régions de la machine (voir Figure 2) [9].

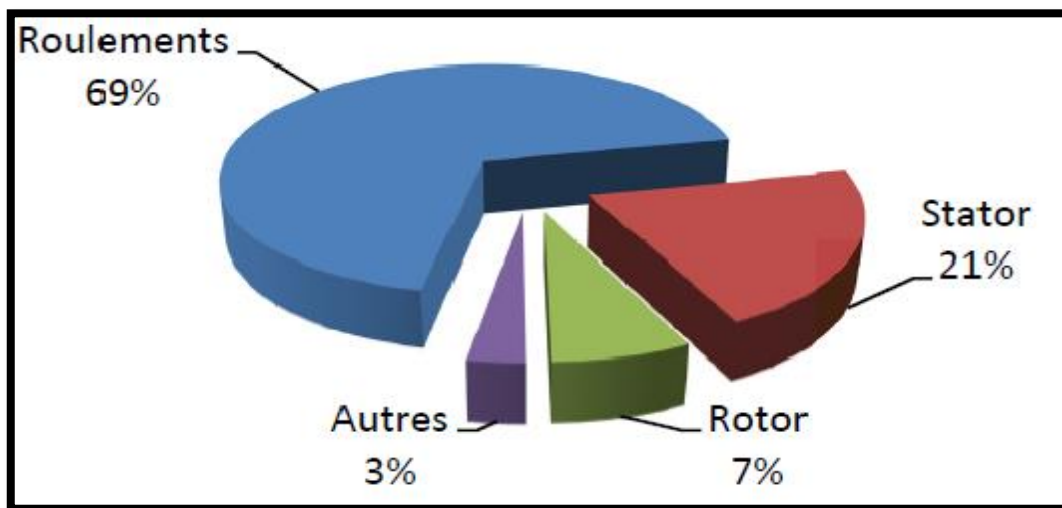


Figure II.2. Le pourcentage des défauts [9]

II.4.1. Les roulements

Le roulement est un organe de base qui assure une liaison mobile entre deux éléments d'un mécanisme en rotation l'un par rapport à l'autre. Sa fonction est de permettre la rotation relative de ces éléments, sous charge, avec précision et avec un frottement minimal. La majorité des machines électriques utilisent les roulements à billes ou à rouleaux.

Environ 60 % à 70 % des défauts rencontrés dans les machines sont liés aux roulements. Le roulement est composé des éléments suivants :

- deux bagues concentriques en acier, appelés bague intérieure et bague extérieure,

Comportant des chemins de roulement (surfaces sur lesquelles "roulent" les corps Roulants).

- des corps roulants, billes ou rouleaux généralement en acier, permettant le mouvement des deux bagues avec un frottement minimal.

- une cage séparant et guidant les corps roulants (en polyamide, tôle acier, laiton ou Résine).

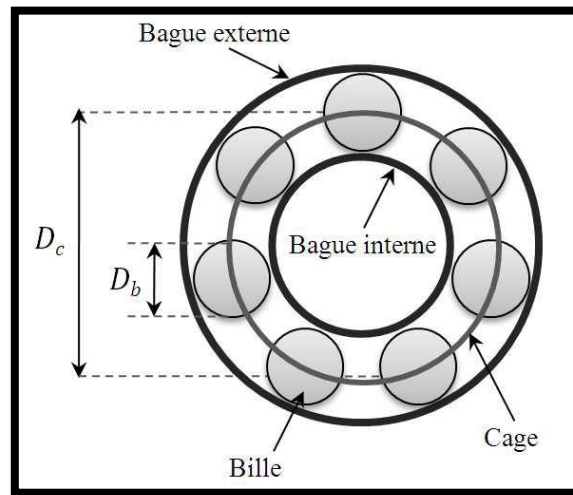


Figure II.3. Structure d'un roulement à billes

D_c : diamètre de la cage (entre les centres de deux billes opposées),

D_b : diamètre d'une bille,

β : angle de contact de la bille avec les bagues,

N_b : nombre de billes.

En effet les roulements sont les éléments les plus importants des machines tournantes. Souvent, ils sont soumis à des excitations qui provoquent dans la majorité des cas des défauts causés par une défaillance partielle ou totale de la machine dont les conséquences sont catastrophiques. Selon des statistiques [5], dans 90% des cas les causes sont à chercher dans des éléments extérieurs qu'on peut d'ailleurs résumer dans le tableau II.3 suivant

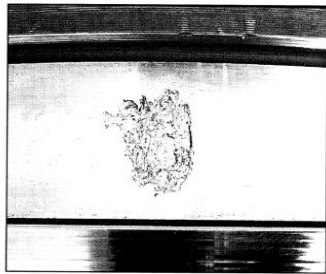
| Cause du défaut | % |
|--|-----|
| Lubrification inadaptée (choix des lubrifiants, quantité, fréquence de lubrification, ...etc.) | 70% |
| Pollution (poussière, détergents, liquides, ...etc.) | 18% |
| Montage incorrect (brutal, jeu, désalignement, échauffement excessif, ...etc.) | 10% |
| Fatigue (charge, contraintes) | 2% |

Tableau II.3. Cause des défauts dans les roulements

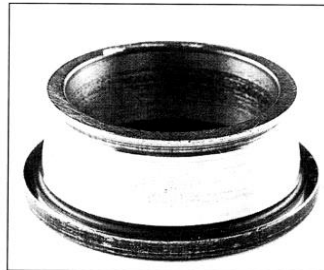
Il y a onze aspects des principales détériorations des roulements. Pour chaque défaut cité, nous présentons sur la figure (4) une photo correspondante [10] :

- 1. Ecaillage de fatigue** : Présent sous forme de fissuration et enlèvement défragmente de matière.
- 2. Ecaillage superficiel** : Taches en surface provenant d'arrachement superficiel de métal.
- 3. Grippage** : Echauffement violent, déformation des corps roulants, laminage du métal.
- 4. Empreintes par déformation** : Empreintes sur les pistes et les corps roulants.
- 5. Faux effet Brinell** : Enlèvement de matière par abrasion au niveau des points de contact internes du roulement.
- 6. Usure** : Usure généralisée des corps roulants, des pistes et des cages, teinte grise.
- 7. Cratères et cannelures** : Piqûres à bord net ou succession de plages étroites parallèles, liées à un passage de courant électrique.
- 8. Coups, fissures, cassures** : Chocs violents, enlèvement de matière en surface, fissures, rupture des bagues.
- 9. Corrosion de contact** : Coloration rouge ou noire sur les surfaces d'appui du roulement, dans l'alésage et sur le diamètre extérieur.
- 10. Corrosion** : Oxydation localisée ou généralisée, à l'extérieur ou à l'intérieur du roulement.
- 11. Déterioration des cages**

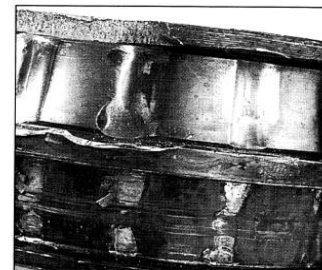
Déformation, usure, rupture. Des statistiques plus précises montrent que 90% des défauts de roulements sont dus soit à la bague extérieure ou intérieure, rarement la cage et la bille. En effet les deux pistes subissent les effets dus à la transmission de charge par les éléments roulants ce qui les rend plus sujettes à la dégradation.



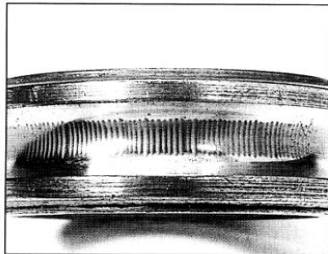
1 Ecaillage de fatigue



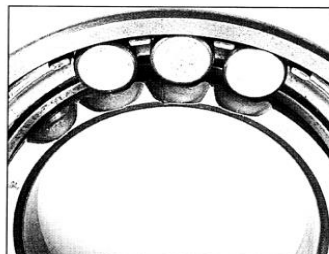
2 Ecaillage superficiel



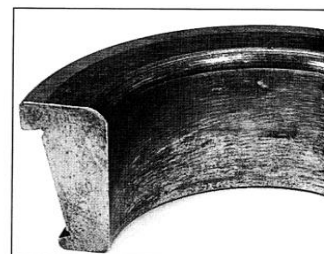
3 Grippage



7 Cratères et cannelures



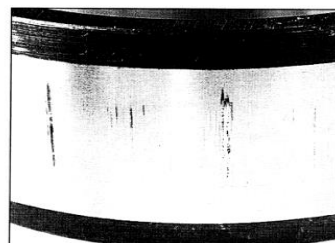
8 Coups, fissures, cassures



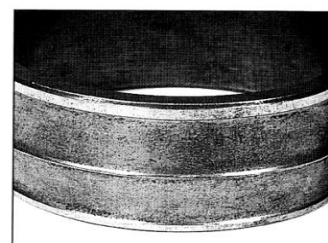
9 Corrosion de contact



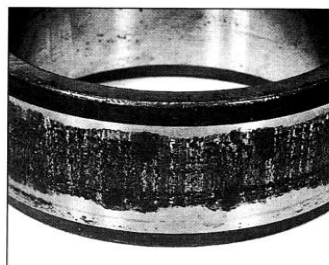
4 Empreintes par déformation



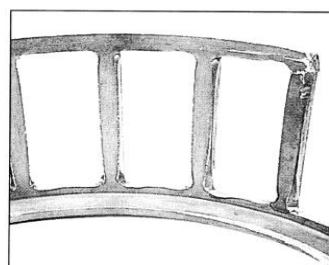
5 Faux effet BRINELL



6 Usure



10 Corrosion



11 Détérioration des cages

Figure II.4. Principaux aspects de la détérioration des roulements

II.4.2. Défauts des paliers à film d'huile (Paliers lisses)

II.4.2.1. Définition

Dans ces paliers, les surfaces en regard des pièces en mouvement relatif sont séparées par un film d'huile. Dans ce type de palier, il existe des [11]:

- **Paliers hydrodynamiques:** le film d'huile est généré par le mouvement de l'arbre.
- **Paliers hydrostatiques:** le film d'huile est produit par une pompe.

II.4.2.2. Caractéristiques

- Réduction du coefficient de frottement et fonctionnement sans lubrification.
- Fonctionnement silencieux et adaptés à de grandes couples de transmission.
- Résistant à l'usure même sous des charges élevées
- Capacité de charge inversement proportionnelle à la vitesse.
- Compact de structure simple donc bas prix de revient
- Paliers adaptés aux petites vitesses et aux charges lourdes
- Résistant à l'usure même sous des charges élevées

II.4.2.3. Avantages des paliers lisses

- Augmentation de la durée de vie des pièces
- Silencieux (séparation des deux pièces par le film d'huile)
- Insensibles aux poussières (ne nécessitent pas d'étanchéité)
- Grande vitesse de rotation.
- Insensibles aux chocs et aux vibrations à cause de leurs grandes surfaces.
- Amortissant lubrifiées (absorptions des chocs et des vibrations)

II.4.2.4. Inconvénients des paliers lisses

- Surveillance plus poussée et un contrôle efficace de la lubrification
- Consommation élevée d'huile pour la lubrification
- Grand moment résistant au démarrage (contact métal –métal)
- Rendement faible (perte par frottement).

II.4.3. L'engrenage

II.4.3.1. Définition

Un engrenage est un mécanisme composé de deux roues dentées mobiles autour d'axes de position fixe et dont l'une entraîne l'autre par l'action de dents successivement en contact et on dit que les deux roues sont conjuguées [11].

La petite roue se nomme le pignon, la grande roue extérieure s'appelle la roue, la grande roue intérieure s'appelle la couronne. L'une des roues peut avoir un rayon infini, elle s'appelle alors une crémaillère.

Selon les positionnements relatifs des arbres, trois classes majeures d'engrenages peuvent être distinguées :

- Les engrenages à axes parallèles.
- Les engrenages à axes concourants.
- Les engrenages à axes quelconques.

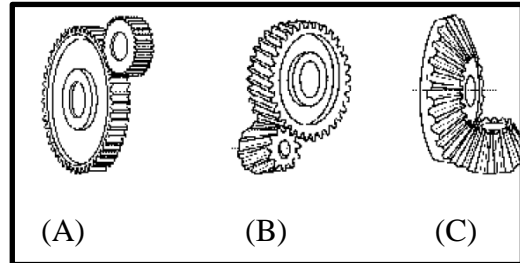


Figure II.5. Engrenages à axes parallèles (A et B), à axe concourant (C)

II.4.3.2. Défauts des engrenages

Nous pouvons utiliser les engrenages pour transmettre le mouvement et la puissance mécanique entre deux arbres parallèles ou non parallèles, concourants ou non concourants et perpendiculaires ou non perpendiculaires [12,13]. Les engrenages peuvent avoir diverses utilités comme la réduction (ou la variation) de vitesse de rotation entre deux arbres avec une réduction (ou augmentation) du couple moteur. Mais les engrenages constituent la principale source de vibrations dans une boîte saine. Les sources d'excitation proviennent principalement de l'impact entre les dents des deux roues lorsqu'elles engrènent et de la variation de la rigidité de la denture due au déplacement du point de tangence entre les profils des deux dents [14].

II.4.3.3. Les Différents types de défauts des dentures d'engrenages

A. Défauts de fabrication

A.1. Défauts de taillage

- Conception de la machine.
- Etat de la machine.
- Exactitude géométrique des outils (outils de forme).
- Conception des montages.

A.2. Erreur de pas (p)

L'erreur de pas caractérise, dans le plan apparent de l'engrenage, le défaut de localisation angulaire d'une dent par rapport à sa position théorique. Deux grandeurs représentatives de la qualité de réalisation d'un engrenage sont associées à cette erreur.

Ces grandeurs sont l'erreur de pas individuelle et l'erreur de pas cumulée [14].

A.3. Erreurs de profil de denture

- Erreur totale de profil.
- Erreur d'inclinaison de profil.
- Erreur d'excentricité du diamètre primitif ou erreur de faux-rond.

B. Défauts de traitement thermique

- **Défauts de rectification**

Une opération de rectification conduite avec une avance ou une profondeur de passe excessive peut entraîner des criques par suite d'échauffement localisé important. Ces criques peuvent constituer des amorfes de rupture, surtout si elles sont localisées vers le pied des dents et dans le sens longitudinal.

C. Défauts de montage

- Défaut d'alignement ou de parallélisme
- Mauvais centrage :

On peut observer une modulation de cet effort si les roues ne sont pas bien centrées, Cette modulation se traduit par l'apparition dans le spectre vibratoire de raies parallèles autour de la fréquence de denture. Les vibrations d'un réducteur ou d'un multiplicateur sont une fonction du couple et des efforts radiaux.

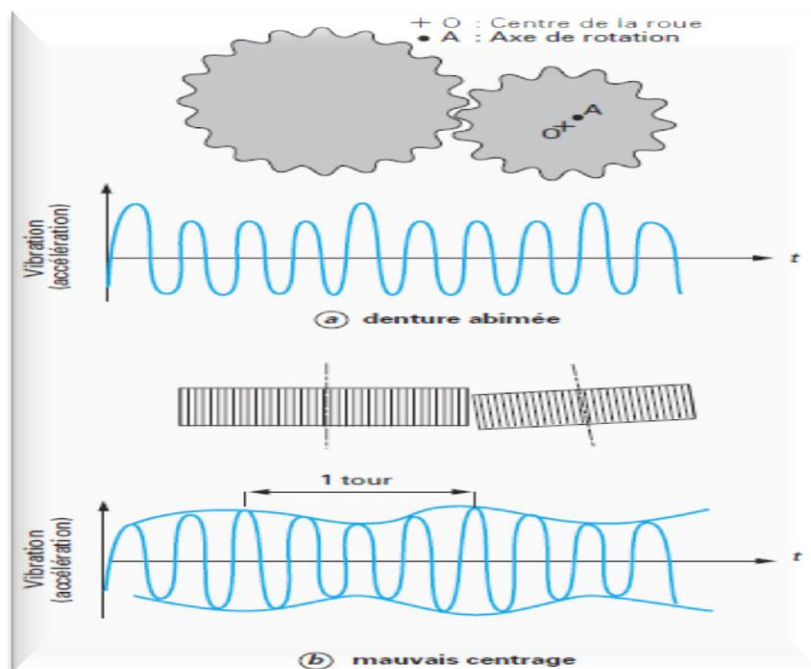


Figure II.6. Vibrations d'un engrenage [15]

D. Défauts de fonctionnement

On distingue principalement deux catégories de défauts. Les défauts affectant toutes les dents et ceux localisés sur des dents particulières [15, 17].

a) Défauts répartis sur toutes les dents

- L'usure

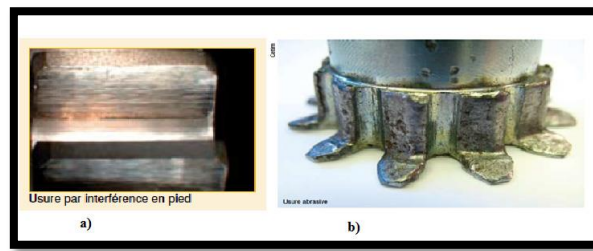


Figure II.7. L'usure des engrenages a) usure par interférence b) usure abrasive [15]

- Les piqûres (Pitting)

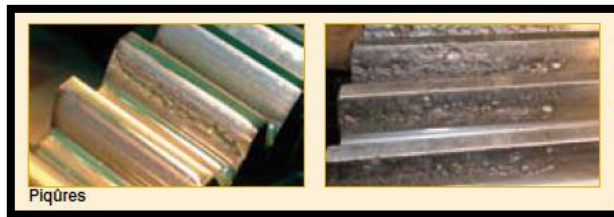


Figure II.8. Piqûres [15]

b) Défauts localisés sur certaines dents

- L'Écaillage



Figure II.9. Ecaillage des dents [15]

- Le grippage



Figure II.10. Grippage a) à froid, b) à chaud [15]

- La fissuration

Elle progresse à chaque mise en charge à partir d'un point initial situé presque toujours au pied de la dent. Elle apparaît surtout sur des aciers fins durcis par traitement thermique. Ces aciers fins sont très sensibles aux concentrations de contraintes. L'apparition de ces fissures est la conséquence d'une contrainte au pied de la dent qui dépasse la limite de fatigue du matériau. Ces fissures sont en général situées du côté de la dent sollicitée en traction.

II.4.4. Les courroies

II.4.4.1. définition

Une courroie est un organe de transmission de puissance d'un arbre à un arbre récepteur. On sait que la transmission peut être également assurée par engrenage ou par chaînes. On choisira la transmission par courroie lorsque les vitesses linéaires seront élevées. Les facteurs d'usure et de bruit intervenant en sa faveur.

II.4.4.2. Fonctionnement des courroies

Les courroies sont des organes de transmission, au même titre que les engrenages ou les chaînes à rouleaux. Leur rôle est de transmettre la puissance d'un organe tournant à un autre, c'est-à-dire le produit d'un effort par une vitesse ou un couple. Le principe de fonctionnement des courroies repose sur deux éléments principaux :

- une surface de contact, dont l'importance est fonction de son coefficient de frottement, permettant de prélever le couple de la poulie motrice, de le transmettre à l'armature de traction et, ensuite, de le restituer aux poulies réceptrices de la transmission,
- une armature, capable de transformer l'effort tangentiel prélevé sur la poulie motrice en un effort longitudinal de traction entre les poulies.

La combinaison de ces deux éléments caractérise l'effort transmissible, celui-ci étant directement lié à l'absence de glissement du premier et à la résistance à la traction du second. C'est pourquoi, actuellement, ces éléments sont le plus souvent constitués, d'une part, d'un élastomère et d'autre part, de fibres synthétiques.

II.4.4.3. Défauts de courroies

Les courroies sont utilisées pour transmettre la puissance entre deux arbres dont la distance n'est pas trop importante. Une courroie, constituée par une bande sans fin passant sur deux poulies, transmet l'énergie grâce à son adhérence sur les poulies.

❖ Les principaux défauts rencontrés sur ce type de transmission sont :

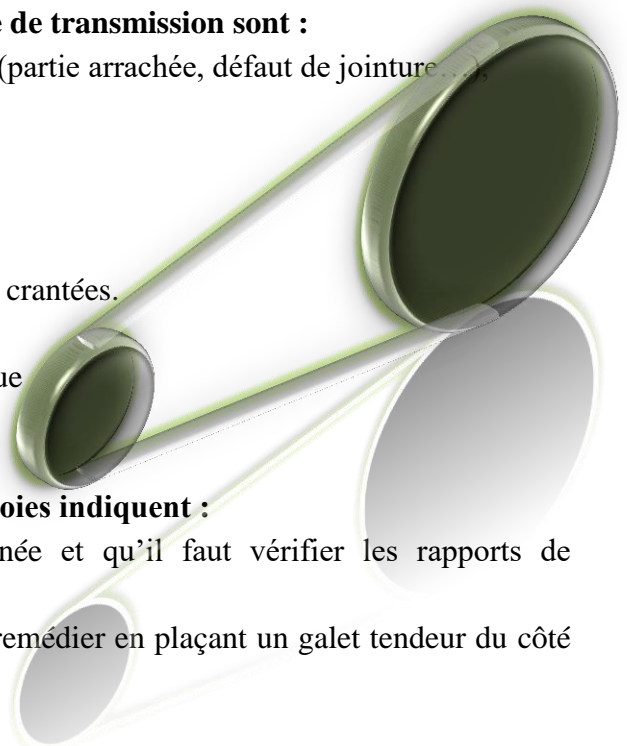
- une détérioration localisée d'une courroie (partie arrachée, défaut de jointure...),
- des courroies détendues,
- des courroies usées,
- un mauvais alignement des poulies,
- une poulie excentrée,
- un défaut de transmission courroie poulies crantées.

❖ Les causes des vibrations :

- Par une transmission insuffisamment tendue
- Par des poulies non équilibrées

❖ Lors de l'installation, les vibrations des courroies indiquent :

- que la transmission est sous-dimensionnée et qu'il faut vérifier les rapports de réduction.
- que l'entraxe est trop large : on pourra y remédier en plaçant un galet tendeur du côté du brin mené.
-



II.4.4.3.1. Fréquences de défaut

Soient N_1 et N_2 sont des vitesses de rotation des roues n° 1 et 2 de la Figure 10

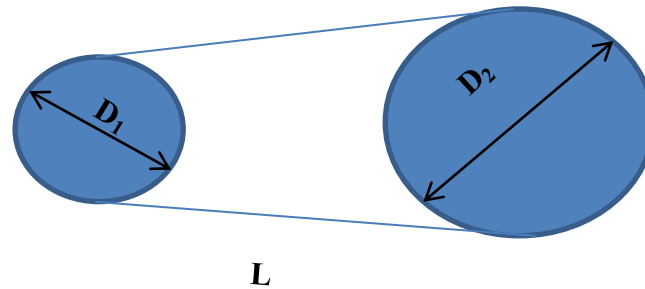


Figure II.11. Transmissions par courroies

Les fréquences caractéristiques des défauts de courroies sont

- Roue n°1 :

$$f_{c1} = f_r \frac{\pi D_1}{l} \quad (1)$$

-Roue n°2 :

$$f_{c2} = f_r \frac{\pi D_2}{l} \quad (2)$$

Où f_r représente la fréquence de rotation de l'arbre.

II.4.4.3.2. Origines du défaut

Les défauts de courroie sont engendrés par la conséquence d'une mauvaise pose, d'une usure ou par le défaut d'alignement des deux poulies. Les statistiques concernant les causes des défaillances et la localisation des défauts dans les machines tournantes permettent de conclure que les organes les plus sensibles sont les engrenages et les roulements [16].

II.4.5. désalignement

Quel que soit le soin apporté à la construction des machines, il n'est pas possible de faire coïncider l'axe de rotation avec le centre de gravité de chaque tranche élémentaire du rotor, ce qui caractérise le balourd. Il en résulte que l'arbre en rotation est soumis à des efforts centrifuges qui le déforment. Ces efforts se traduisent par des vibrations liées à la fréquence de rotation.

Les déséquilibres proviennent en général de défauts d'usinage, d'assemblage des rotors ou de montage. En fonctionnement, les rotors peuvent alors aussi se déformer sous l'effet d'échauffements dissymétriques.

II.4.5.1. Désalignement angulaire

Le désalignement angulaire survient lorsque les axes des arbres se croisent. La vibration est radiale et axiale. Un arbre courbé se comporte de façon identique. Lorsque le désalignement angulaire est critique, l'amplitude de la vibration axiale est supérieure à l'amplitude de la vibration radiale.

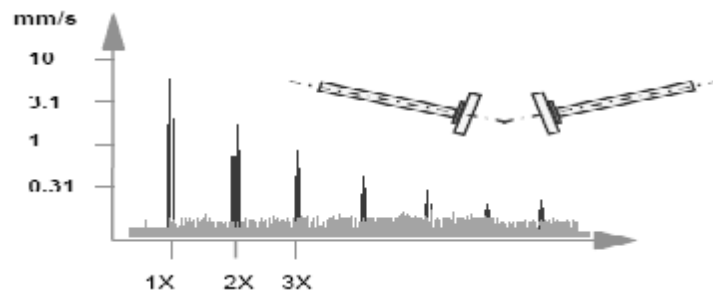


Figure II.12. Spectre typique de désalignement angulaire [17]

II.4.5.2. Désalignement parallèle

Lorsque les lignes médianes des arbres sont montées parallèle sans se rencontrer, on a un désalignement parallèle. Si l'amplitude de la vibration dans la direction radiale aux harmoniques 2x, 3x et 4x est supérieure à l'amplitude de la vibration à 1x, le désalignement parallèle est sévère. Si on détecte une vibration à l'harmonique 5x, alors le problème n'est pas le lignage, mais plutôt un choc périodique.

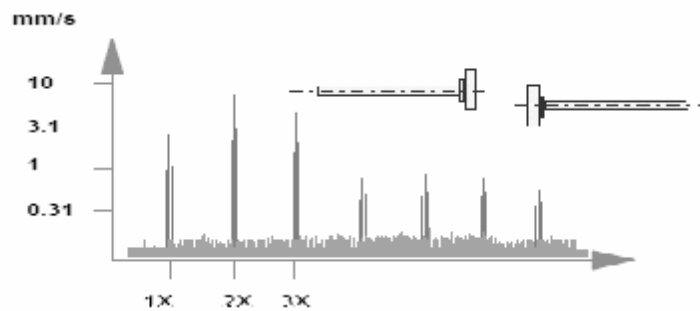


Figure II.13. Spectre typique de désalignement parallèle [17]

II.4.6. Stator et Rotor

II.4.6.1. Stator

Il est constitué par une couronne de tôles empilées, ce sont des tôles minces (0,35 mm) [NOR81], avec les pertes allant de 1,6 à 2,3 W/kg à 50 Hz. Cette couronne est serrée dans une carcasse. Débouchant à l'intérieur de l'anneau ainsi formé, des encoches contiennent un enroulement triphasé. Cet enroulement peut être bipolaire, tétra polaire, etc. (Figures 3 et 4).

Les entrées et les sorties des trois phases aboutissent à une plaque à bornes.

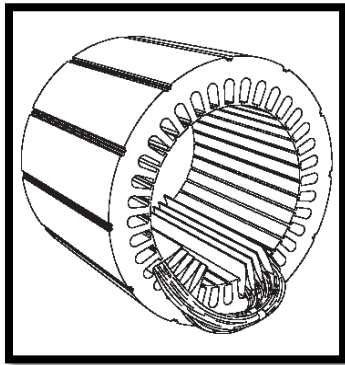


Figure II.14. Stator en cours de bobinage

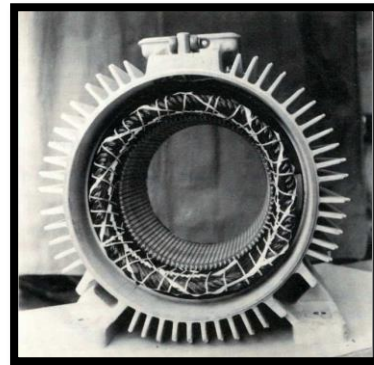


Figure II.15. Stator (vue d'ensemble)

II.4.6.1.1. Défauts du stator

Ces défauts sont habituellement liés à une dégradation de l'isolement, ils représentent environ 30% à 40% des défauts de machines à induction [18,19]. A un stade avancé, ces défauts pourront provoquer un court-circuit entre spires qui peut s'aggraver et évoluer vers un court-circuit phase-phase ou phase-terre [21]. Ils contribuent à un déséquilibre des courants des trois phases et par conséquence à une dégradation du couple moteur.

Il est donc possible de détecter ces défauts en surveillant les composantes inverses et homopolaires du courant statorique [22,20].

II.4.6.1.2. Causes des défauts du stator

L'enroulement statorique d'une machine électrique est soumis à des efforts induits par une variété de facteurs, parmi les plus importants, une surcharge thermique, les vibrations mécaniques, les pics de tension provoqués par le réglage de fréquence, etc [21,23], les causes les plus fréquentes des défauts d'enroulement statorique sont :

- Échauffement excessif du noyau et des enroulements du stator,
- Fissures dans la tôle, de fixation, et des jonctions,
- Mauvaise connections des têtes des enroulements,
- Contamination provoquée par le pétrole, l'humidité, et la saleté,
- Court-circuit,
- Surcharge à la mise sous tension,
- Décharges électriques,
- Fuites dans les systèmes de refroidissement.

II.4.6.2. Le Rotor

Le rotor à l'aspect d'une cage d'écureuil, Il est constitué de barres métalliques identiques, parallèles ou non à l'axe du rotor. Ces barres sont reliées entre elles par deux couronnes métalliques. Elles sont donc en court-circuit. L'intérieur est tapissé de fines tôles métalliques séparées entre elles par un vernis isolant pour limiter les courants de Foucault. Le rotor ne peut pas tourner à la même vitesse que le champ magnétique, sinon la cage ne serait plus balayée par le champ tournant et il y aurait disparition des courants induits et donc des forces de Laplace et du couple moteur. Les deux fréquences de rotation ne peuvent donc pas être synchrones d'où le nom de moteur asynchrone.

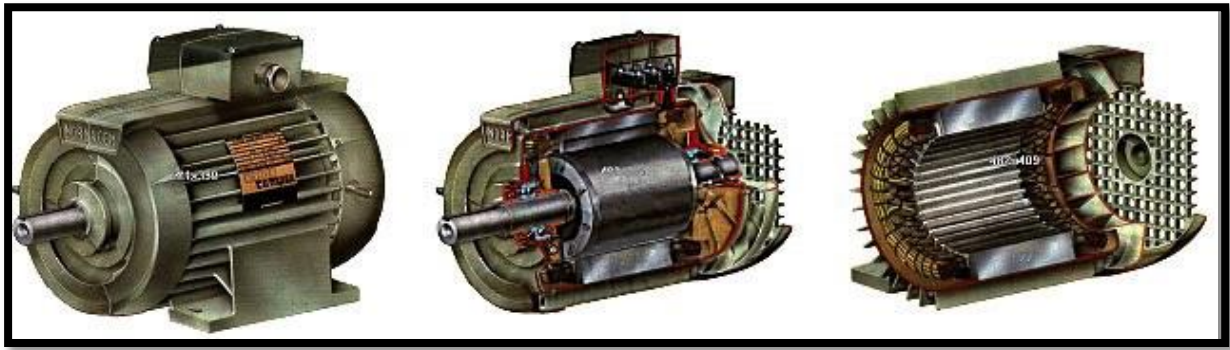


Figure II.16. Machines électrique tournante

II.4.6.2.1. Défaits du rotor

Les défauts du rotor peuvent être considérés comme plus complexes et plus variés que les défauts du stator. Les défauts rotoriques les plus rencontrés dans une machine asynchrone peuvent être classés comme suit :

- rupture d'une barre rotorique,
- rupture de l'anneau,
- court-circuit dans les enroulements rotoriques.

Contrairement à la conception du stator, la conception du rotor à cage et la fabrication ont peu changé au fil des ans. Les cas de rupture du rotor comptent environ 10% du total des défaillances du moteur asynchrone [18,20] Cependant, dans le domaine du diagnostic de défaut et la surveillance des machines électriques, la plupart des recherches présentée dans la littérature traite les défauts du rotor, alors que les défauts de roulement, qui comptent environ 40-50% des pannes du moteur, ne sont pas aussi largement étudiés. L'attention suscitée au défaut de la cage peut être due au fait que les composantes fréquentielles des défauts sont très bien définies [24].

II.4.6.2.2. Causes des défauts du rotor :

- Défauts de fabrication ;
- Conditions de fonctionnement ;
- Les mécanismes de défaillance et les symptômes produits ;
- Court-circuit dans les enroulements rotoriques ;
- Indicateurs pour détecter les défauts liés au rotor ;
- barre cassée.

Conclusion

Dans ce chapitre nous avons exposé les principaux éléments de constitution d'une machine tournante qui peuvent présenter des défaillances qui induisent pour la plupart d'entre elles ; un arrêt intempestif de la machine ; et c'est pour palier a ce genre de problèmes que le diagnostic de défauts a pris une importance de plus en plus grandissante dans les milieux industriels ; et c'est ce qui a fait naitre des techniques de diagnostic dans le but de se prémunir de ces arrêts imprévisibles ; et c'est sur cette lancée que nous nous sommes intéressés aux différents outils de traitement du signal sur lesquelles on reviendra plus en détail dans le chapitre suivant.

III.1. Introduction

La surveillance repose sur la mesure et l'analyse permanente ou périodique de données objectives fournies par les machines en fonctionnement. La collecte et le traitement de ces informations nécessitent de disposer des outils adaptés à cet effet ; et avec les pertes économiques causées par les arrêts de production imprévus et les gros risques de pertes qu'elles pourraient engendrer on ne peut se permettre de prendre à la légère ces paramètres.

Au jour d'aujourd'hui toutes les machines que l'on dit : tournantes (tels que les turbines, pompes, moteurs, compresseurs, alternateurs, centrifugeuses, ventilateurs) toutes ces machines, ont un point commun : Elles comprennent des organes en rotation. Suivant les cas, il peut s'agir de structures relativement simples, constituées d'un seul arbre en rotation à travers un ou plusieurs roulements, ou de machines plus complexes composées de plusieurs arbres tournant à des vitesses de rotation différentes... Mais ce qui caractérise avant tout ces machines, c'est qu'elles sont composées d'organes fragiles (roulements et engrenages, notamment) soumis à des contraintes mécaniques importantes et à des environnements industriels difficiles. Les sources de défaillance sont donc multiples : l'écaillage d'un roulement, la rupture d'une dent d'un engrenage, le désalignement d'un des axes, etc. Lorsque la machine joue un rôle vital dans la production (c'est le cas par exemple d'une presse dans le domaine de l'imprimerie, d'un broyeur de cimenterie ou encore d'une centrifugeuse dans un réacteur chimique...), ces défauts peuvent s'avérer lourds de conséquences. Pour éviter des, il faut surveiller en permanence ces équipements et traquer tous les signes précurseurs de défauts avant qu'il ne soit trop tard. [25]

III.2. L'opération d'échantillonnage

Avec l'utilisation croissante des techniques numériques dans le traitement du signal (filtrage numérique, transformée de Fourier discrète, disque compact, etc...), une nouvelle catégorie de signaux est apparue : les signaux analogiques échantillonnés.

L'échantillonneur prélève les valeurs du signal à des intervalles de temps égaux (la période D'échantillonnage T_e).

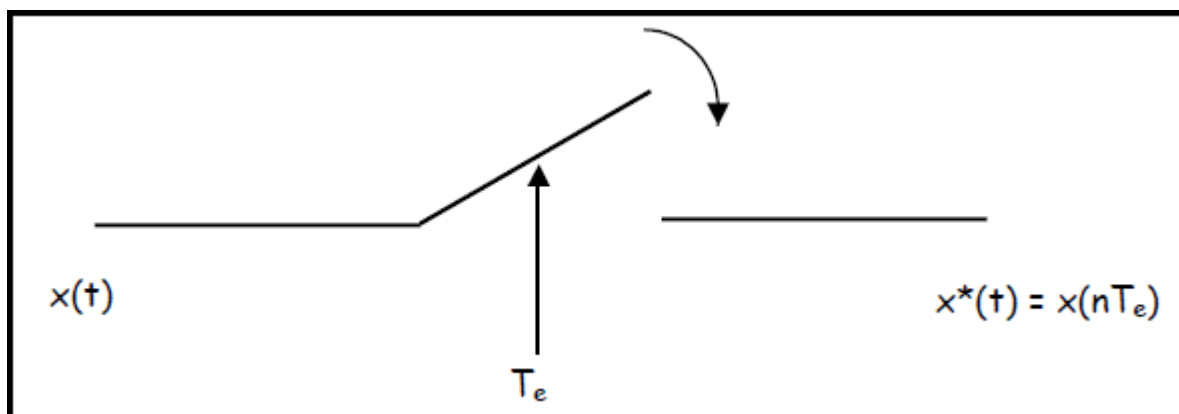


Figure III.1. L'opération d'échantillonnage [26]

L'échantillonnage modifie la forme du signal et donc son spectre. Pour échantillonner un signal analogique continu $x(t)$ et le transformer en une suite discrète d'échantillons $x(nT_e)$, on prélève périodiquement à des intervalles de temps T_e la valeur du signal.

Cette fonction de prélèvement d'échantillons est assurée par un commutateur analogique K qui se ferme durant un temps t_0 très bref toutes les T_e secondes. Ce temps t_0 s'appelle temps d'ouverture de la porte d'échantillonnage.

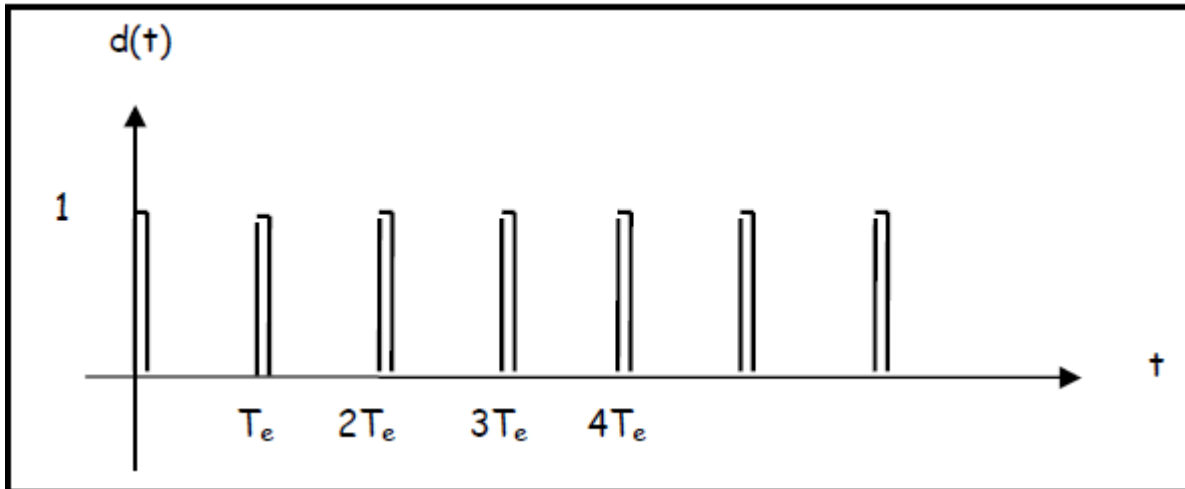


Figure III.2. Le signal d'échantillonnage

Le signal d'échantillonnage $d(t)$ est caractérisé par :

- une période de répétition T_e
- une largeur t_0
- une amplitude unité

On écrira donc : $\mathbf{x(t) = x(t).d(t)}$

Cette manière de voir permet de mettre en évidence simplement les effets de l'échantillonnage sur le spectre du signal $x(t)$.

Le signal d'échantillonnage $d(t)$ est un signal périodique dont la décomposition en série de Fourier contient une valeur moyenne d_0 , un fondamental d_1 à la fréquence $\mathbf{f_e = \frac{1}{T_e}}$ et des harmoniques d_n :

$$\mathbf{d(t) = d_0 + d_1 \cdot \cos(\omega_e t) + d_2 \cdot \cos(2\omega_e t) + \dots + d_n \cdot \cos(n \cdot \omega_n t)}$$

Avec : $\mathbf{d_0 = \frac{t_0}{T_e}}$ et $\mathbf{d_n = \frac{2 \cdot \sin(n\pi t_0 / T_e)}{n\pi}}$ et la pulsation $\mathbf{w_n = n w_1}$ avec $\mathbf{w_1 = 2\pi / T}$ (rad.s⁻¹)

Comme la durée d'ouverture t_0 est faible par rapport à la période d'échantillonnage T_e , l'angle $n\pi t_0 / T_e$ est petit et on pourra confondre le sinus avec l'angle pour les premiers harmoniques, soit :

$$\mathbf{d_n \approx 2 \cdot n\pi t_0 / T_e \cdot n\pi \approx 2t_0 / T_e}$$

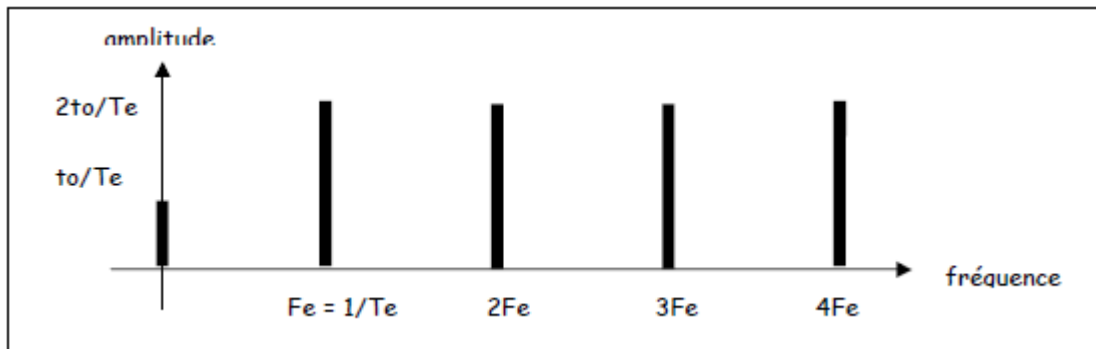


Figure III.3. Spectre du signal d(t) [26]

$$x(t) = x(t) \cdot d(t) = x(t) \cdot (t_0/T_e + 2 t_0/T_e \cdot \cos(\omega_e t) + 2 t_0/T_e \cdot \cos(2\omega_e t) + \dots)$$

$$= x(t) \cdot t_0/T_e + 2 t_0/T_e \cdot x(t) \cdot \cos(\omega_e t) + 2 t_0/T_e \cdot x(t) \cdot \cos(2\omega_e t) + \dots$$

III.3. Méthodes d'analyse

Il existe différents outils d'analyse vibratoire permettant de détecter et de diagnostiquer l'apparition des défauts dans les roulements. Elles sont généralement classées en deux grandes familles mais avant cela en va présenter quelques exemples pour la classification des indicateurs :

| | | Indicateurs |
|--|--------------------------------|---|
| Quelques exemples d'organes Surveillés | Roulements | Accélération, SPM, g/SE, HFD, BCU, ... Facteur Crête, Kurtosis, Démodulation d'amplitude, Cepstre. |
| | Engrenage | Accélération, Kurtosis, Démodulation d'amplitude, Cepstre Bispectre, bicorrélation, bispectre cyclique, corrélation spectrale |
| | Paliers fluides | Déplacement (relatif ou absolu) |
| Nature des vibrations générées | Vibration de type impulsionnel | Accélération, Facteur Crête, Kurtosis, Démodulation d'amplitude, Cepstre |
| | Vibration de type sinusoïdal | Déplacement, vitesse |
| Plages de fréquences où le défaut est plus facilement identifiable | Basses fréquences | Déplacement ou vitesse |
| | Moyennes fréquences | Vitesse ou accélération |
| | Hautes fréquences | Accélération |

Tableau III.1. Les différents indicateurs [27]

III.3.1. Méthodes temporelles (Les valeurs classiques)

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

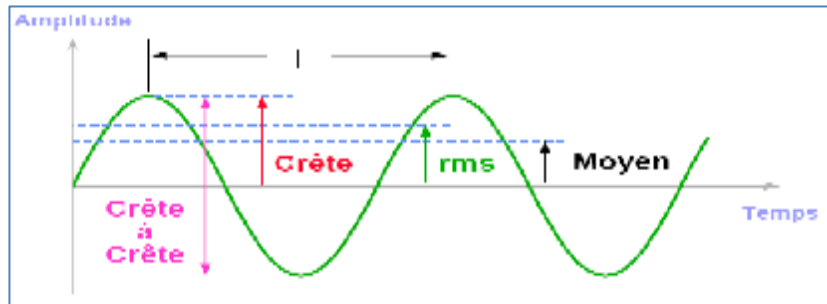


Figure III.4. Représentation des indicateurs temporels

III.3.1.1. valeur efficace

Mesure qui tient compte de l'évaluation de la valeur des Composantes harmoniques et directement reliée au contenu énergétique de la vibration.

A noter que ces valeurs d'amplitudes d'utilité complémentaire peuvent représenter un Déplacement, une vitesse ou une accélération, car vitesse et accélération sont aussi des fonctions sinusoïdales obtenues après dérivation de la fonction déplacement.

C'est une valeur très caractéristique du signal, vu qu'elle a une relation directe avec l'énergie contenue dans celui-ci (elle est exprimée en unité physique (m/s², m/s, m ou g pour les vibrations par exemple :

$$\text{RMS} = \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T X^2(t) dt}$$

Ce paramètre est le plus couramment utilisé en analyse vibratoire, mais il est beaucoup imprécis dans le cas des roulements, car il ne varie de façon significative que lorsque le défaut devient très sévères mais il est encore utilisable et très efficace. [28]

III.3.1.2. Facteur de crête

C'est le rapport entre la valeur de crête et la valeur efficace (RMS).

$$F_{\text{crête}} = \frac{V_{\text{crête}}}{\text{RMS}} = \frac{\text{SUP}|X(t)|}{\sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T X^2(t) dt}}$$

Il faut rappeler qu'une vibration de type sinusoïdale on aura un facteur de crête voisin de 2, alors qu'une vibration de type impulsionnel aura un facteur de crête plus important. Lorsqu'il n'y a pas de défaut le FC reste proche de trois (3) et il faut rappeler que l'apparition d'un défaut entraîne l'augmentation du facteur de crête. Quelques valeurs caractéristiques du facteur de crête sont résumées par le tableau Suivant : [34]

| Nature de vibration | $F_{\text{crête}} = \frac{V_{\text{crête}}}{\text{RMS}}$ | Causes possibles |
|--|--|------------------------|
| Périodique de type sinusoïdal ou complexe. | 1.5 à 2.5 | Balourd désalignement. |
| Aléatoire de type impulsionnel. | 3 à 4 | Roulement on bon état. |
| Périodique de type impulsionnel | >4 | Roulement écaillé. |

Tableau III.2. Récapitulatif des indicateurs [30]

III.3.1.3. Kurtosis

C'est un indicateur permettant de caractériser la nature impulsive d'un signal et la détection précoce d'un défaut de roulement. Dans le cas d'un roulement sans écaillage, la distribution des amplitudes contenues dans le signal recueilli est gaussienne ce qui entraîne une valeur de Kurtosis proche de 3. Lorsqu'un défaut est détecté, sa valeur devient supérieure à 3.

L'analyse des défauts de roulement par le Kurtosis peut également être réalisée dans différentes bandes de fréquences liées aux résonances de la structure.

$$\text{KURTOSIS} = \frac{M_4}{M_2^2} = \frac{\frac{1}{N} \sum_{n=1}^N (x(n) - \bar{x})^4}{\left[\frac{1}{N} \sum_{n=1}^N (x(n) - \bar{x})^2 \right]^2}$$

Où M_4 et M_2 sont les moments statistiques d'ordre 4 et d'ordre 2, $x(n)$ est le signal temporel, \bar{x} est la valeur moyenne des amplitudes, N est le nombre d'échantillons prélevés dans le signal. [30]

III.3.2. Méthodes fréquentielles

L'analyse spectrale permet de décomposer un signal complexe en composantes sinusoïdales caractérisées par leur amplitude et leur fréquence. L'interprétation d'un spectre sera autant plus précise et pertinente que le diagnosticien sera en possession d'un maximum de renseignements concernant les conditions de fonctionnement et la cinématique de la machine.

Cette méthode est basée sur la transformée des Fourier. La connaissance des fréquences caractéristiques permet d'identifier et de localiser les défauts issus des composants mécaniques en analysant leur spectre. Elles sont souvent utilisées pour les machines complexes comportant beaucoup de composants mécaniques. [31]

La connaissance des fréquences caractéristiques permet d'identifier et de localiser les défauts issus des composants mécaniques en analysant leur spectre, l'utilisation simple du spectre de Fourier, pour certains cas de diagnostic, ne suffit plus. Il faut utiliser d'autres méthodes spécifiques mais complémentaires tel que :

- L'analyse d'enveloppe

Le signal le plus simple du point de vue fréquence est le signal sinusoïdal. Par exemple,

$$x(t) = E \sin(\omega t) \text{ ne contient qu'une seule fréquence : } f = \frac{\omega}{2\pi}$$

Un signal parlé ou musical est plus complexe, puisque son allure varie constamment au cours du temps. Il contient des fréquences graves, moyennes et aiguës. Son spectre s'étend de 20 Hz à 20 kHz et varie en permanence entre ces deux fréquences extrêmes.

Le signal vidéo est encore plus complexe et son spectre s'étend du continu à quelques mégahertz, Le spectre d'un signal nous renseigne donc sur les différentes composantes fréquentielles qu'il contient. [31]

III.3.2.1. Analyse spectrale

Le spectre d'un signal est la représentation en fonction de la fréquence des amplitudes des différentes composantes présentes dans le signal [26], Prenons quelques exemples de spectres :

Remarque : lorsqu'on trace un spectre on ne s'intéresse sauf exception qu'à l'amplitude de la composante et pas à sa phase.

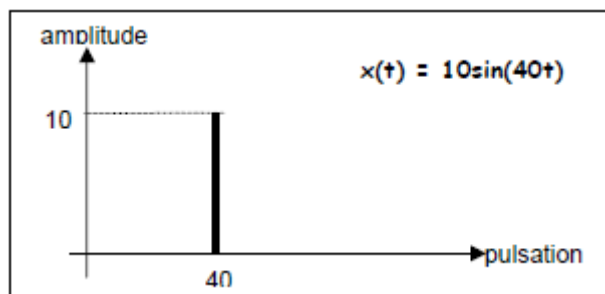


Figure III.5.

Spectre d'un Signal sinusoïdal

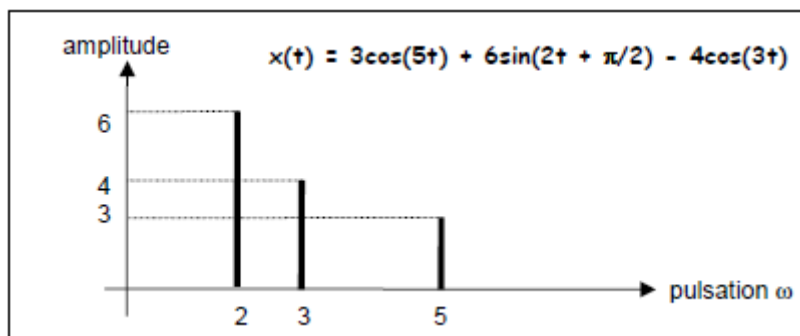


Figure III.6.

Spectre d'un Signal composite [26]

A) Calcul du spectre d'un signal périodique

La décomposition en série de Fourier est un outil simple et pratique pour trouver le spectre d'un signal périodique.

Soit $x(t)$ un signal de forme quelconque, mais périodique de période T_0 . Le mathématicien Fourier a démontré que la fonction $x(t)$ peut s'écrire sous la forme suivante :

$$X(t) = X_0 + X_1 \sin(\omega_0 t + \varphi_1) + X_2 \sin(2\omega_0 t + \varphi_2) + X_3 \sin(3\omega_0 t + \varphi_3) + \dots + X_n \sin(n\omega_0 t + \varphi_n) \dots$$

Avec :

X0 = valeur moyenne du signal

X1 = amplitude du fondamental

X2 = amplitude de l'harmonique 2

.....

X_n = amplitude de l'harmonique n

On peut remarquer qu'il n'existe pas d'harmonique 1 (on l'appelle le fondamental) et que l'harmonique n est à la fréquence n ω_0 , Cette décomposition peut aussi s'écrire de la façon suivante :

$$X(t) = X_0 + A_1 \cos(\omega_0 t) + B_1 \sin(\omega_0 t) + A_2 \cos(2\omega_0 t) + B_2 \sin(2\omega_0 t) + \dots + A_n \cos(n\omega_0 t) + B_n \sin(n\omega_0 t) \dots$$

Avec :

$$X_0 = \frac{1}{T_0} \int_T x(t) \cdot dt$$

$$A_n = \frac{2}{T_0} \int_T x(t) \cdot \cos(n\omega_0 t) dt$$

$$B_n = \frac{2}{T_0} \int_T x(t) \cdot \sin(n\omega_0 t) dt$$

$$\tan \varphi_n = \frac{B_n}{A_n}$$

Une fois que la décomposition d'un signal est faite, on trace le spectre représentant les amplitudes Xi en fonction de la fréquence [26].

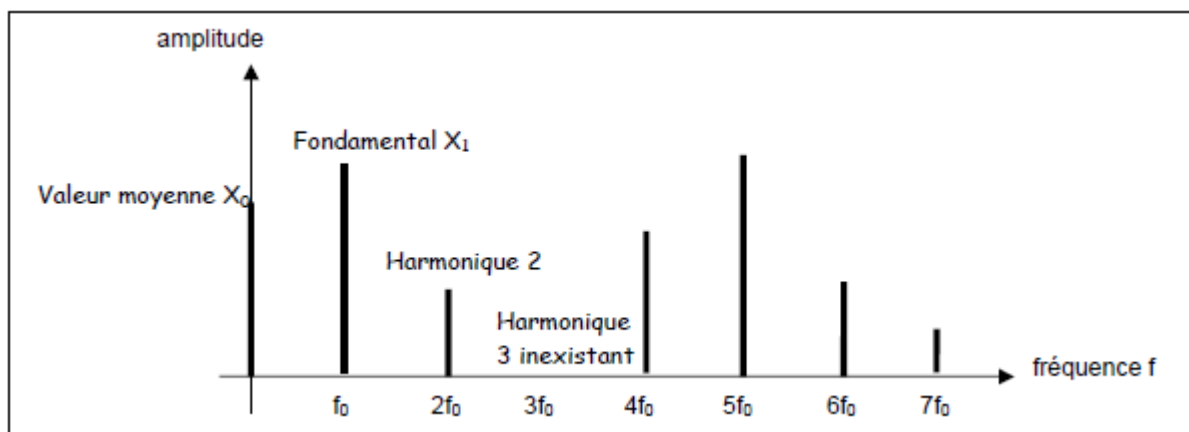


Figure III.7. Allure générale du spectre d'un signal périodique [26].

Nous pouvons remarquer, et c'est très important, que le spectre d'un signal périodique est toujours un spectre de raies et que les différentes raies ne peuvent se trouver qu'aux fréquences n ω_0 . Cette allure particulière du spectre caractérise les signaux périodiques.

Les fonctions paires ont un développement qui ne contient que des termes en cosinus (fonction paire).

Inversement, les fonctions impaires ont une décomposition en sinus. C'est une remarque utile qui permet souvent d'accélérer le calcul.

III.3.2.2. Analyse d'enveloppe

Certains défauts des systèmes mécaniques comme les roulements génèrent des modulations de phase (ou de fréquence) et d'amplitude. Les modulations produisent dans le spectre des bandes latérales autour des fréquences principales du système (fréquence d'engrènement et harmoniques par exemple). Le Spectre est un outil permettant d'identifier l'espacement en fréquence séparant ces bandes, et donc l'origine de l'anomalie. Cependant, une autre technique existe, permettant un diagnostic plus précoce, il s'agit de l'analyse d'enveloppe, opération de démodulation de phase consistant à isoler les fréquences modulantes. [32]

L'étude du signal d'enveloppe permet d'analyser la forme du signal, notamment lorsque le défaut recherché excite un mode de résonance de la structure. Elle consiste à filtrer le signal autour d'une fréquence de résonance identifiable sur le spectre, et à en rechercher la modulation provoquée par la répétition des forces générées par le défaut recherché.

Le domaine de recherche des défauts se base sur la transformée de Hilbert (TH). La TH peut déterminer l'amplitude instantanée et la fréquence instantanée elle est donnée par [29] :

$$\mathbf{Z}(t) = \mathbf{x}(t) + i\mathbf{y}(t) = \mathbf{x}(t) + i\mathcal{H}[\mathbf{x}(t)] = \mathbf{A}(t)e^{i\varphi(t)}$$

Où $\mathcal{H} [(t)]$ est la transformée de Hilbert de (t) , (t) est l'amplitude instantanée (enveloppe, magnitude) et (t) est la phase instantanée.

A) Application de la méthode de l'enveloppe

En pratique, la méthode de l'enveloppe demande une série de traitements du signal temporel brut avant d'obtenir le résultat. Ceux-ci sont repris sur la figure III.9. Et à la figure III.10.

La première étape est la filtration du signal brut afin d'éliminer les composantes indésirables : ceci favorise la robustesse de la méthode vis-à-vis du bruit. Ensuite, l'enveloppe est calculée : il s'agit en quelque sorte d'un redressement du signal ; à ce moment, nous disposons d'une information temporelle. Enfin, en ayant recourt à la transformée de Fourier, on obtient le spectre de l'enveloppe qui est un graphe d'amplitude de vibration en fonction de la fréquence. C'est à partir de ce spectre que les conclusions vont être tirées.

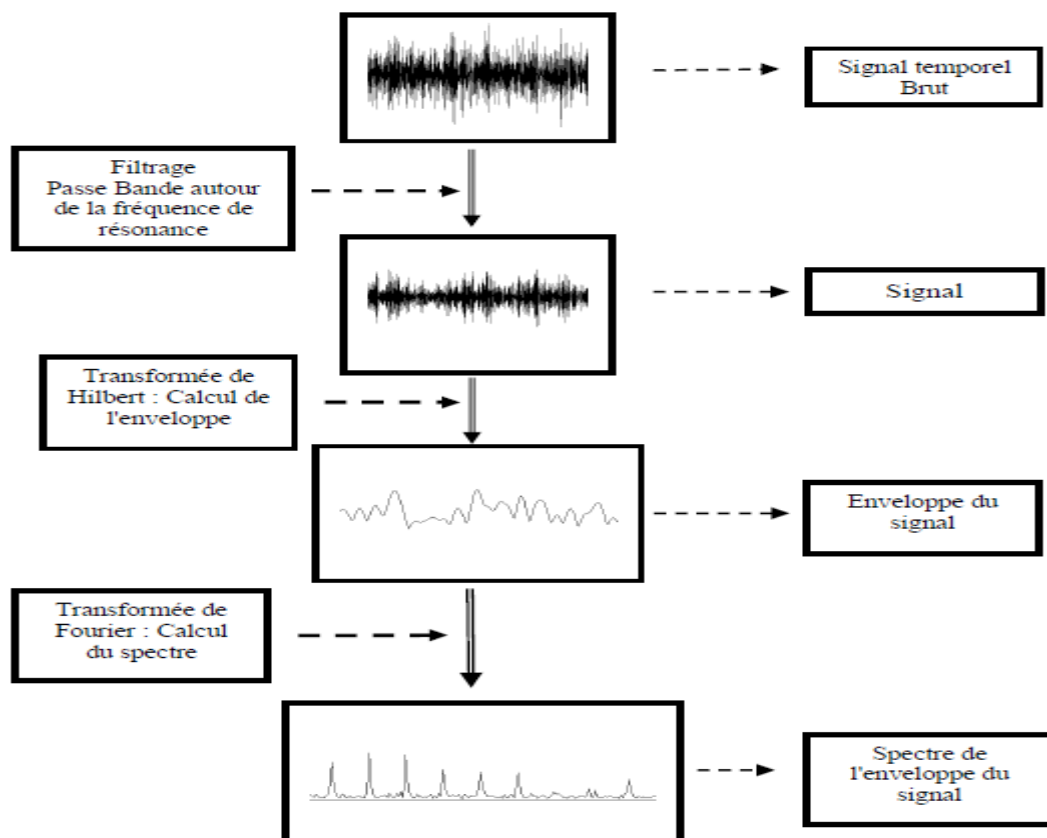


Figure III.8. Schéma de fonctionnement de la méthode de l'enveloppe. [33]

1) exemple 1**a) Spectre de l'état de référence**

Pour commencer, la méthode de l'enveloppe est appliquée sur une série de mesures prises sur un roulement neuf à la vitesse de rotation d'environ 30 tr/sec. Le filtrage est réalisé autour de la première fréquence de résonance importante à savoir, 1786 Hz. La figure III.9. est ainsi obtenue :

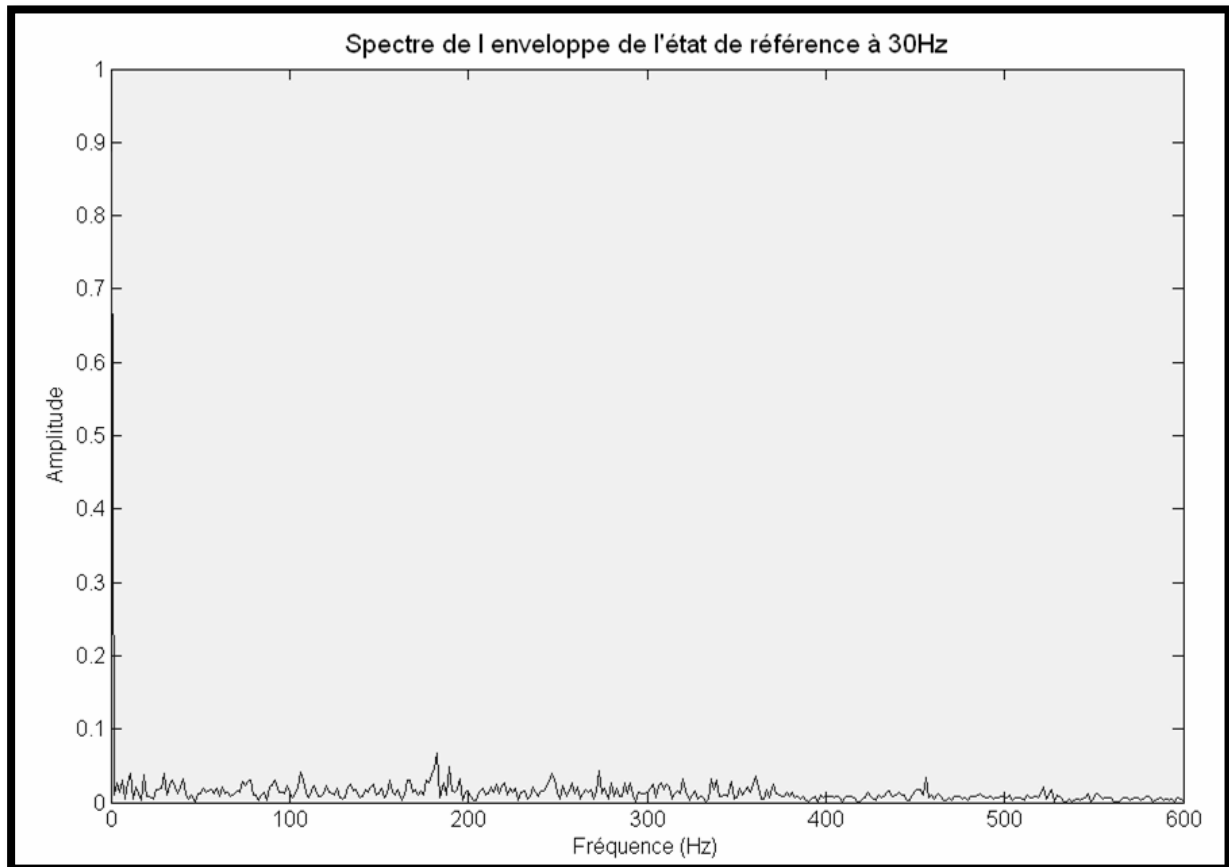


Figure III.9. Etat de référence – Filtrage autour de 1786Hz

Sur cette figure, aucun pic important n'est constaté, seul un léger bruit de fond est présent. Ceci confirme que le roulement est neuf : il n'y a aucun danger. Ce spectre est en quelque sorte la référence du roulement : toute modification de spectre pour les mêmes conditions de fonctionnement peut être le signe d'une apparition d'un défaut. [34]

b) Spectre du défaut de piste interne

Les défauts se caractérisent par une fréquence de manifestation qui leur est propre. Ainsi, pour le type de roulement mis en place et pour la vitesse de rotation de 29,69 tr/sec, la fréquence BPGI vaut 146,9 Hz. Le spectre obtenu après application de la méthode de l'enveloppe sur le signal de base, est présenté à la figure III.10.

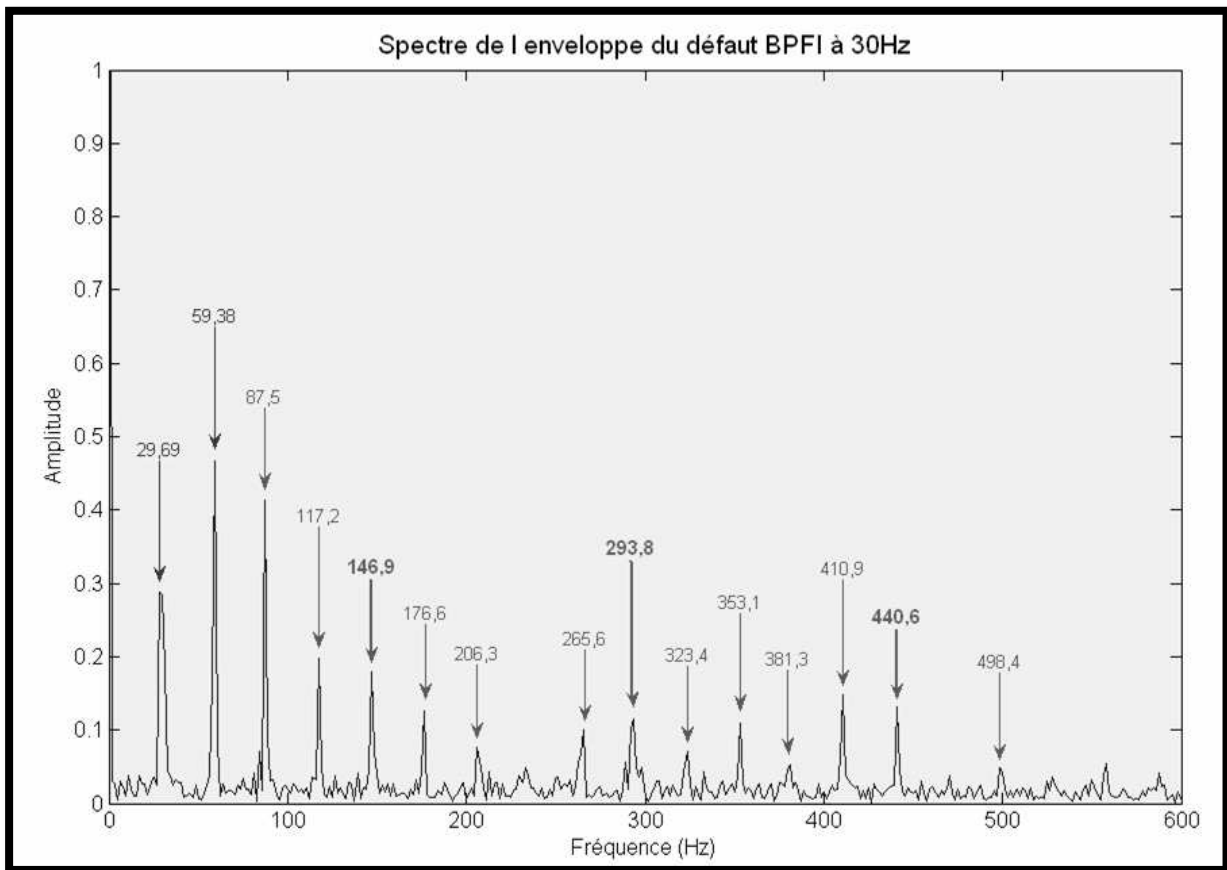


Figure III.10 Défaut BPFI – Filtrage autour de 1786 Hz

Sur ce spectre, il apparaît clairement une série de pics. Ceux-ci correspondent à la présence du défaut de piste intérieure. On constate un pic à 146,9 Hz égal à la fréquence BPFI ; les deux premières harmoniques sont elles aussi présentes (293,8 Hz et 440,6 Hz). Avec ces seules informations, la présence du défaut est détectée.

Cependant, on constate toute une série de pics entourant ces fréquences. Il s'agit en fait de la modulation de la fréquence BPFI par la fréquence de rotation.

Ceci provient du fait que lorsque l'arbre tourne, il entraîne la bague intérieure : le défaut étant présent sur la piste intérieure de cette bague, il tourne avec l'arbre. Ainsi, le défaut passe successivement d'une zone plus chargée (direction dans laquelle s'applique la charge sur le roulement) à une zone moins chargée.

L'amplitude de la vibration est donc influencée par la zone dans laquelle se trouve le défaut au moment de l'impact (la vibration sera plus intense si la charge exercée est plus élevée). La fréquence du défaut est donc modulée par la fréquence de rotation de l'arbre.

Le pic à 29,69 Hz et le pic à 59,38 Hz. Il s'agit en fait de la fréquence de rotation et de sa première harmonique. [34]

2) exemple 2 :

$$s_2(t) = \cos(2\pi 60t) [1 + 0.1 \cos(2\pi 3.6t) + 0.1 \cos(2\pi 7.2t) + 0.1 \cos(2\pi 10.8t)]$$

Ce signal est constitué d'une modulation de trois fréquences d'un défaut 3.6, 7.2 et 10.8 Hz, autour de la fréquence porteuse de 60 Hz. Ce signal est présenté sur la Figure .III.11.

Comme nous pouvons le constater, le spectre du signal $s_2(t)$ donné par la Figure.III.13 montre des bandes latérales de fréquences autour de la fréquence 60 Hz. Pour déterminer les fréquences de défaut, le signal est démodulé en utilisant l'analyse d'enveloppe. L'enveloppe du signal simulé est affichée sur la Figure.III.12 et son spectre est sur la Figure.III.14 Les trois fréquences sont facilement isolées et sont bien claires sur le spectre d'enveloppe. [35]

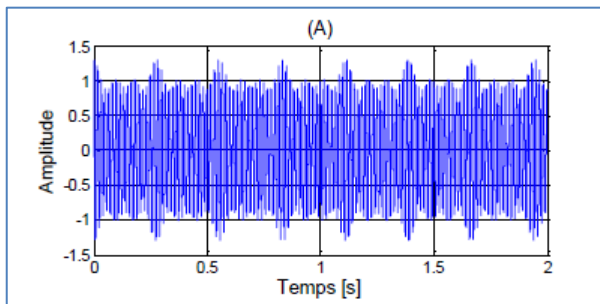
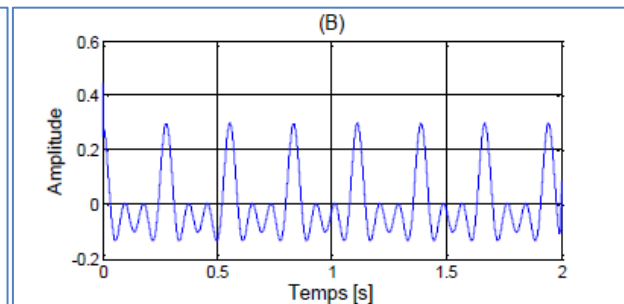
Figure III.11 le signal simulé $s_2(t)$ 

figure III.12 son enveloppe

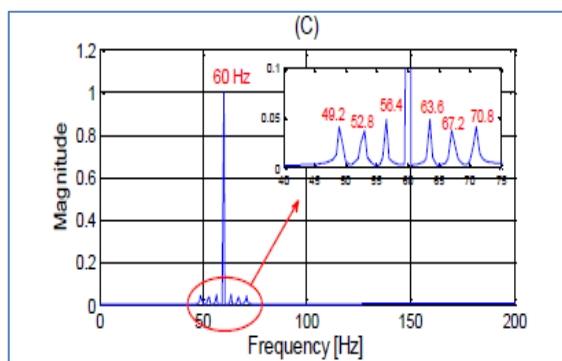


Figure III.13 son spectre

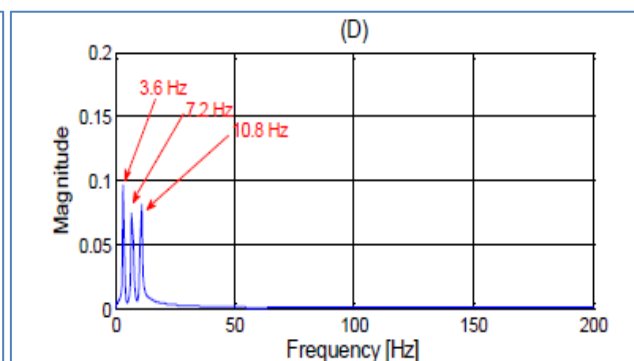


figure III.14 spectre de son enveloppe

Conclusion

Dans ce chapitre nous avons parlé sur les différentes techniques d'analyse vibratoire qu'elles soient temporelles (facteur crête, kurtosis..) ou fréquentielles (spectrale, enveloppe) et l'intérêt de leur utilisation avec quelques exemples d'application tout en exposant les avantages et les limitations de chaque méthode considérée dans ce travail.

IV.1 Introduction

Dans ce chapitre, on va étudier les signaux simulés qui reflètent le mouvement vibratoire de quelques éléments mécaniques sains ou défectueux, ils sont étudiés pour illustrer le contenu spectral comme les modulations en amplitude et en fréquence ainsi que la comparaison entre l'analyse spectrale et l'analyse d'enveloppe, et pour finir nous allons étudier le cas d'un signal simulé de roulement défailli sans et avec bruit..

IV.2. Signal sinusoïdal d'une seule fréquence

Nous avons simulé un signal $x_1(t)$ composé d'une sinusoïde de fréquence fondamentale de 1000 Hz donné par :

$$x_1(t) = 1 \times \sin(2\pi \times 1000t)$$

Avec une fréquence d'échantillonnage $F_e=5000\text{Hz}$.

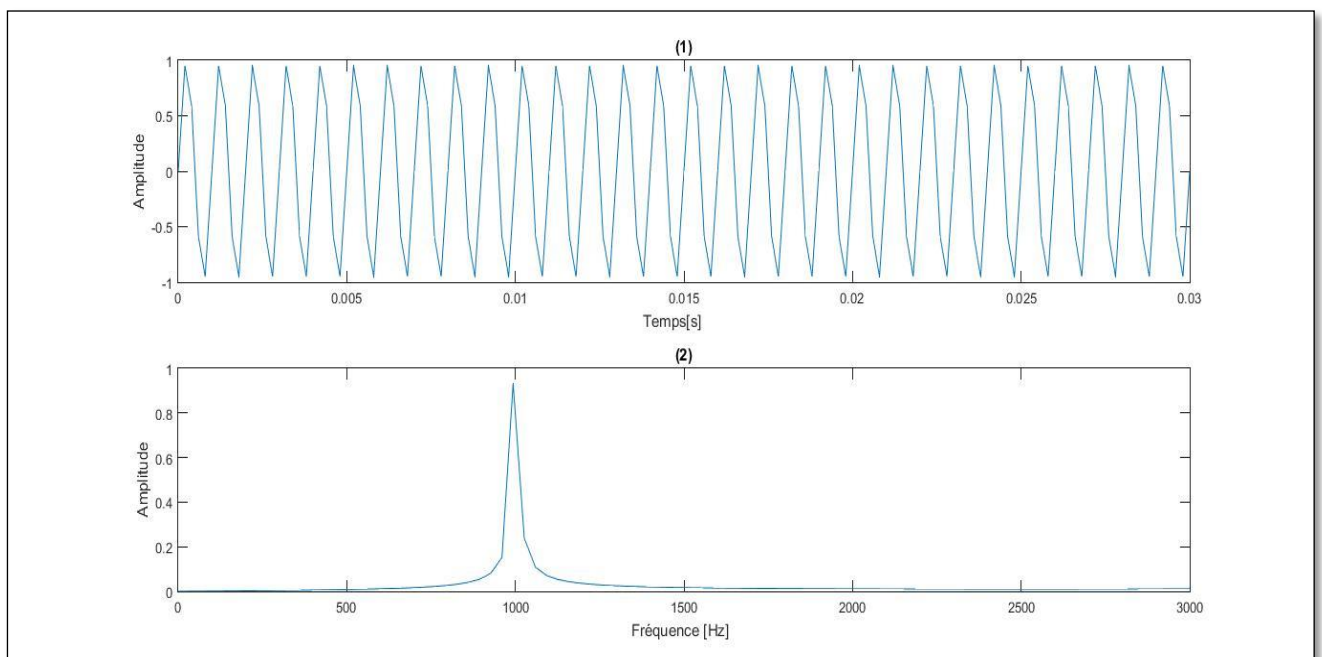


Figure IV.1. Le signal sinusoïdal $x_1(t)$ et son spectre

Dans la figure.IV.1.le signal est périodique de type sinusoïdal simple et son spectre est représenté comme on peut le voir dans la figure.IV.2 en un seul pique avec une amplitude maximale de 1 et une fréquence de 1000Hz.

IV.3. La somme de plusieurs sinusoïdes

Nous avons simulé un signal $x_1(t)$ qui est la somme de trois sinusoïdes avec trois fréquences différentes qui sont respectivement 1500, 2000 et 2460 Hz. Le signal est donné par l'équation suivante :

$$x_2(t) = 1.25 \sin(2\pi \times 1500t) + 0.35 \sin(2\pi \times 2000t) + 0.65 \sin(2\pi \times 2460t)$$

Avec une fréquence d'échantillonnage de $F_e = 9000\text{Hz}$

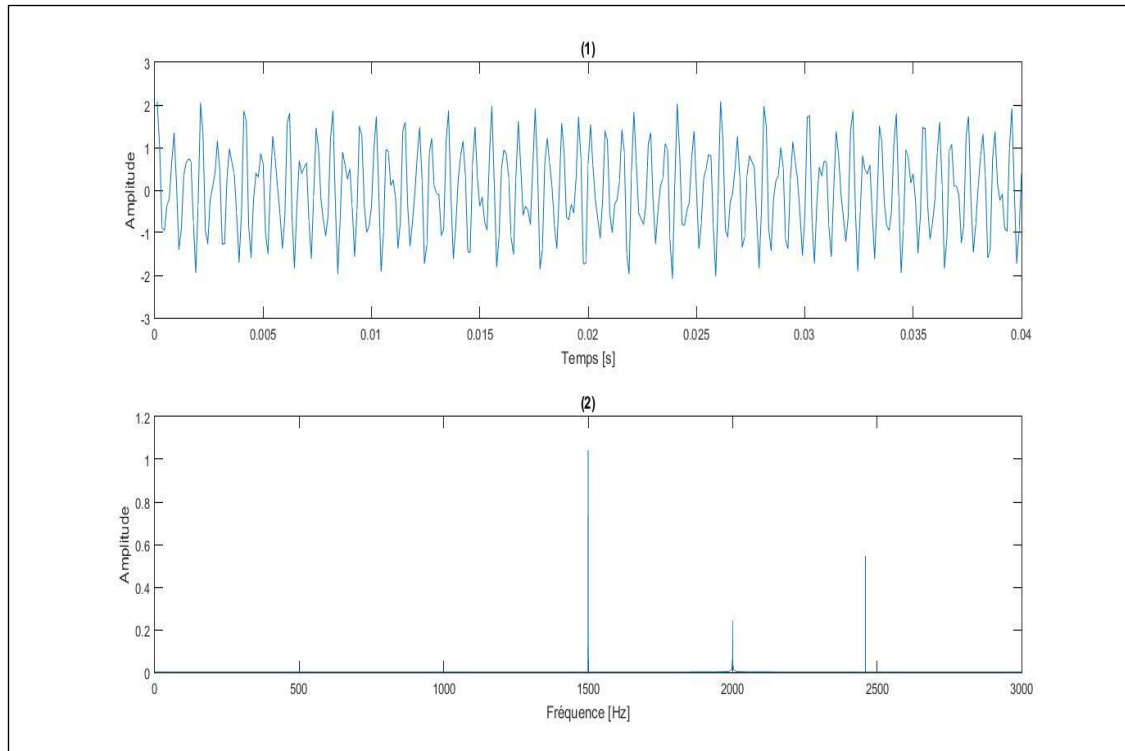


Figure IV.2. le signal $x_2(t)$, et son spectre

La Figure.IV.2.montre le signal simulé et son spectre (après avoir fait la transformée de Fourier pour passer du domaine temporel au domaine fréquentiel). Sur la figure.IV.2.partie (1) on peut voir la représentation temporelle du signal composé tandis que sur la figure.IV.2 la partie (2) on remarque trois sinusoïdes qui sont représentées sur le spectre, par trois pics d'amplitudes aux fréquences correspondantes (1500 Hz, 2000 Hz et 2460 Hz) à chaque une des trois sinusoïdes.

IV.4. Signaux modulés

IV.4.1. Signal modulé en fréquence

La variation de la vitesse d'une machine peut être simulée par un signal pseudopériodique modulé en fréquence autour d'une fréquence porteuse.

$$\text{Soit } :x_3(t) = \sin[(1000\pi \times t) + 3 \sin(100\pi \times t)]$$

Sur la partie (1) de la figure.IV.3 on peut voir le signal $x_3(t)$ ainsi que son spectre tandis que sur la 2eme partie du même spectre on le voit avec une bande latérale de fréquences ou la fréquence du signal modulant qui est égale à 50 Hz et la fréquence de la porteuse est 500 Hz. Comme on peut voir aussi que sur la 3eme partie, le spectre d'enveloppe n'a aucun effet sur le signal et reste incapable de le démoduler.

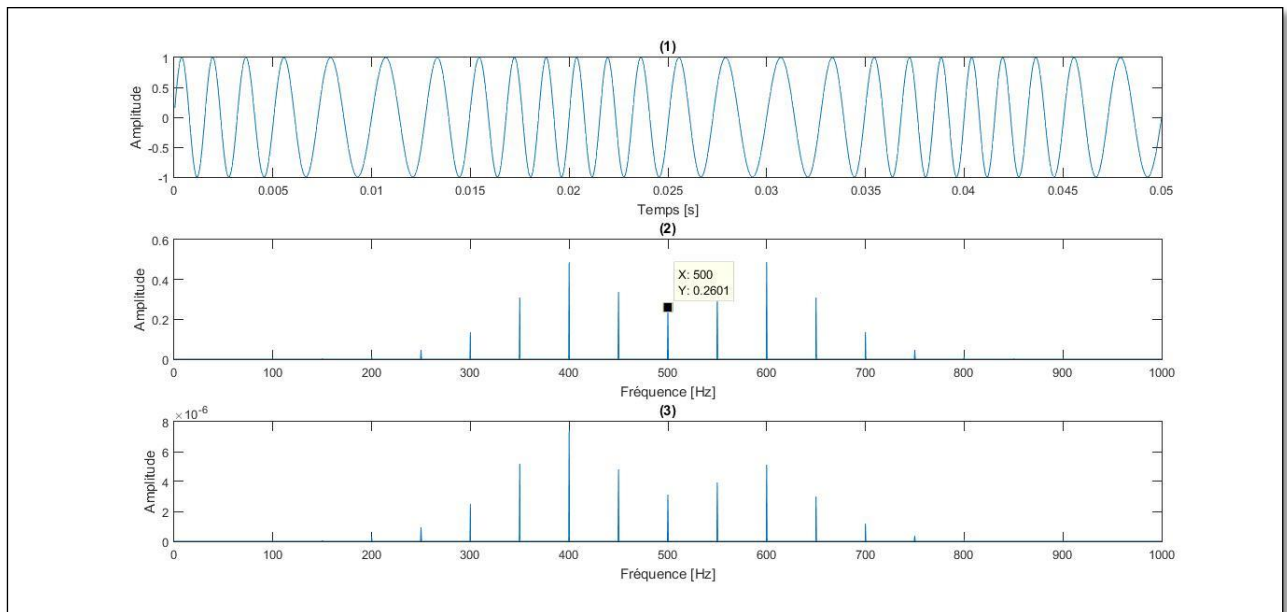


Figure IV.3. signal $x_3(t)$ modulé en fréquence avec son spectre et son spectre d'enveloppe

IV.4.2. Signal modulé en amplitude

Ce type de signal modulé en amplitude représente généralement la manifestation vibratoire de l'engrènement d'un train d'engrenages dont l'un des arbres qui présente une forte excentricité.

Ce signal peut être décrit par la formule suivante :

$$x_4(t) = \cos(2\pi \times 70t)(1 + 0.5 \cos(2\pi \times 7.5t))$$

Sur la figure.IV.4 on peut voir le signal modulé en amplitude du signal x_4 ; son spectre et représenté dans la partie (2) qui est caractérisé par une fréquence porteuse égale à 70 Hz avec deux pics d'amplitude à gauche et à droite ainsi que le spectre de son enveloppe qui est lui aussi représenté sur la même figure dans la partie (3) avec une fréquence du modulant de 7.5 Hz ; L'application de l'analyse d'enveloppe démodule le signal $x_4(t)$, enlève cette bande latérale de fréquence et donne la fréquence du signal modulant 7.5 Hz.

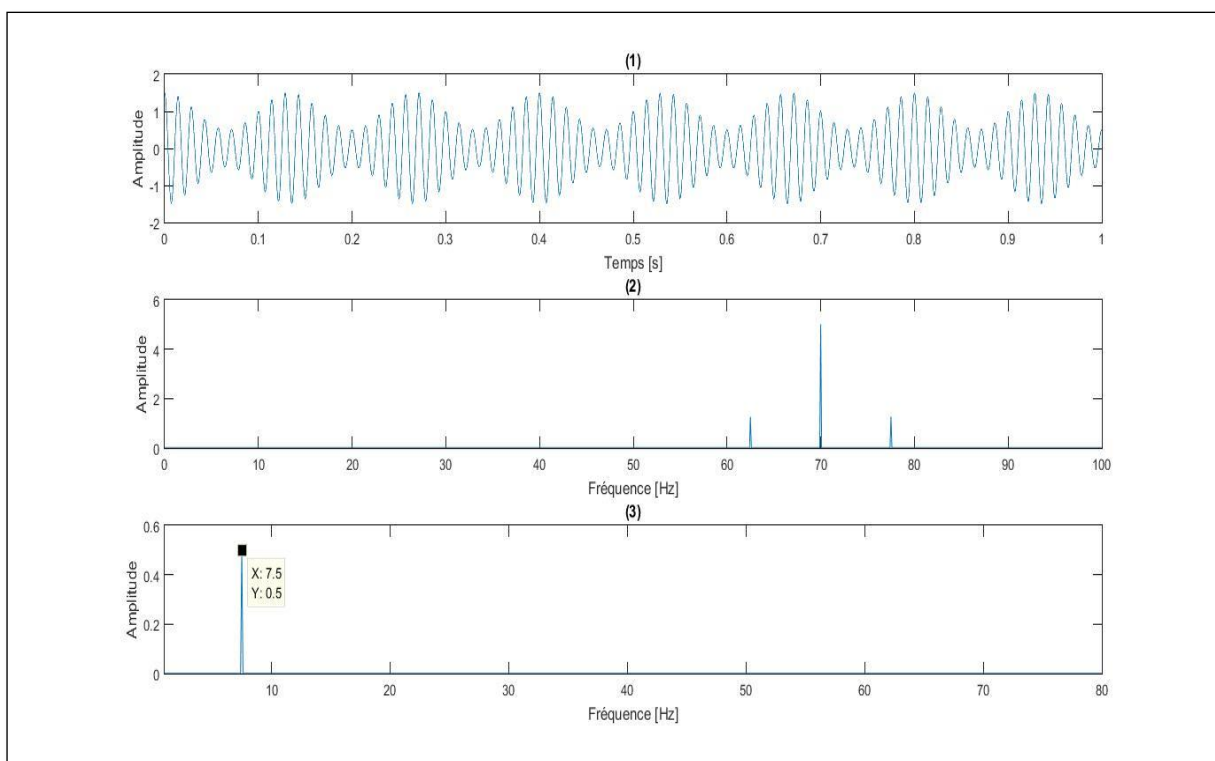


Figure IV.4. signal $x_4(t)$ modulé en amplitude, son spectre et spectre d'enveloppe

IV.4.3 Signal modulé en amplitude et en fréquence

Un signal modulé en amplitude et en fréquence représente généralement un défaut de denture des engrenages. Ce signal peut être décrit par la formule :

$$x_5(t) = \cos(2\pi \times 500 t + 3 \cos(2\pi \times 100 t)) [1 + \cos(2\pi \times 80 t)]$$

Les fréquences des signaux modulateurs d'amplitude et de fréquence sont respectivement 100 Hz et 80 Hz. Sur la figure IV.5 on peut voir le signal $x_5(t)$ modulé en amplitude et en fréquence sur la première partie et son spectre sur la partie (2) ainsi que son spectre d'enveloppe sur la troisième partie (3).

L'analyse d'enveloppe a démodulé la fréquence du signal modulé en amplitude qui est de 80 Hz.

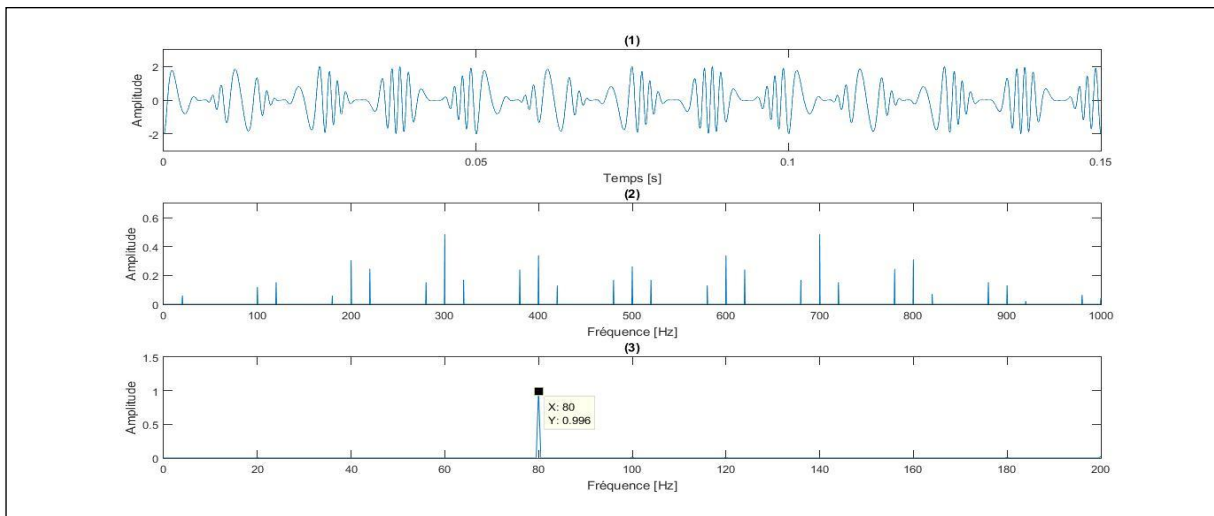


Figure IV.5. signal $x_5(t)$ modulé en amplitude et en fréquence ainsi que son spectre, et le spectre d'enveloppe

IV.5. Simulation signal de roulement

Nous avons un signal $y(t)$ simulé de défaut d'un roulement (qui engendre les chocs excitant les résonances du système) avec un défaut auquel on a rajouté un bruit $b(t)$. Ce signal est décrit par :

$$y(t) = (0.5 \sin(2\pi \times 2000t) + 0.8 \sin(2\pi \times 6500t))e^{-\alpha\tau} + b(t)$$

Avec $\tau = \text{mod}\left(t, \frac{1}{f_d}\right)$ qui est le reste de division de t sur $\frac{1}{f_d}$ avec $f_d = 103$ Hz et $\alpha = 900$.

Cette fonction représente les chocs répétitifs induits par les défauts de roulement ; avec une fréquence d'échantillonnage de $f_e = 24900$ Hz. Et des fréquences de modulation, $f_1 = 2000$ Hz Et $f_2 = 6500$ Hz, qui représentent les fréquences de résonance (l'excitation des fréquences propres du système mécanique par le défaut).

Sur la figure.VI.6. On peut voir sur la première partie (1) la représentation temporelle du signal $y(t)$ sans bruit ou l'on remarque des chocs espacés par des périodes de temps constantes ce qui correspond au défaut, et sur la deuxième partie (2) on a le même signal qui est représenté avec le bruit.

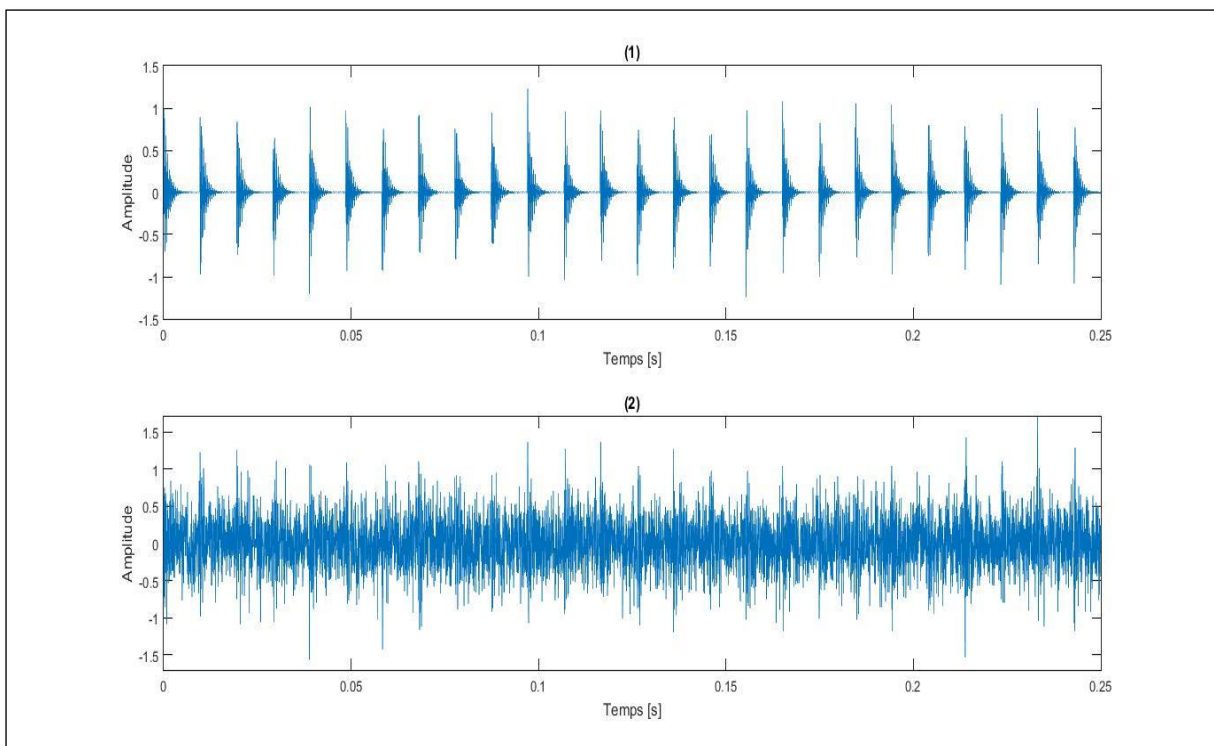


Figure IV.6 signal d'un défaut de roulement simulé avec et sans bruit

IV.5.1. Analyse spectrale et analyse d'enveloppe (Roulement)

Sur la figure.IV.7. En premier lieu (1) on peut voir deux peignes de raies spectrales autour de deux fréquences de résonances ($f_1 = 2000$ Hz et $f_2 = 6500$ Hz) ; pour déterminer les fréquences de défaut, le signal est démodulé en utilisant l'analyse d'enveloppe. Le spectre de son enveloppe est sur la même figure en deuxième partie (2) où l'on peut clairement voir les fréquences de défaut qui sont facilement isolées et bien claires.

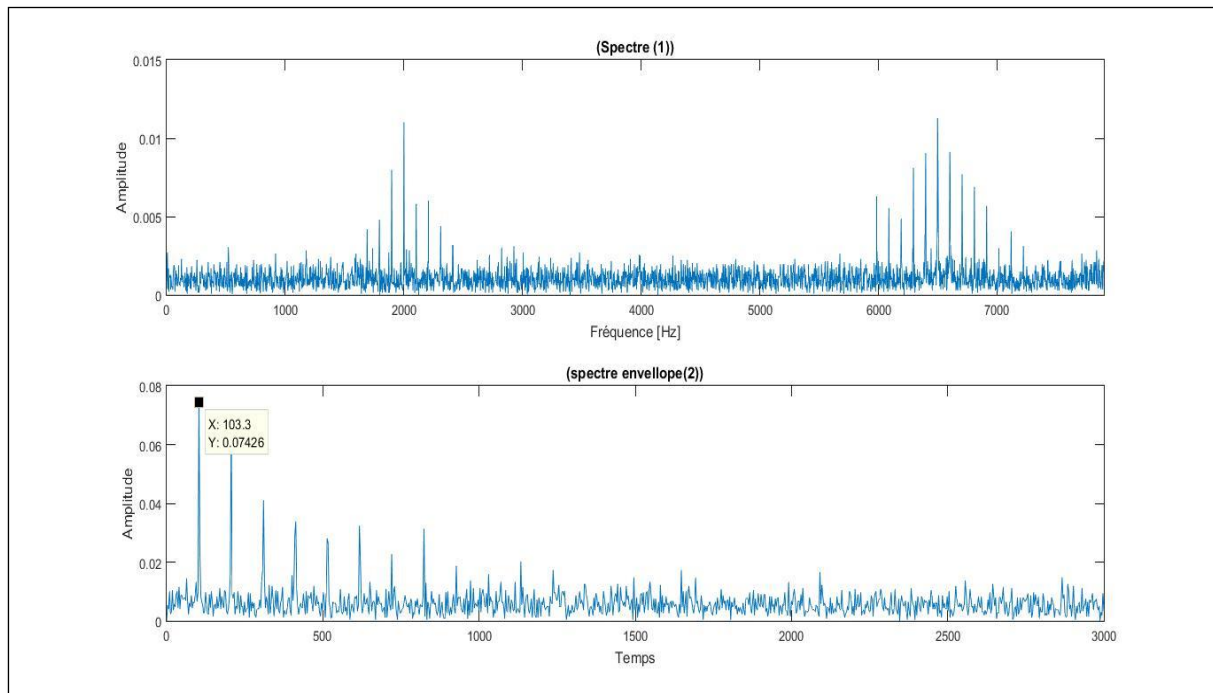


Figure IV.7. Spectre du signal simulé, avec son Spectre enveloppe

Conclusion

Dans ce chapitre nous nous sommes focalisés sur deux méthodes de détection de défauts, l'analyse spectre et l'analyse par le spectre d'enveloppe, cette étude menée sur des exemples de simulation a permis de comprendre comment les défaut se manifeste dans les deux méthode et il nous a permis d'exposer clairement les avantages et les limitations de chaque méthode considérée dans ce travail. Pour l'analyse spectrale elle se déroule à partir des signatures de chaque défaut elle est basé sur la comparaison entre signatures au cours du temps (comme le désalignement, balourd....etc). Tandis que pour le spectre d'enveloppe il nous renseigne directement si il y'a des défauts et à quelle fréquence sans prendre en compte les pics de résonances.

V.1 Introduction

La maintenance des biens de production repose en grande partie sur l'état des mécanismes nécessaires au fonctionnement, personne n'ignore l'importance d'un entretien régulier pour la disponibilité des machines, mais lorsqu'il s'agit d'assurer la sécurité des biens, des personnes et de l'environnement, l'entretien s'avère notoirement insuffisant et nécessite des approches plus fines et développées dans les stratégies de maintenance.

La détection des défaillances est possible que si l'on connaît les symptômes vibratoires associés à chaque défaut susceptible d'affecter la machine considérée, c'est-à-dire si l'on connaît les images vibratoires induites par ces défauts. La connaissance de ces images vibratoires permet de formuler un diagnostic de l'état de la machine, mais parfois une même image vibratoire peut correspondre à plusieurs défauts. Il faut donc établir la liste de tous les défauts correspondant à chaque image et par déduction, entreprendre les analyses complémentaires et rechercher d'autres symptômes pour se diriger progressivement vers l'hypothèse la plus probable.

Le travail qui suit a été réalisé au niveau de la D.R.G.Béjaia en collaboration avec la direction régionale de Biskra (D.RG.Biskra) pour nous fournir les spectres nécessaires pour le bon accomplissement de notre travail ; et ainsi pouvoir les étudier minutieusement.



Figure V.1. Station de pompage (D.RG.Biskra)

V.2. Description d'une pompe centrifuge simple (annexe 4)

Les pompe centrifuges sont le type de pompe le plus répandu en raffinerie et usines chimiques. Leur fonction est d'assurer le débit de liquide souhaité par l'exploitant mais dans des

condition de pression imposées par des procédés et des applications, avec des contraintes particulières à l'installation, l'environnement, la fiabilité, la sûreté, etc.

La pompe centrifuge la plus simple est la pompe monocellulaire comme représentée sur le schéma ci-dessous :

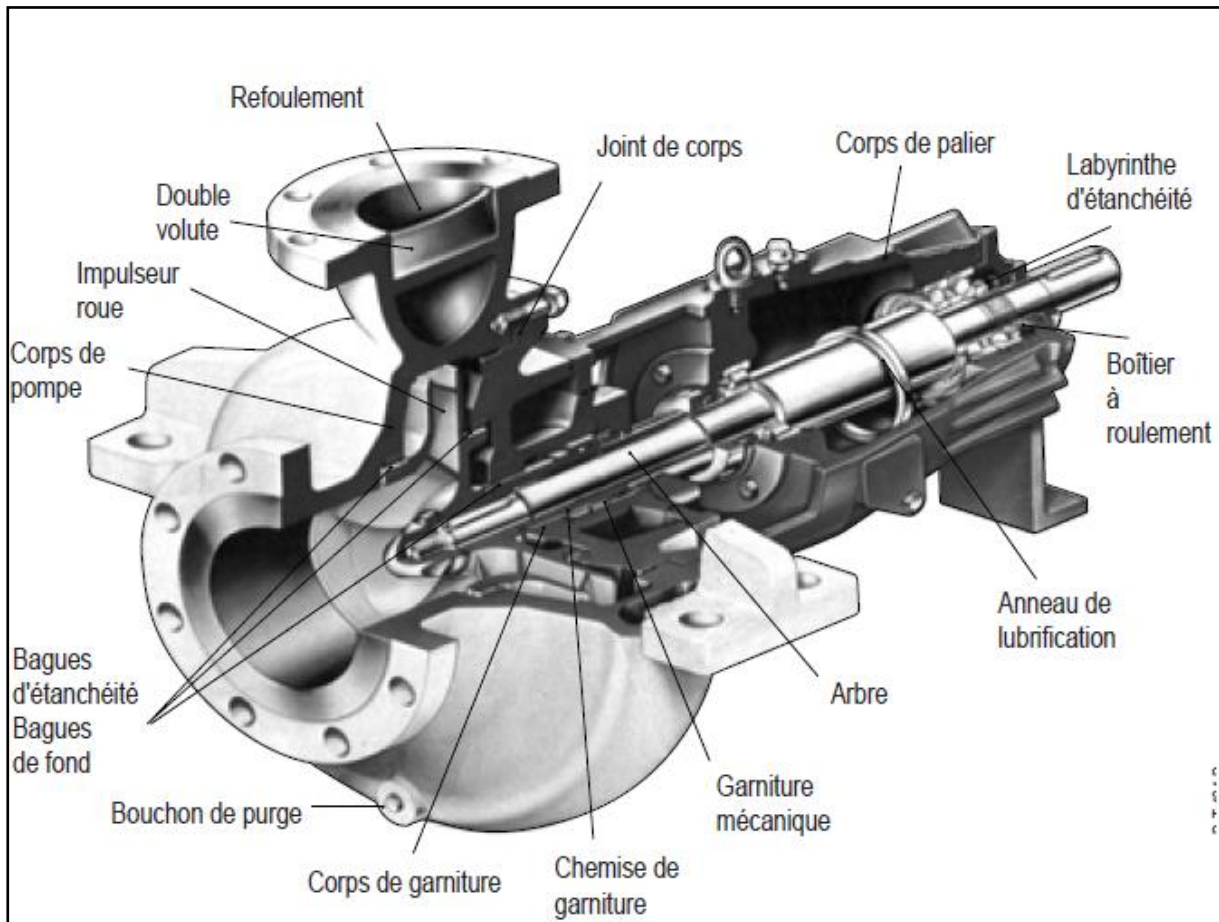


Figure V.2. pompe centrifuge monocellulaire

Cette pompe est composée d'éléments statiques et de pièces tournantes, on distingue dans les éléments statique :

- Le corps de pompe sur lequel se trouvent les turbulures et brides d'aspiration et de refoulement, la volute et les pieds(ou pattes) de fixation sur le châssis.
- Le corps de garniture(ou plateau de garnitures) fermant l'arrière du corps de pompe, est traversé par l'arbre et reçoit le système d'étanchéité(tresses ou garniture mécanique).
- Le corps de palier dans lequel sont montés des roulements ou des paliers à coussinet et qui contient le système de lubrification. Le corps de palier possède souvent une béquille de supportage.

Les parties tournantes ou rotor composé de l'arbre sur lequel sont montés les roulements, l'impulseur(ou roue), le moyen d'accouplement et les pièces tournantes de la garniture mécanique.

V.2.1. Composition de l'ensemble mobile du rotor

A) Un arbre sur le quel sont montés

- Un impulseur (ou roue)
- Un accouplement permettant la liaison avec la machine d'entraînement
- Diverses pièces telles que chemises d'arbre, déflecteur ou labyrinthe d'étanchéité, écrous de fixation...

B) D'éléments liant le rotor et les pièces fixes(donc soumises a frottement)

- Les roulement.
- La garniture d'étanchéité.

Parmi ces différentes pièces, l'impulseur et la volute sont celles qui sont directement impliquées dans la fonction de pompage de la machine, au travers elle, se produisent les variations de vitesse et de la pression du liquide.

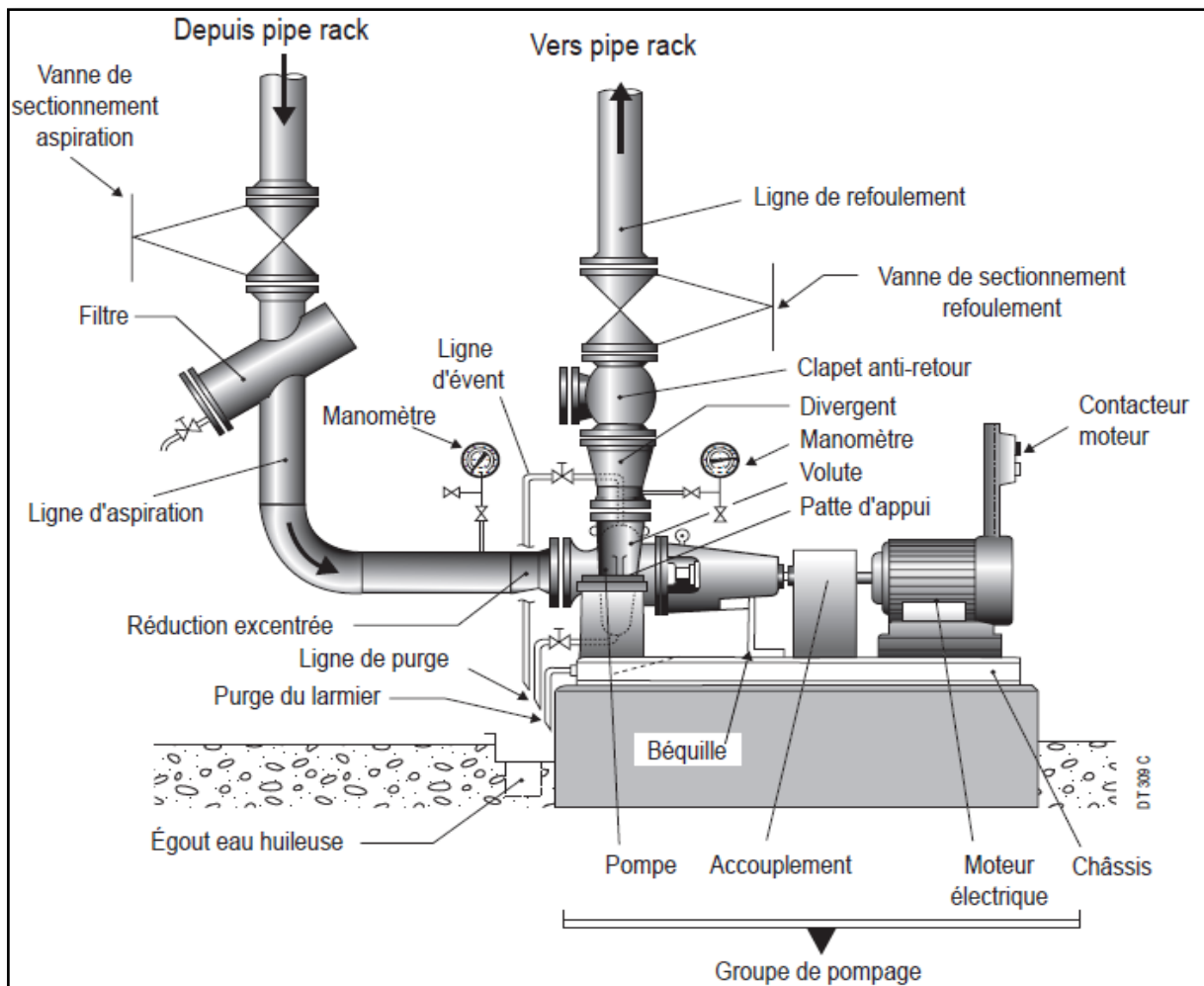


Figure V.3. Environnement d'une pompe centrifuge en unité

V.2.2. Définition d'une garniture mécanique (annexe 2)

Les garnitures d'étanchéité sont installées sur les pompe centrifuges , et la fonction d'une pompe centrifuges implique que l'on fasse tourner une roue a une certaine vitesse dans le corps de la pompe ou circule le liquide véhiculé. La mise en rotation de la roue se fait par un arbre qui traverse le corps de la pompe et qui est lié mécaniquement a la machine d'entraînement.

Dans le cas général, le liquide pompé se trouve dans le corps de la pompe a une pression supérieure a la pression atmosphérique et risque donc de fuir le long de l'arbre vers l'atmosphère ou les corps de palier.

Il est nécessaire de réduire cette fuite a une valeur nulle ou quasi nulle pour les raisons évidentes de sécurité et d'environnement.

En outre, même dans le cas de pompage des produits froids,et non dangereux(eau pas exemple), une fuite correspond a une perte de rendement.

Dans le cas d'aspiration sous-vide, le problème peut être inverse, c'est-a-dire qu'on peut être amener a empêcher toute entrée d'air dans le corps de pompe, l'entrée d'air diminue, l'efficacité de la pompe.

L'organe qui assure l'étanchéité autour de l'arbre est appelé garniture d'étanchéité elle est montré sur la figure ci-dessous qui montre la position d'une garniture d'étanchéité dans une Pompe.

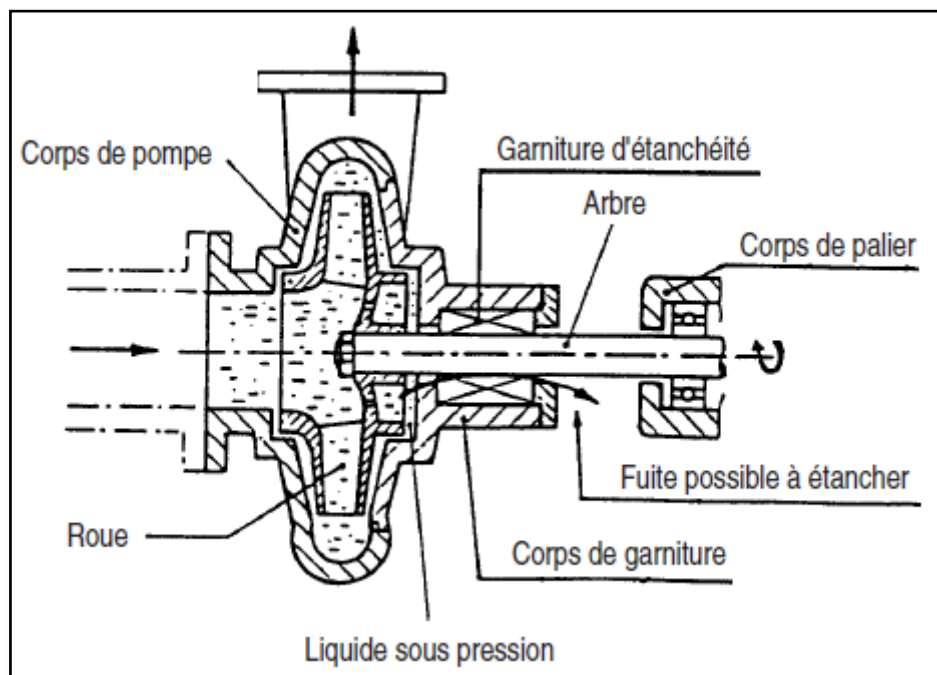


Figure V.4. la position d'une garniture d'étanchéité

La garnitures mécaniques ou l'étanchéité est réalisée entre une pièce fixe et une pièce mobile solidaire de l'arbre. Les deux faces en contact doivent avoir un excellent état de surface. La fuite obtenue est alors très faible.

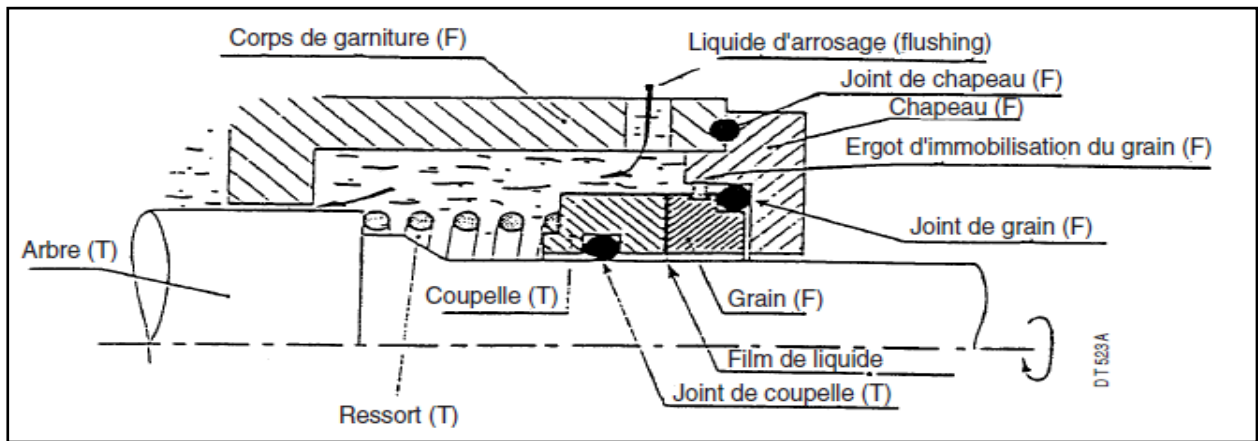


Figure V.5. Principe de fonctionnement d'une garniture mécanique

Le liquide sous-pression de la pompe est arrêté par la surface de contact entre les deux pièces essentielles constituant une garniture :

- La première est fixe, c'est le grain qui est en appui contre le chapeau de la garniture par l'intermédiaire d'un joint statique d'étanchéité (joint de grain). Ce grain, le plus souvent en carbone, est immobilisé en rotation par un ergot.
- La seconde est tournante avec l'arbre, c'est la coupelle qui est entraînée en rotation par un ressort solidaire de l'arbre. La force exercée par le ressort permet de maintenir une pression sur la surface de contact entre grain et coupelle. Un joint de coupelle a pour but d'éviter toute fuite le long de l'arbre.

| | |
|-----------------------------------|---|
| Type de pompe | DVD/14.14.18/1ét |
| Vitesse de rotation | 2880-3180tr/min |
| Puissance | 1700Kw |
| Fréquence | 50Hz |
| Tension | 660V |
| Masse de la pompe | 2000Kg |
| Masse du socle | 1420 kg |
| Type de lubrification | Barbotage avec API 610 |
| Type de paliers | Radial lisse 2 Butée billes 7312 BEP |
| Nombre d'Impulseur | 6 |
| Hauteur max de refoulement | 338 m |

Tableau V.1. Caractéristiques techniques de la pompe

V.3. Caractéristiques techniques du moteur (annexe 3)

Le moteur est de type asynchrone 616/2 de puissance 1550 KW qui est relié a la pompe grace a un accouplement (Annexe 1).



Figure V.6. moteur asynchrone 616/2 (SP2 Biskra)

| | |
|---|---|
| Puissance nominal | 1550 KW |
| Tension nominale | 3300 V |
| Vitesse | 2800/3180 tr/min |
| Fréquence nominale | 50Hz |
| Courant nominale | 313.9 A |
| Température ambiante | 52 c° |
| Poids totale | 7100 Kg |
| Poids de rotor | 1410 Kg |
| Type de l'lubrification | Graisse |
| Connections des phases de stator | Triangle |
| Type de palier | Un roulement COA (6218) Un roulement CA (7218 BECBM) |

Tableau V.2. Caractéristiques techniques du moteur

V.4. Moyens utilisés

Dans ce travail nous avons opté pour l'utilisation d'un analyseur collecteur de vibration Bently Nevada (Scout 100) qui est un appareil de mesure portable et grâce au PC on peut faire une lecture des donnée approfondi et une manipulation facile afin d'augmenter la précision, avec l'aide du logiciel (SYSDBA) (symbole VB).



Figure V.7. Nevada (Scout 100)ET le PC pour la lecture

V.5. CARACTERISTIQUES DES PRODUITS

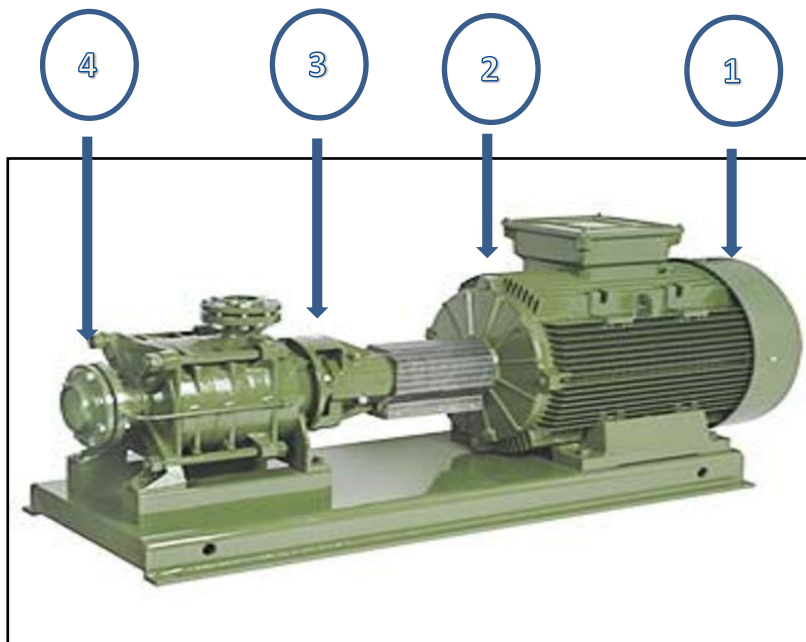
| | |
|---------------------------------|-------------------------|
| Densité du pétrole brut a 20 C° | 800 Kg/m ³ |
| Pression de vapeur a 20 C° | 0.75 Kg/cm ² |
| La viscosité a 20 C° | 2.15 cst |

Table V.3. Caractéristiques du pétrole brut

| | |
|----------------------------|------------------------|
| Densité a 20 C° | 716 Kg/m ³ |
| Pression de vapeur a 20 C° | 0.4 Kg/cm ² |
| La viscosité a 20 C° | 0.95 Cst |

Table V.4. Caractéristiques du condensat

V.6. Les points de mesures effectués



Point 1 : Moteur côté opposé accouplement (Roulement 6218).

Point 2 : Moteur coté accouplement (Roulement 7218 BECBM).

Point 3 : Pompe coté accouplement (palier lisse hydrostatique).

Point 4 : pompe côté opposé accouplement (Roulement 7312 BEP).

Figure V.8.grope électropompe

V.7. Présentation des signaux vibratoires

V.7.1. calcul des fréquences de défaut

Il faut tout d'abord savoir que pour ce groupe électropompe nous avons trois types de roulements différents pour lesquelles nous allons étudier les différentes fréquences de défauts

V.7.1.1. Roulement à bille de type 6218 (moteur cote oppose accouplement) (Annexe 5)

❖ Caractéristiques

- F_{rot} (Fréquence de rotation)= 48.33 Hz
- N (nombre de billes)=11
- d (bille)= $(D_a \text{ (max)} - d_a \text{ (min)})/2 = (149-101)/2 = 24\text{mm}$
 d (bille) = 24
- D (primitive)= $(D_1 + d_2)/2 = (160+90)/2 = 125\text{mm}$
 D (primitive)=125mm
- Angle de contact $\alpha = 0 \rightarrow \cos\alpha = 1$

❖ Différentes fréquences de défauts du roulement

- Fréquence de passage d'un élément roulant sur un défaut de bague extérieur
 $F_{(be)} = 0.5 F_r \cdot N [1 - ((d/D) \cdot \cos\alpha)] = 214.77\text{Hz}$
- Fréquence de passage d'un élément roulant sur un défaut de bague intérieur
 $F_{(bi)} = 0.5 F_r \cdot N [1 + ((d/D) \cdot \cos\alpha)] = 316.85 \text{ Hz}$
- Fréquence de passage d'un défaut de bille sur la bague externe ou interne
 $F_{(bille)} = 0.5 F_r (D/d) [1 - (d \cdot \cos\alpha / D)^2] = 131.2196 \text{ Hz}$
- Fréquence de passage de défaut de cage
 $F_{(cage)} = 0.5 F_r [1 - ((d/D) \cos\alpha)] = 20 \text{ Hz}$

V.7.1.2. Roulement à bille de type 7218 (Moteur coté accouplement) (Annexe 6)**❖ Caractéristiques**

- Caractéristiques $F(\text{rot}) = 48.33 \text{ Hz}$
- N (nombre de billes)=11
- d (bille)= $(D_a(\text{max})-d_a(\text{min}))/2 = (149-101)/2 = 24\text{mm}$
 d (bille) = 24mm
- D (primitive)= $(D_1+d_2)/2 = (160+90)/2=125\text{mm}$
 D (primitive)=125mm
- Angle de contact $\alpha = 0 \rightarrow \cos\alpha = 1$.

❖ Différentes fréquences de défaut

- Fréquence de passage d'un élément roulant sur un défaut de bague extérieur

$$F(\text{be})=0.5 \text{ Fr} \cdot N [1-((d/D).\cos\alpha)] = 214.77 \text{ Hz}$$

- fréquence de passage d'un élément roulant sur un défaut de bague intérieur

$$F(\text{bi})=0.5 \text{ Fr} \cdot N [1+((d/D).\cos\alpha)] = 316.85 \text{ Hz}$$

- Fréquence de passage d'un défaut de bille sur la bague externe ou interne

$$F(\text{bille})=0.5 \text{ Fr} (D/d) [1-(d.\cos\alpha/D)^2] = 131.2196 \text{ Hz}$$

- Fréquence de passage de défaut de cage

$$F(\text{cage})=0.5 \text{ Fr} [1-((d/D) \cos\alpha)] = 20 \text{ Hz}$$

V.7.1.3. Roulement 7312 BEP a contact oblique (Pompe côté opposé accouplement) (Annexe 7)**❖ Caractéristiques**

- $F(\text{rot}) = 48.33 \text{ Hz}$
- N (nombre de billes)=12
- d (bille)= $(D_a(\text{max})-d_a(\text{min}))/2 = (118-72)/2 = 23\text{mm}$
 d (bille) = 23mm
- D (primitive)= $(D_1+d_2)/2 = (130+60)/2=95\text{mm}$
 D (primitive)=95mm
- Angle de contact $\alpha = 0 \rightarrow \cos\alpha = 1$.

❖ Différentes fréquences de défaut

- Fréquence de passage d'un élément roulant sur un défaut de bague extérieur

$$F(\text{be})=0.5 \text{ Fr} \cdot N [1-((d/D).\cos\alpha)] = 263.4\text{Hz}$$

- fréquence de passage d'un élément roulant sur un défaut de bague intérieur

$$F(\text{bint})=0.5 \text{ Fr} \cdot N [1+((d/D).\cos\alpha)] = 440 \text{ Hz}$$

- Fréquence de passage d'un défaut de bille sur la bague externe ou interne

$$F(\text{bille})=0.5 \text{ Fr} (D/d) [1-(d.\cos\alpha/D)^2] = 131.7 \text{ Hz}$$

- Fréquence de passage de défaut de cage

$$F(\text{cage})=0.5 \text{ Fr} [1-((d/D) \cos\alpha)] = 20.8 \text{ Hz}$$

V.7.1.4. Défaut de pompe

- Fréquence de défaut de pompe

$$F_p = F_r \times N \text{ (nombre d'ailettes)} = 48.33 \times 6 = 289.98 \text{ Hz}$$

$$F \text{ (pompe)} = 289.98 \text{ Hz}$$

V.7.2. Etude des spectres

V.7.2.1. Moteur

A) Coté accouplement

Nous allons présenter les spectres mesurés sur le point 2 (Figure V.8) (coté axial, vertical, horizontal) avec des différents fréquences de défaut (F_{cage} , F_{bille} , F_{ext} , F_{int}) représentés par des pics sur les spectres suivants avec des plage de fréquences qui varient entre 0Hz a 1600Hz ainsi que un zoom de 0Hz a 200Hz.

a. Fréquences de défaut de la cage

Horizontal (0Hz a 1600Hz)

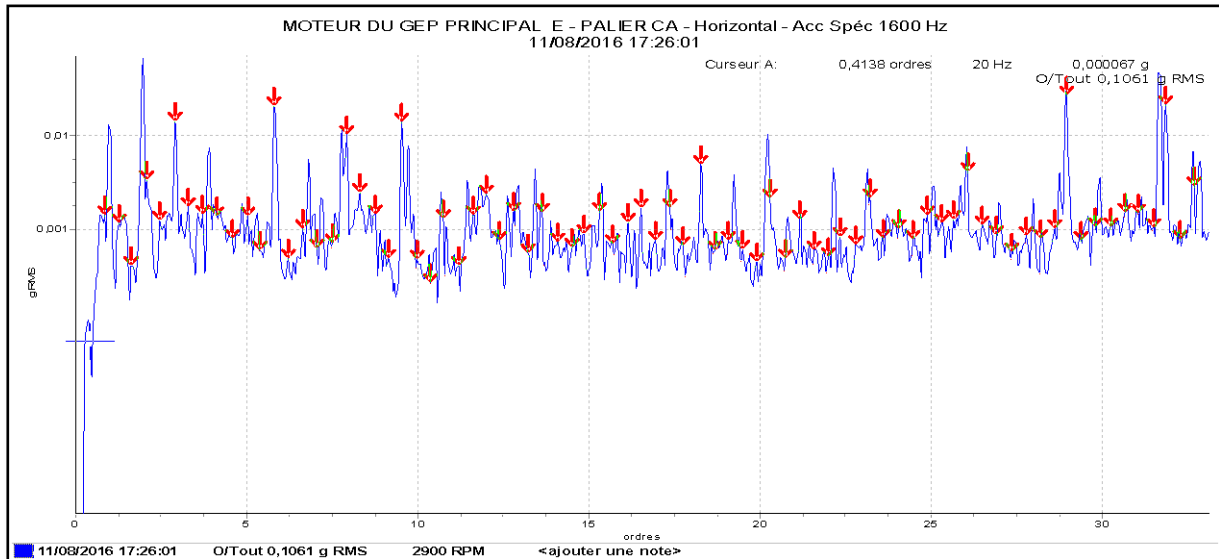


Figure V.9

Vertical (0Hz a 200Hz)

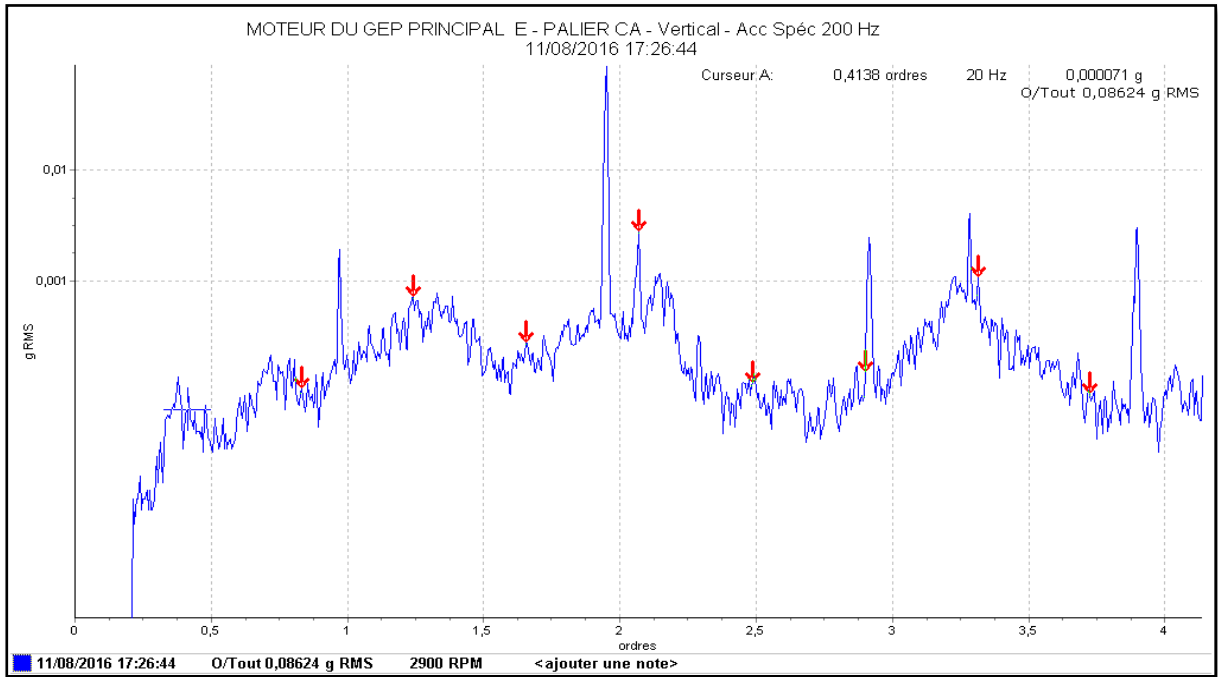


Figure V.10

Axial (0Hz a 200Hz)

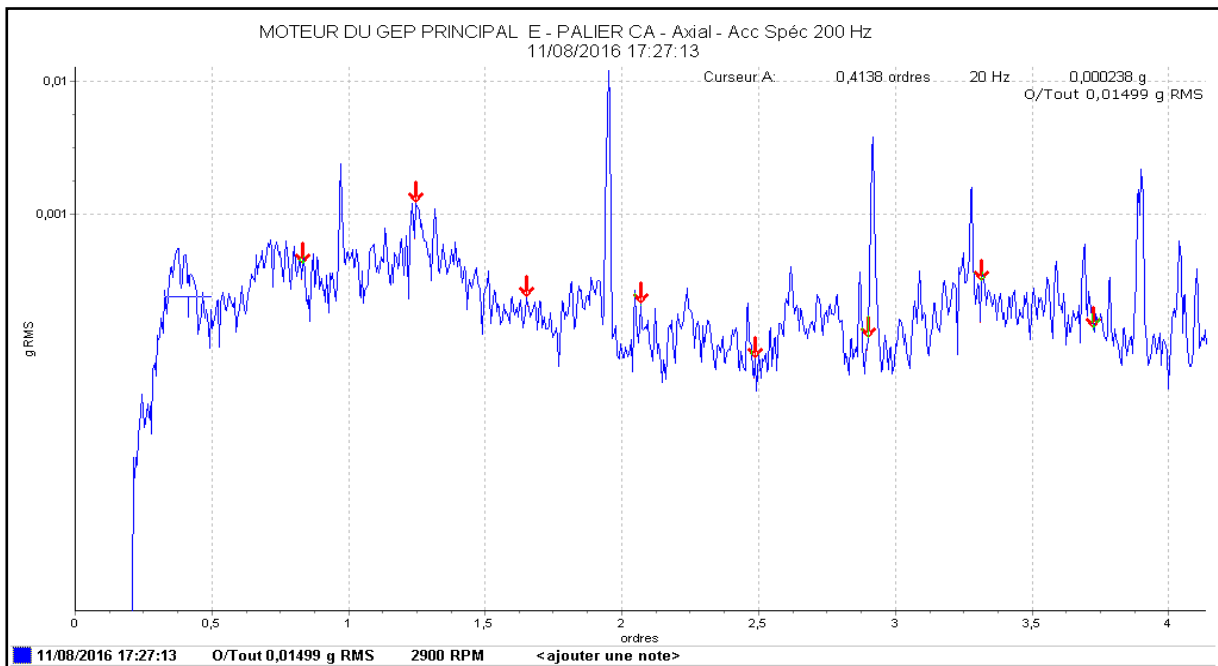


Figure V.11

b. Fréquences de défaut de bille

Horizontal (0Hz a 1600Hz)

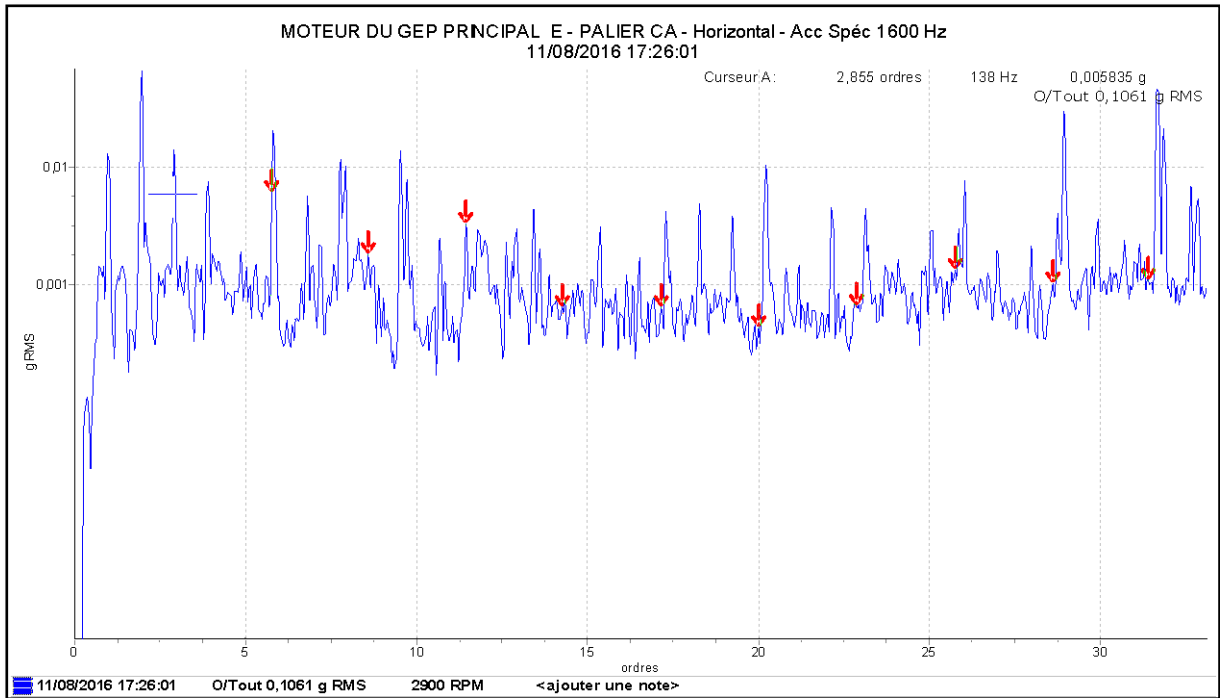


Figure V.12

Axial (0Hz a 1600Hz)

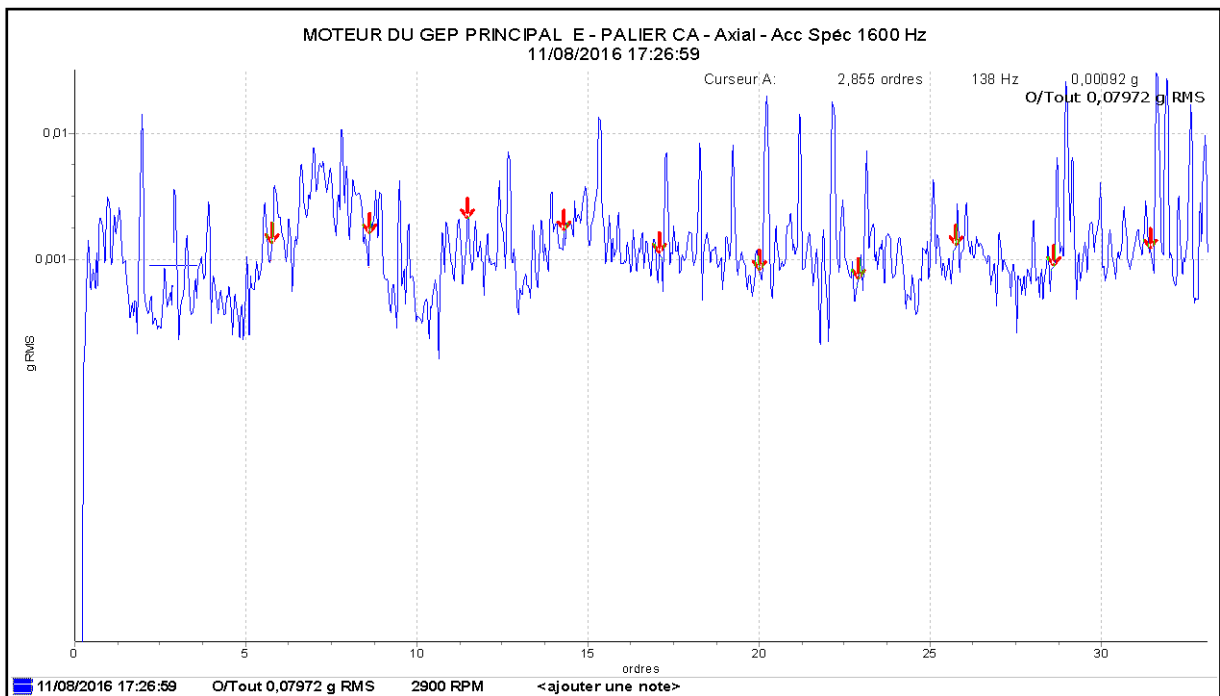


Figure V.13

Vertical (0Hz a 1600Hz)

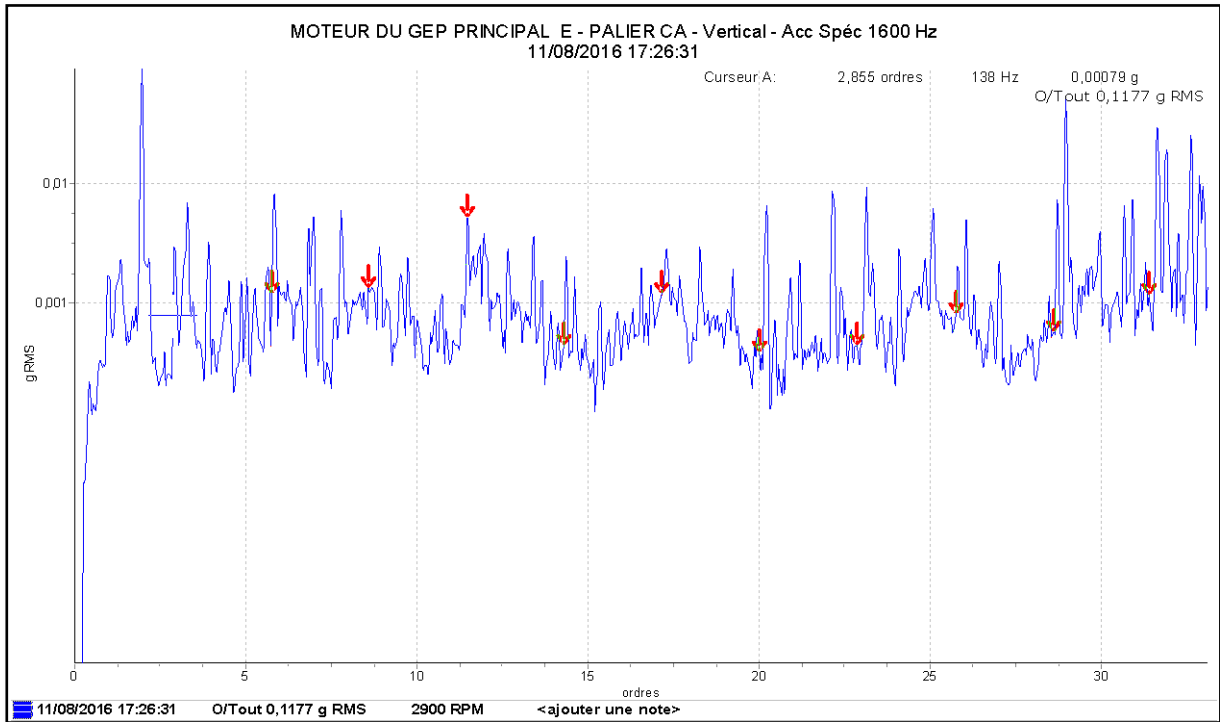


Figure V.14

c. Fréquences de rotation

Horizontal (0Hz a 1600Hz)

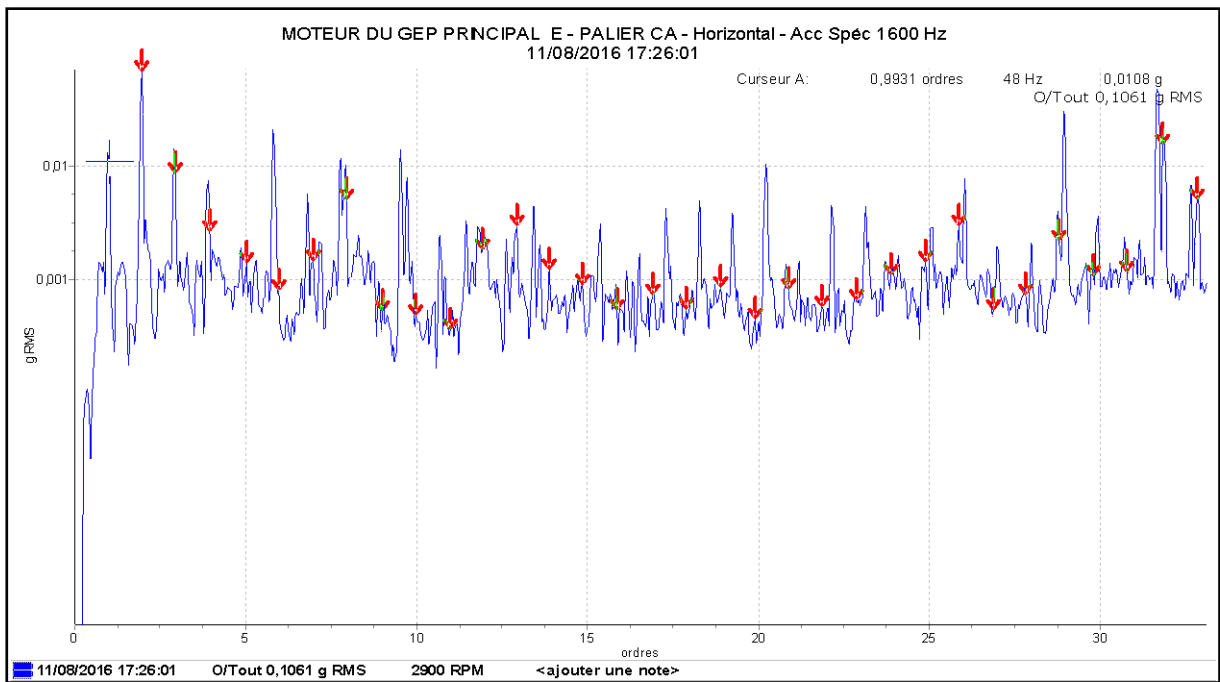


Figure V.15

Axial (0Hz a 1600Hz)

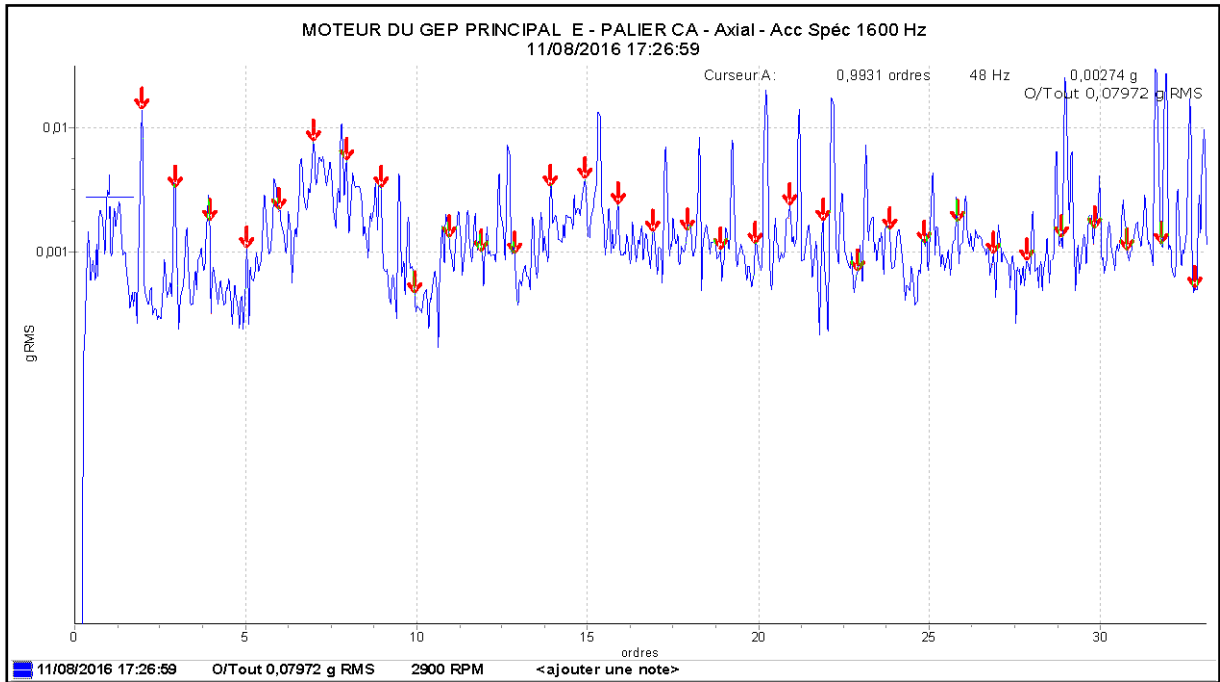


Figure V.16

Vertical (0Hz a 1600Hz)

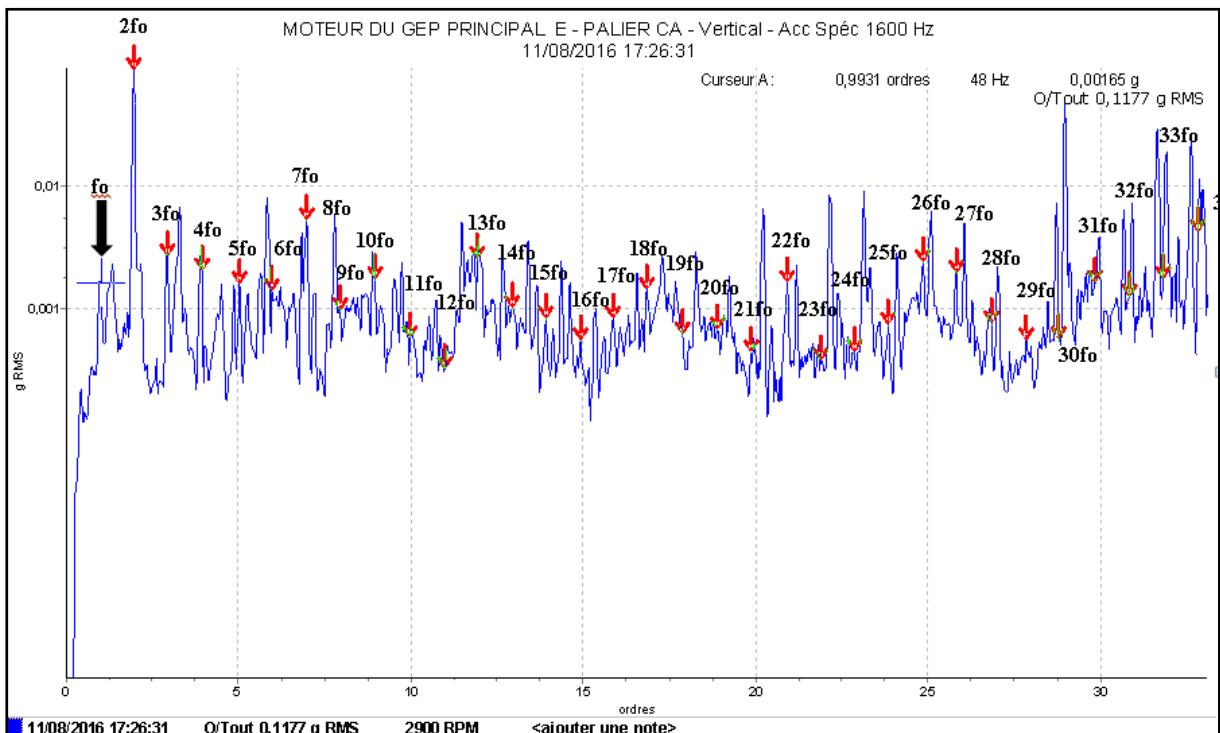


Figure V.17

d. Fréquences de défaut de bague interne

Horizontal (0Hz a 1600Hz)

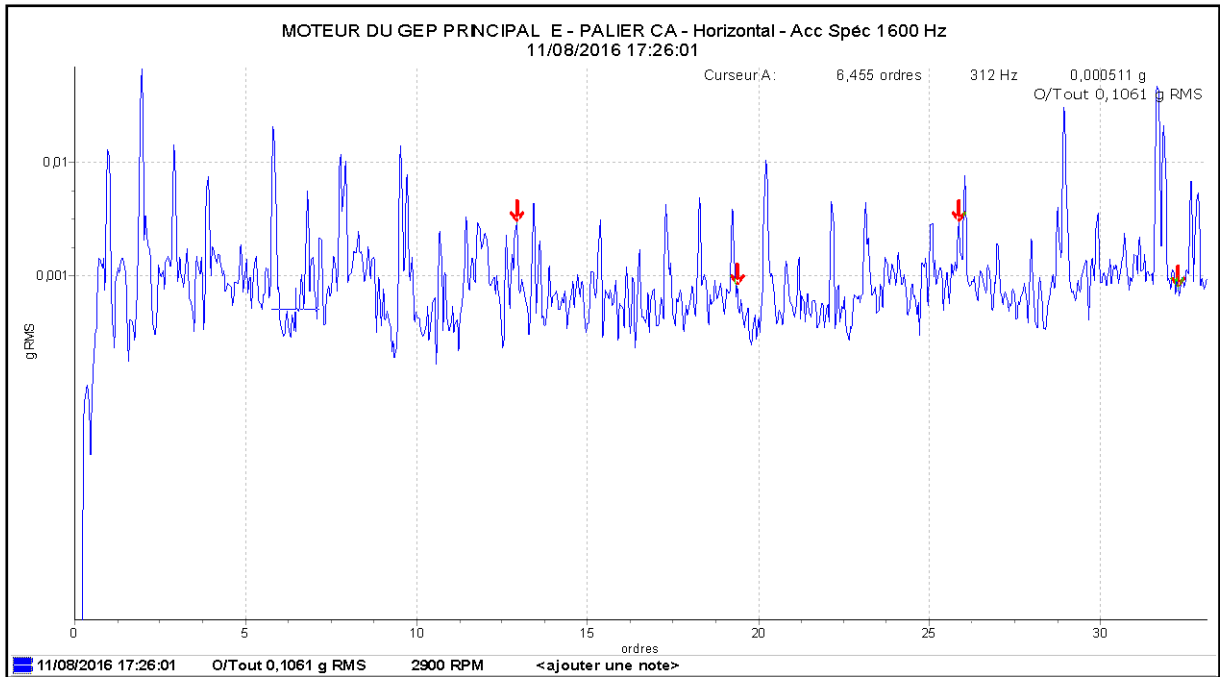


Figure V.18

Vertical (0Hz a 1600Hz)

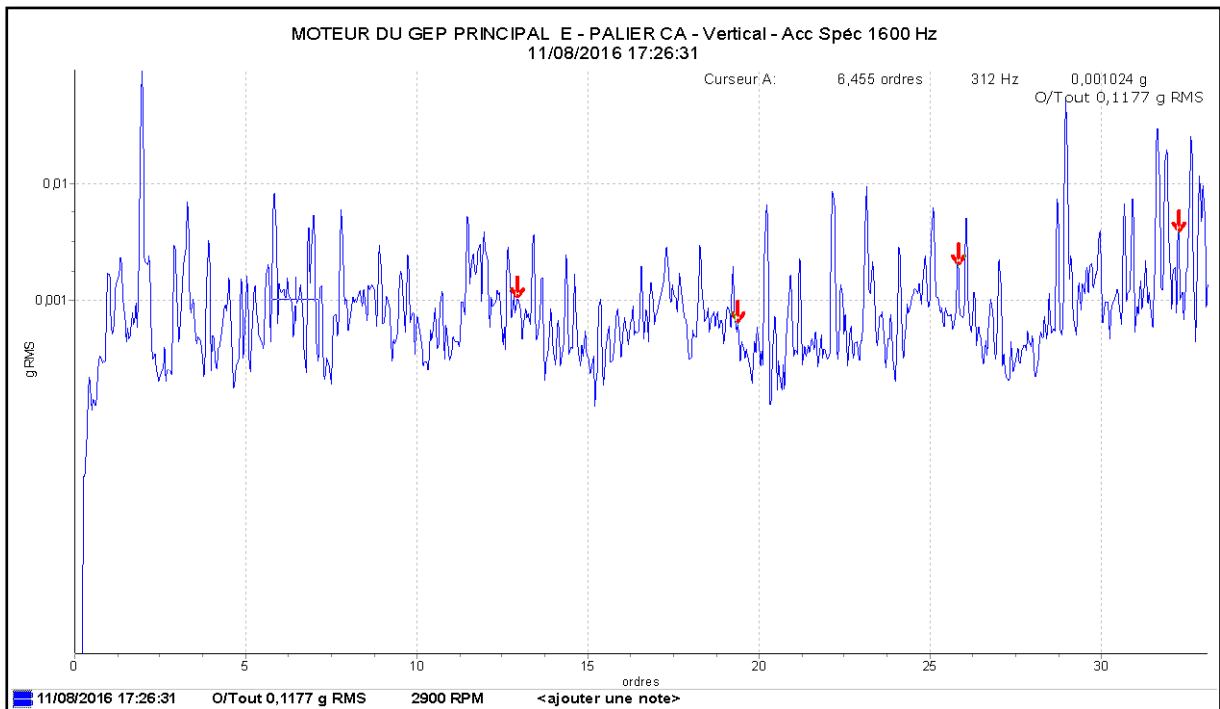


Figure V.19

Axial (0Hz a 1600Hz)

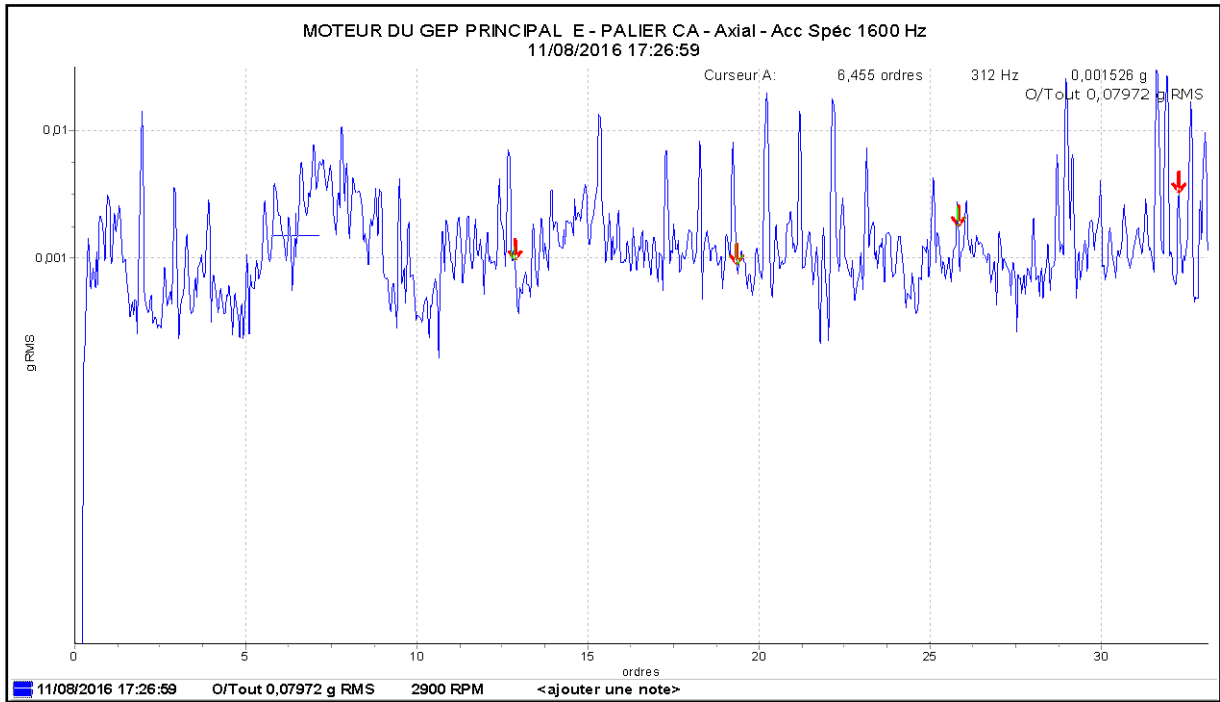


Figure V.20

e. Fréquences de défaut de bague externe

Horizontal (0Hz a 1600Hz)

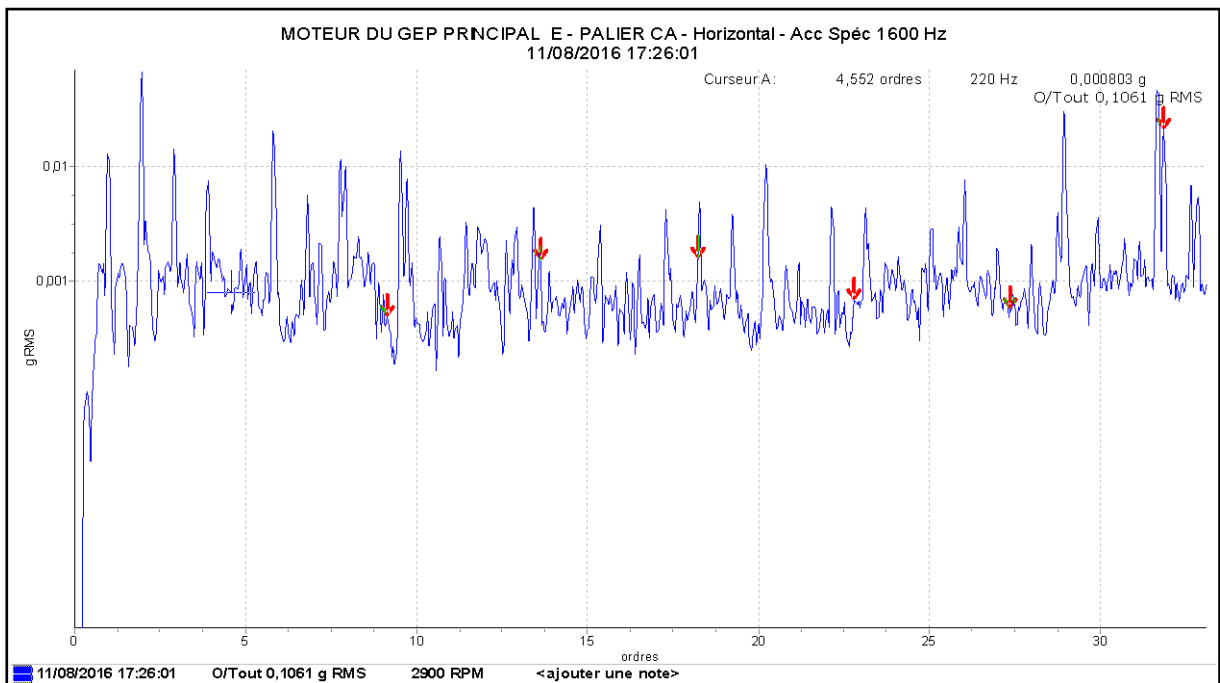


Figure V.21

Axial (0Hz a 1600Hz)

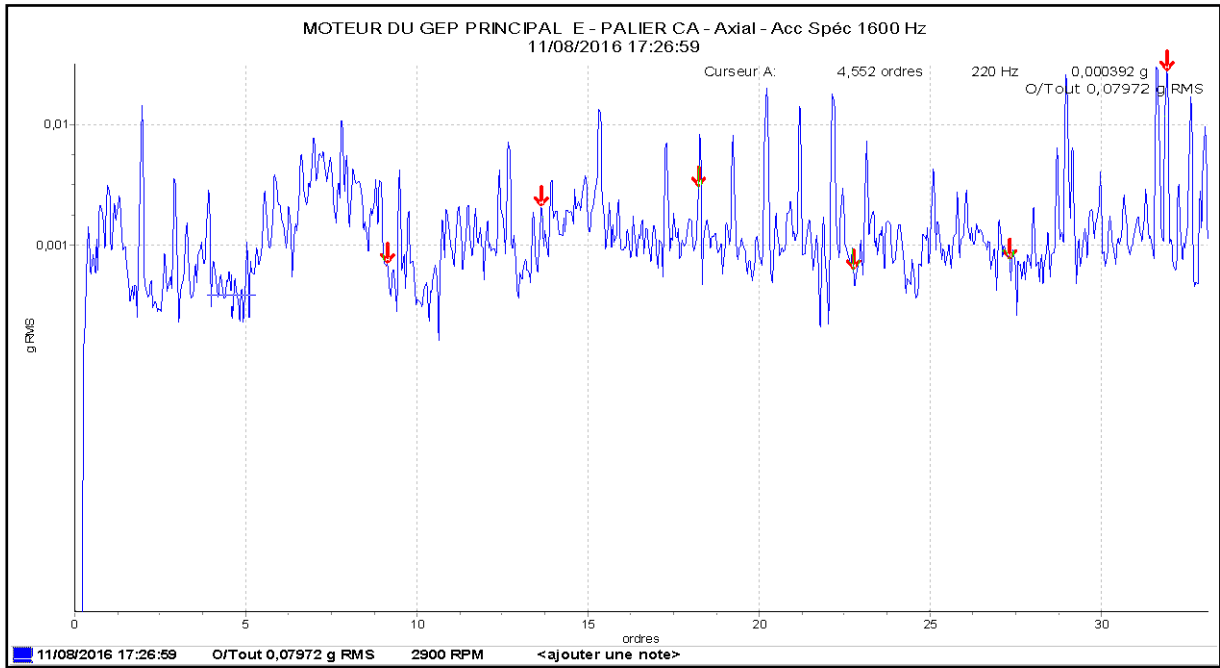


Figure V.22

Vertical (0Hz a 1600Hz)

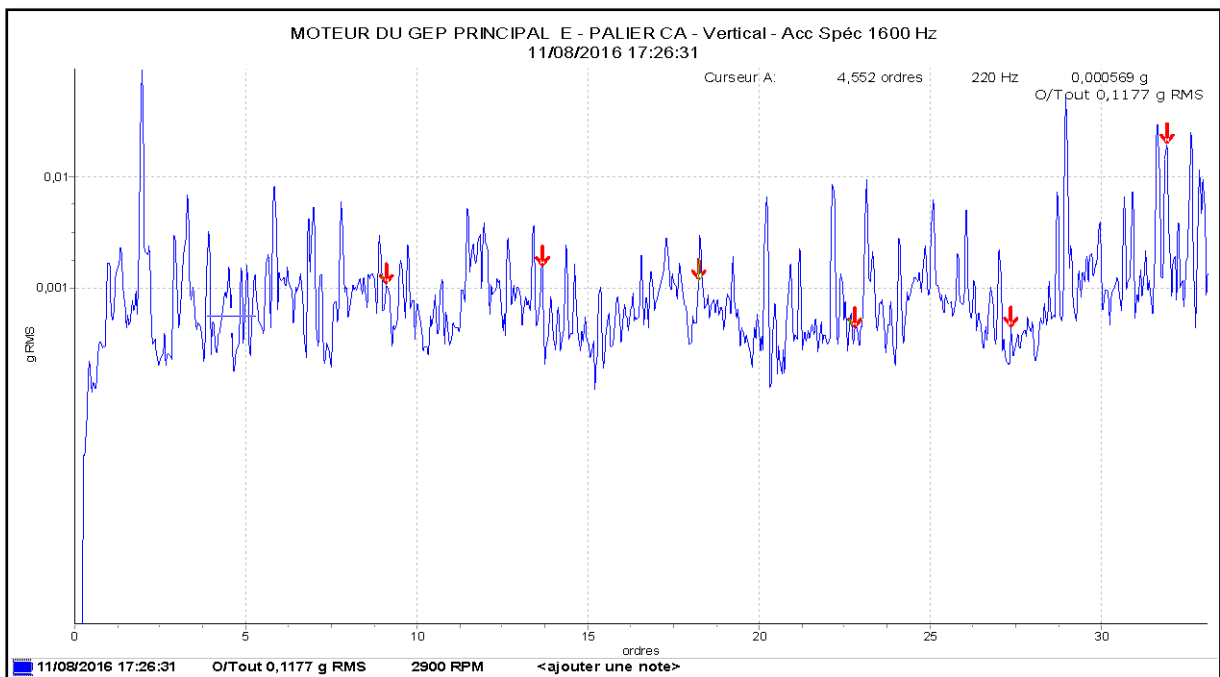
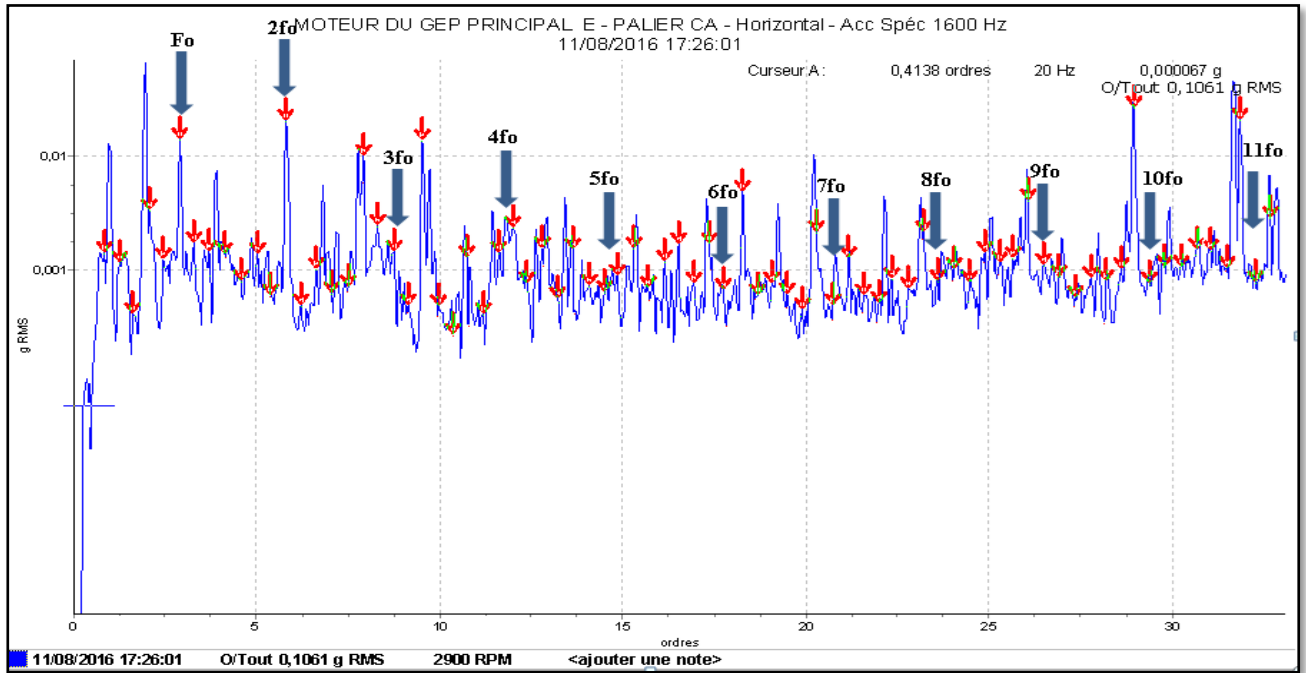


Figure V.23

Sur la figure suivante (Figure V.24) nous allons interposer le spectre qui représente la fréquence de défaut de bille et ses multiples (Figure V.9) avec le spectre qui représente la fréquence de défaut de cage ainsi que ses multiples (Figure V.12).

Horizontal (0Hz a 1600Hz)

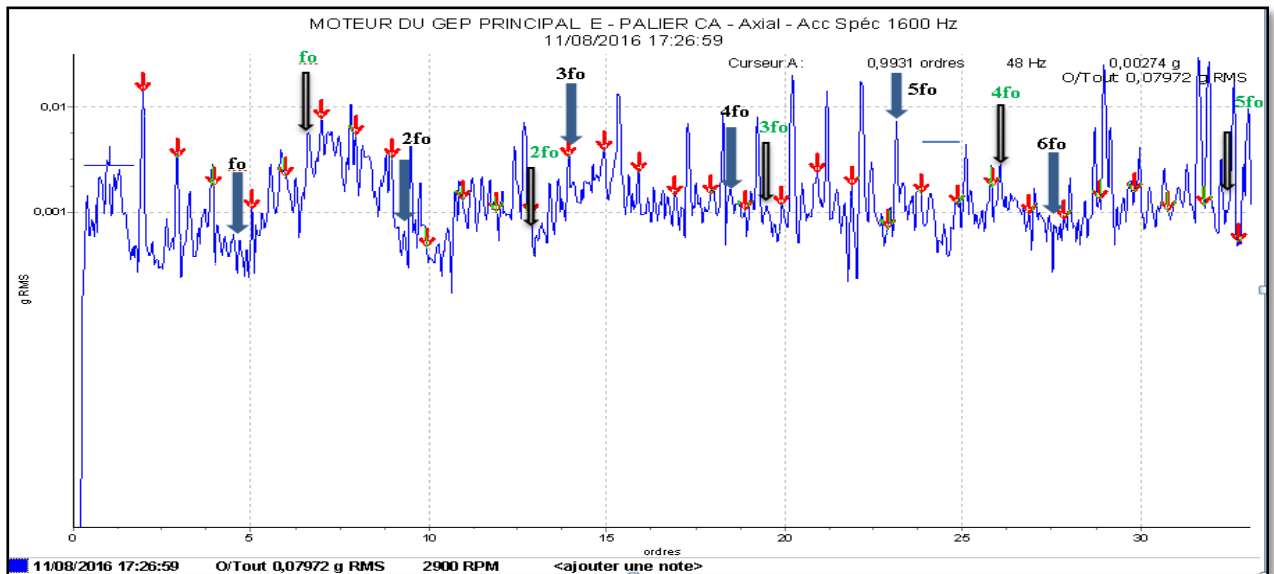


↓ : Défaits de billes ↓ : Défaits de cage

Figure V.24

Sur la figure suivante (Figure V.25) nous allons interposer le spectre qui représente la fréquence de défaut de bague interne et ses multiples (Figure V.20) avec le spectre qui représente la fréquence de bague externe et ses multiples (Figure V.22) ainsi que le spectre qui représente la fréquence de rotation et ses multiples (Figure V.16) .

Axial (0Hz a 1600Hz)



↓ : Fréquences de défauts de bague interne. ↓ : Fréquences de défauts de bague externe. ↓ : Fréquences de rotation.

Figure V.25

Sur la figure suivante (Figure V.26) nous avons un spectre avec une plage de fréquence beaucoup plus importante que celles qu'on a vu au-dessus (une plage de fréquence atteignant 3000Hz) ainsi que sont signal temporel .

Axial (0Hz a 3000Hz)

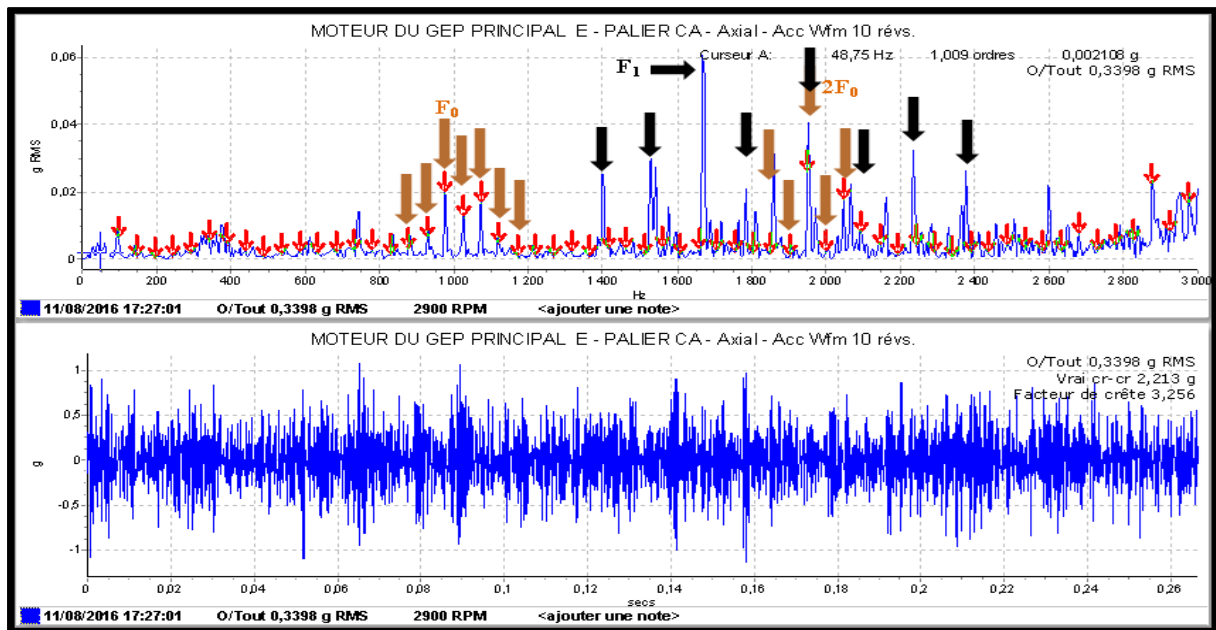


Figure V.26

➤ Interprétation des figures

▪ Figure V.17

Nous constatons un pic d'amplitude $F_0=0.00165g$ correspondant à la fréquence de rotation, par la suite nous remarquons une élévation considérable à $2F_0$ avec une diminution important en amplitude pour F_3 F_4 et F_5 qui est égale $0.06579g$, d'après cette allure-là nous avons une probabilité d'avoir une naissance du défaut désalignement.

▪ Figure V.24

Un défaut sur une bille a pour une image vibratoire un pic à la fréquence de défaut de bille avec des raies toutes autour qui forme un peigne, à chaque multiple de f_0 , ses raies latérales qui forme des bandes sont espacés avec la fréquence de défaut de cage; Sur cette figure on remarque qu'on a seulement F_0 (bille) et $2F_0$ (bille) qui sont des pics importants par rapport aux autres mes leur d'amplitudes restes petits et ils ne sont espacés que par des multiples de F_{cage} très petits alors on conclut que ce défaut n'est pas très important.

▪ Figure V.25

Un défaut de bague interne ou externe a pour image vibratoire un pic d'amplitude considérable avec des raies qui forme un peigne, et à chaque composante de ce peigne, sont espacées de fréquence de rotation. Sur cette figure on remarque qu'à F_0 (fréquence de défaut de bague interne) (représenté en noir) on a un pic d'amplitude égale a ($F_0=0.000511g$) qui est négligeable tout comme $2F_0$, $3F_0$, $4F_0$,..... etc. même chose pour la fréquence de défauts de la bague externe (en bleu) ou on remarque un pic $F_0=0.000803g$ ainsi que ses multiples qui sont négligeables vu leurs faibles amplitudes.

▪ Figure V.26

On remarque un pic correspondant à la fréquence $F_0 = 975.835$ (marron) Hz qui se répète à la fréquence $2F_0 = 1951.67$ Hz tout en étant entourés avec des raies latérales espacés par la fréquence de rotation mais de faible amplitude tout comme les deux fréquences F et $2F$; on en déduit qu'on a peut-être à faire à un choc périodique mais qui reste négligeable vu les basses amplitudes auxquelles on a à faire ; il peut être dû à une particule abrasive qui est molle ou est dû à un écaillage de la bague Int ou ext .

Nous constatons sur la même figure qu'à la fréquence $F_1 = 1653.7$ Hz nous avons un grand pic d'amplitude 0.062 g associé avec des raies toute autour, espacés d'une fréquence égale à 139.5 Hz qui correspond à la fréquence de défaut de bille, alors pour les hautes fréquences, le défaut de bille se manifeste un peu plus claire mais son amplitude reste toutefois négligeable.

B. Côté opposé accouplement

Même chose que pour les spectres qu'on a vu précédemment sauf que cette fois les figures que nous allons présenter ont été prises sur le point 1 (Figure V.8) avec une plage de fréquence plus grande atteignant cette fois ci les 3000 Hz.

a. Fréquences de défaut de cage

Axial (0Hz a 200Hz)

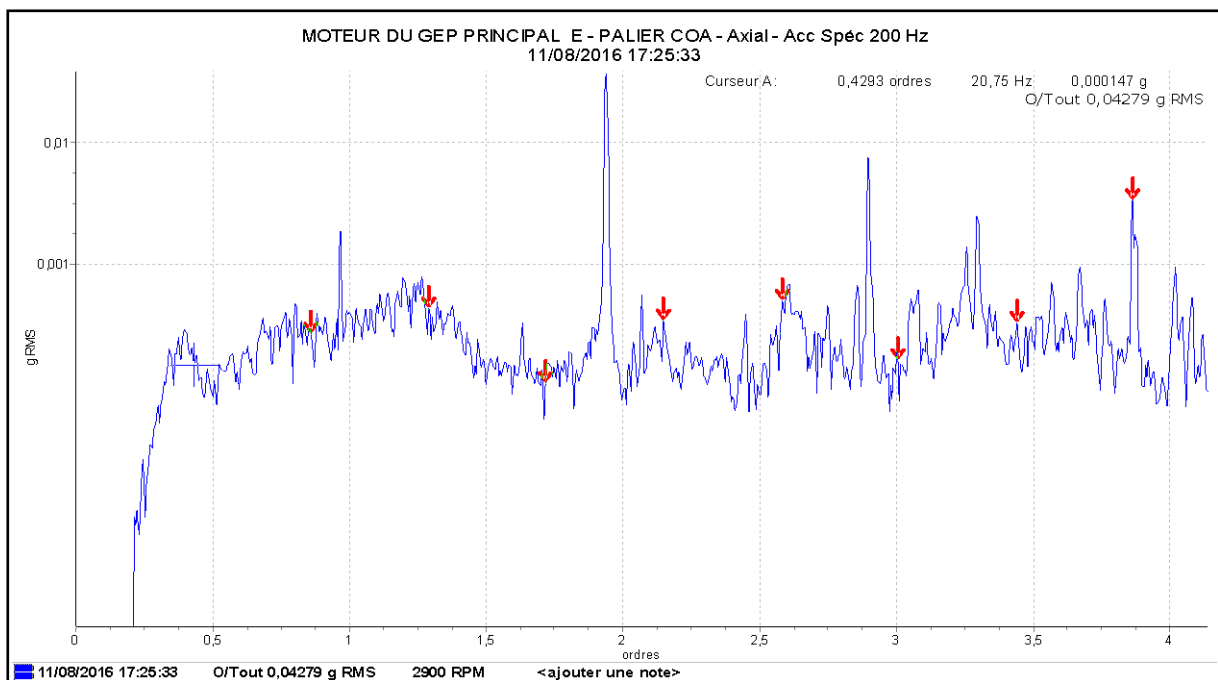


Figure V.27

Vertical (0Hz a 200Hz)

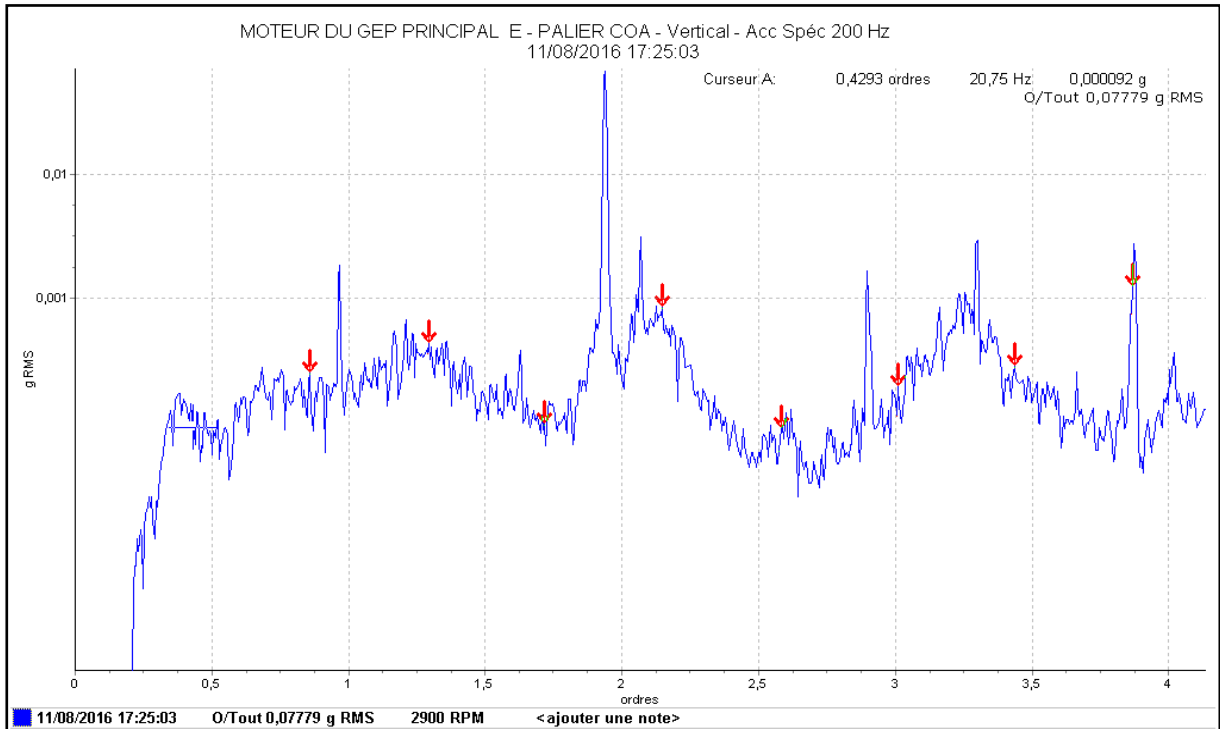


Figure V.28

Horizontal (0Hz a 1600Hz)

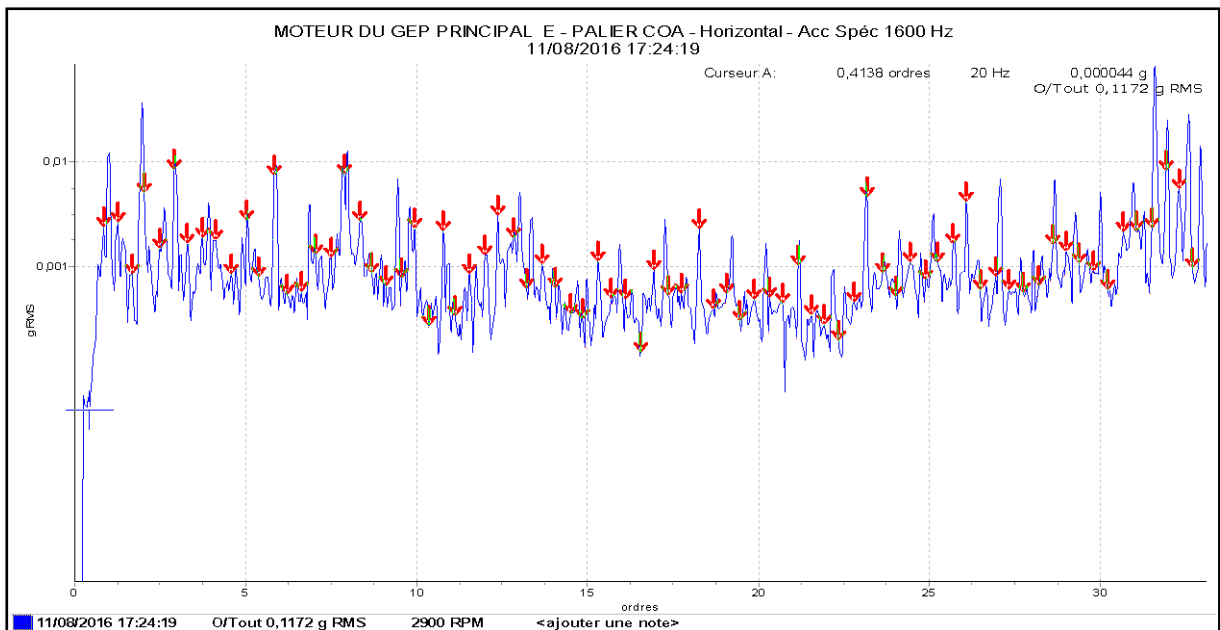


Figure V.29

b. Fréquences de défaut de bille

Axial (0Hz a 3000Hz)

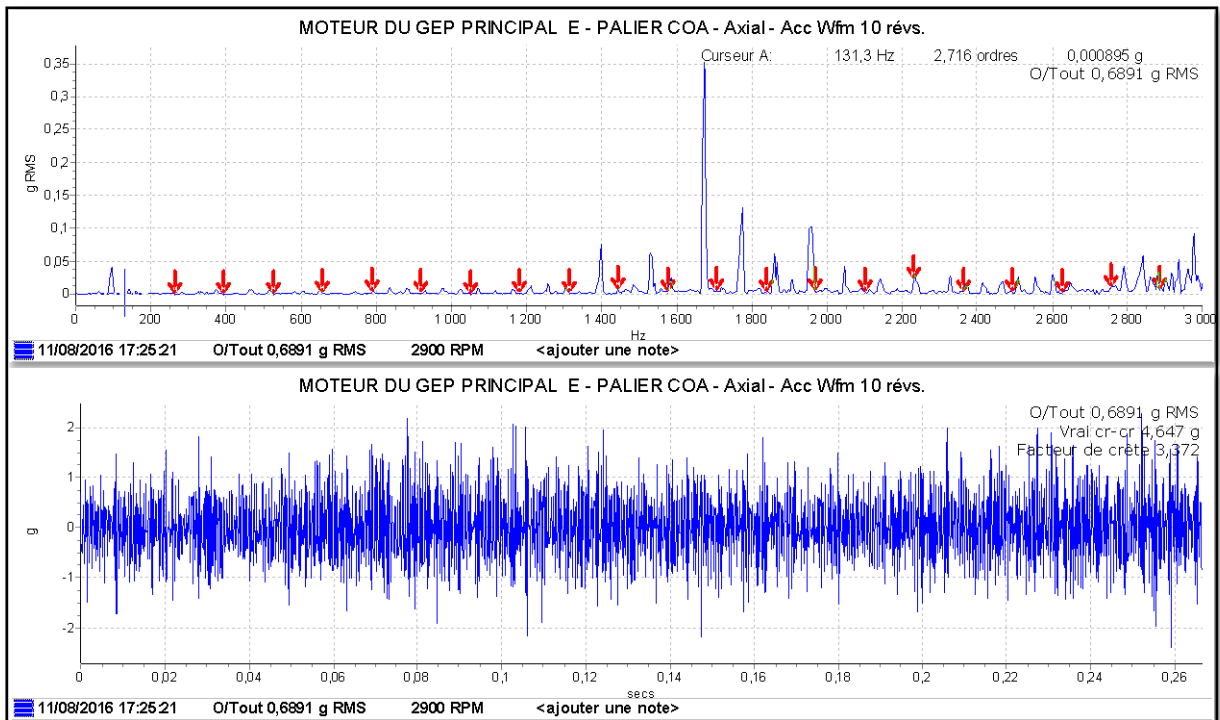


Figure V.30

Vertical (0Hz a 3000Hz)

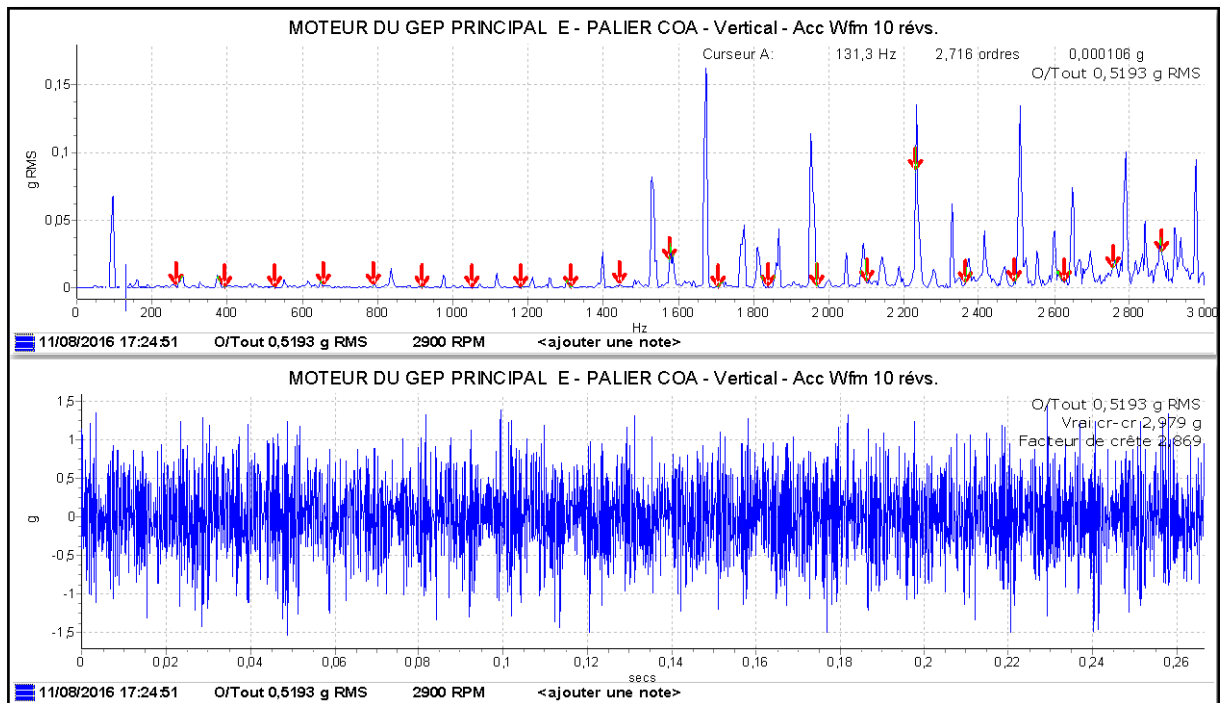


Figure V.31

Horizontal (0Hz a 3000Hz)

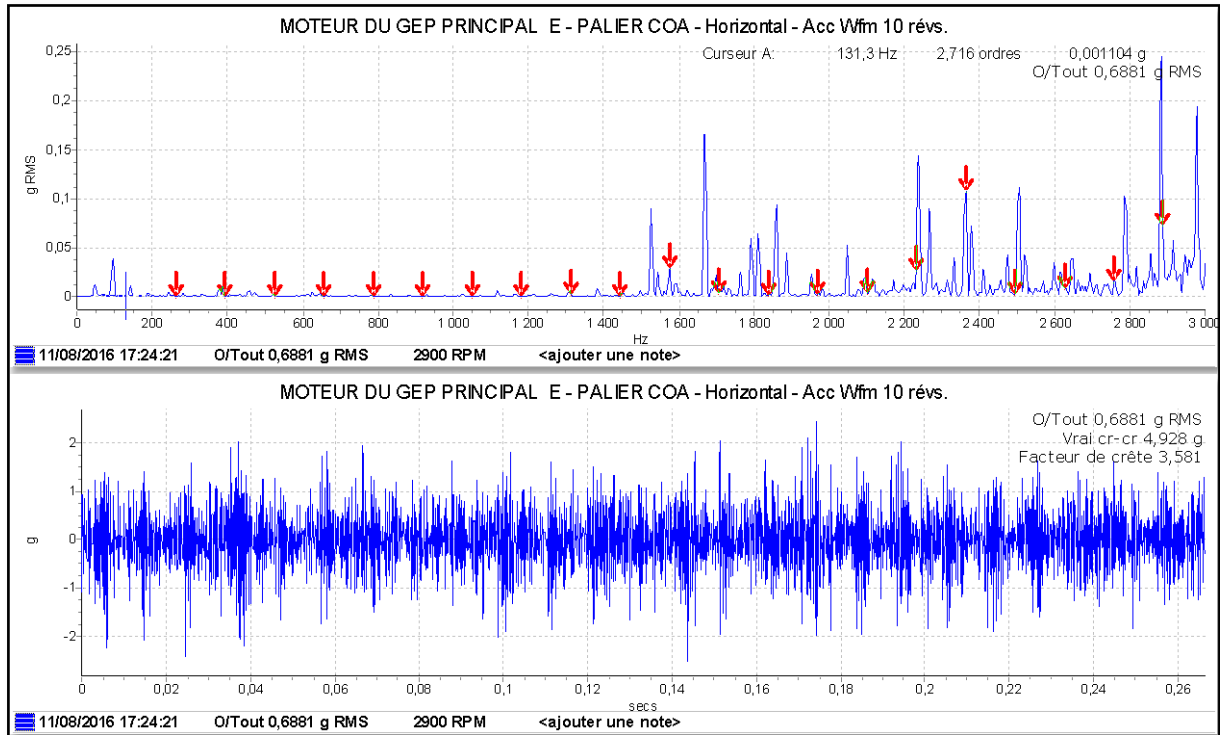


Figure V.32

c. Fréquences de rotation

Axial (0Hz a 1600Hz)

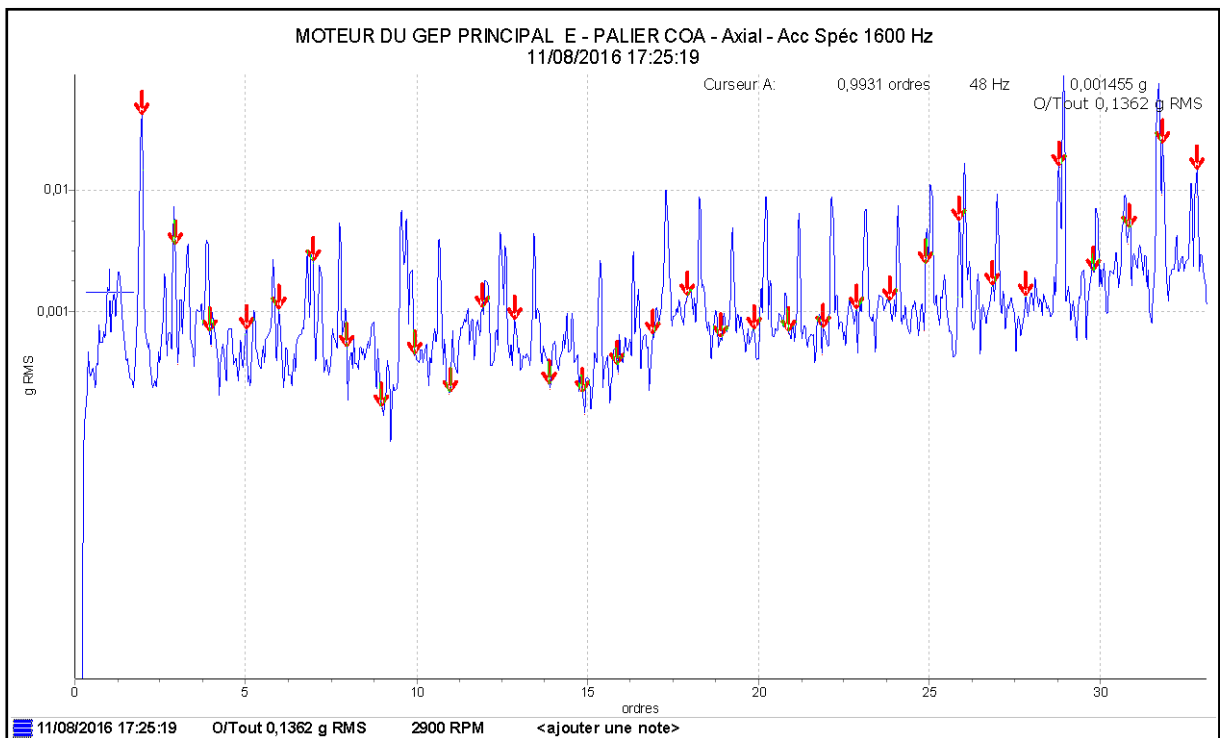


Figure V.33

Vertical (0Hz à 1600Hz)

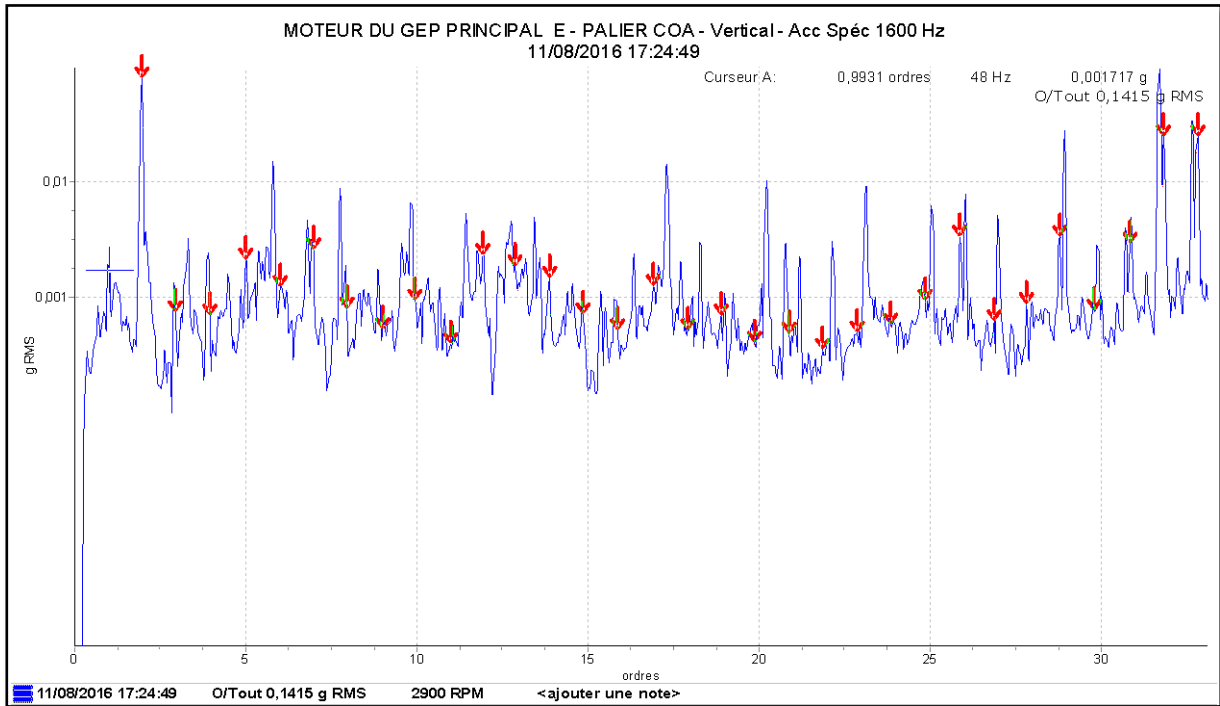


Figure V.34

Horizontal (0Hz a 1600Hz)

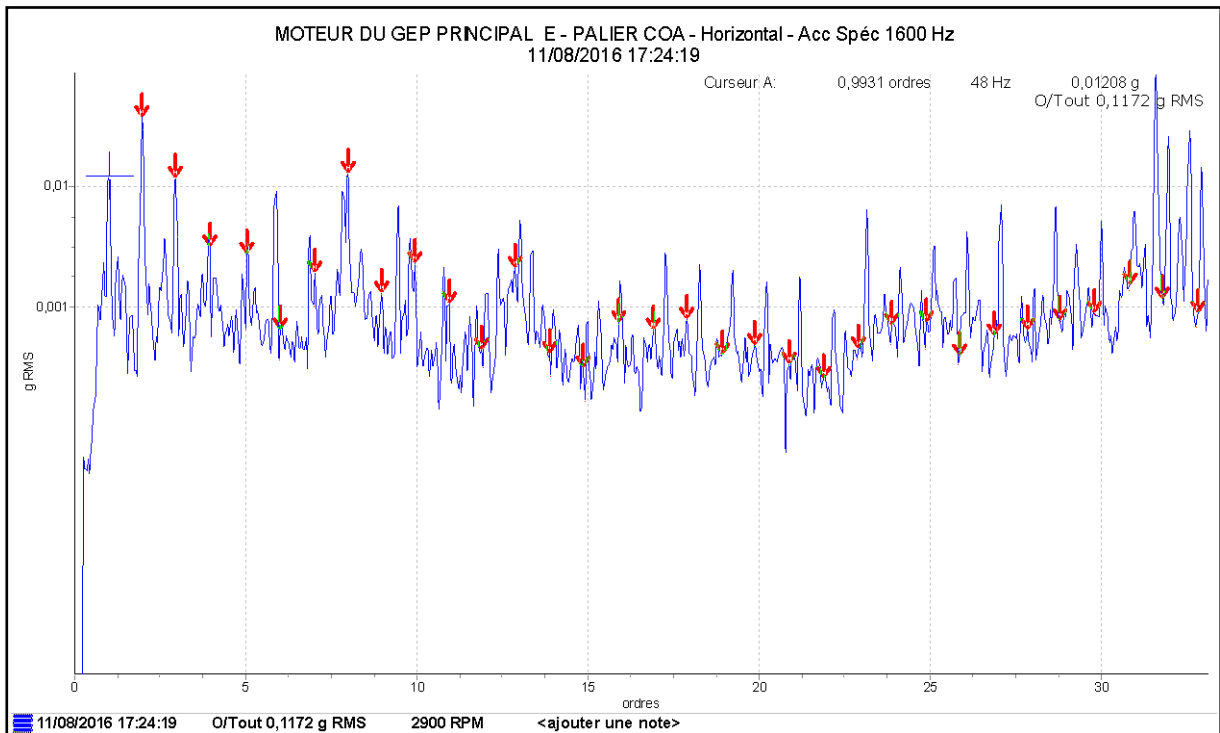


Figure V.35

d. Fréquence de défaut de bague intérieure

Axial (0Hz a 3000Hz)

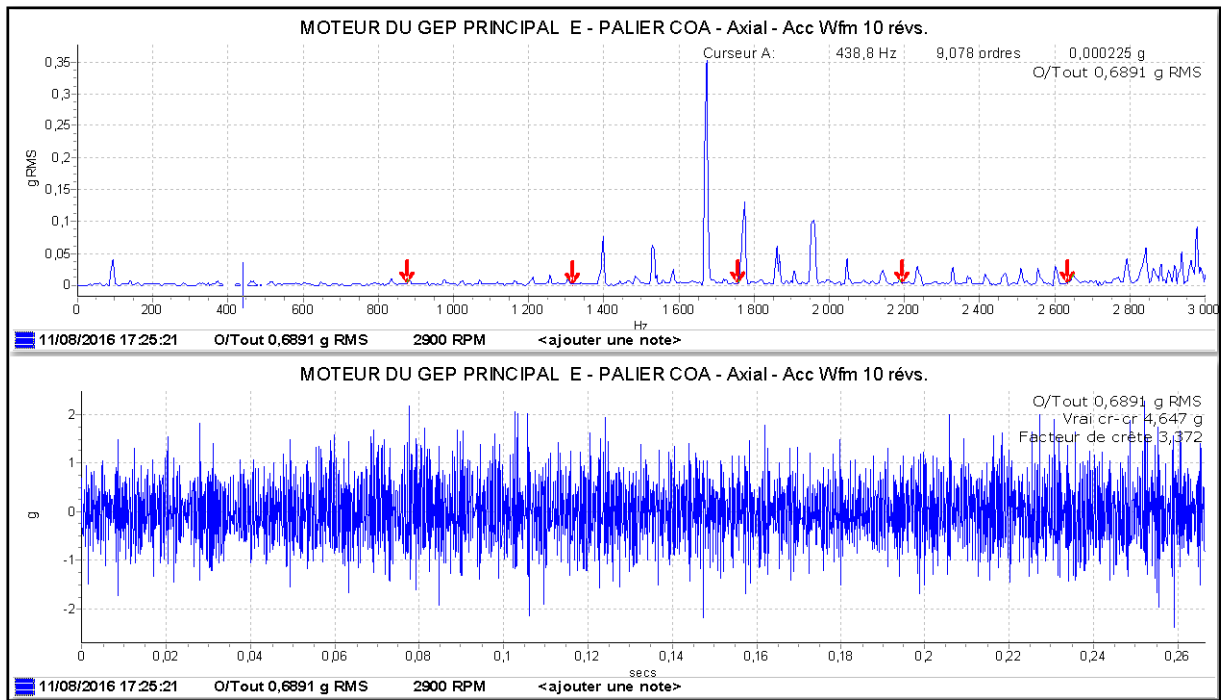


Figure V.36

Vertical (0Hz a 3000Hz)

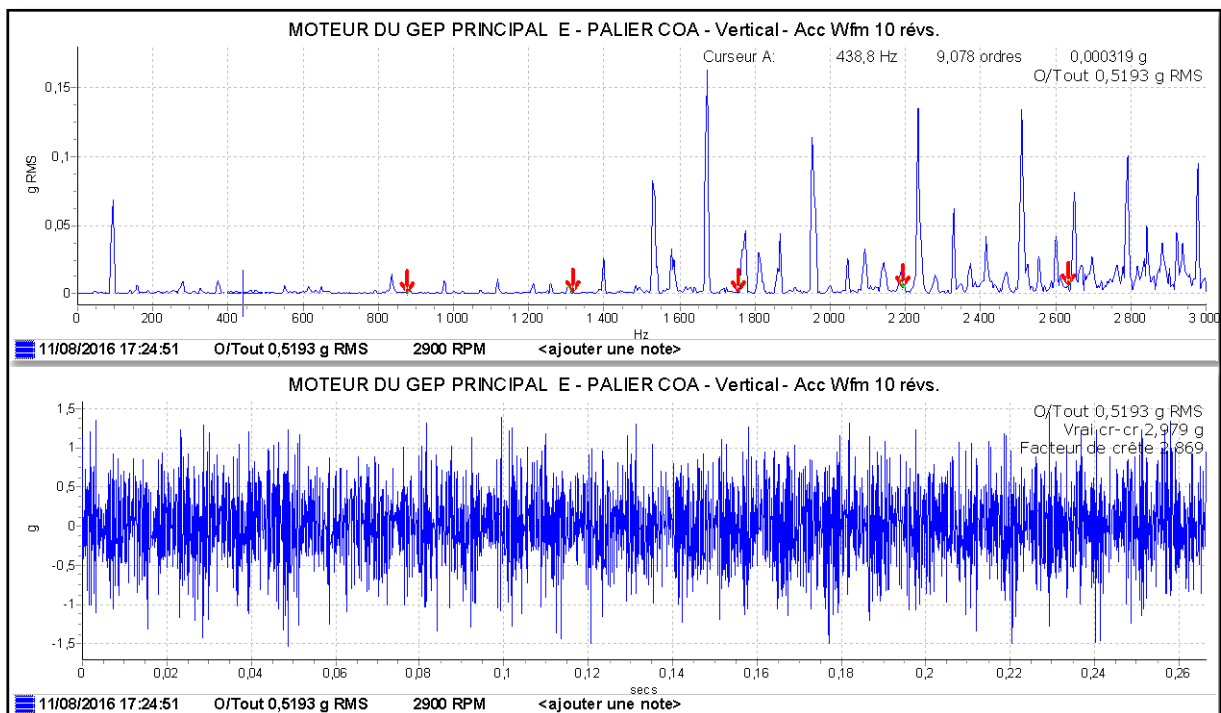


Figure V.37

Horizontal (0Hz a 3000Hz)

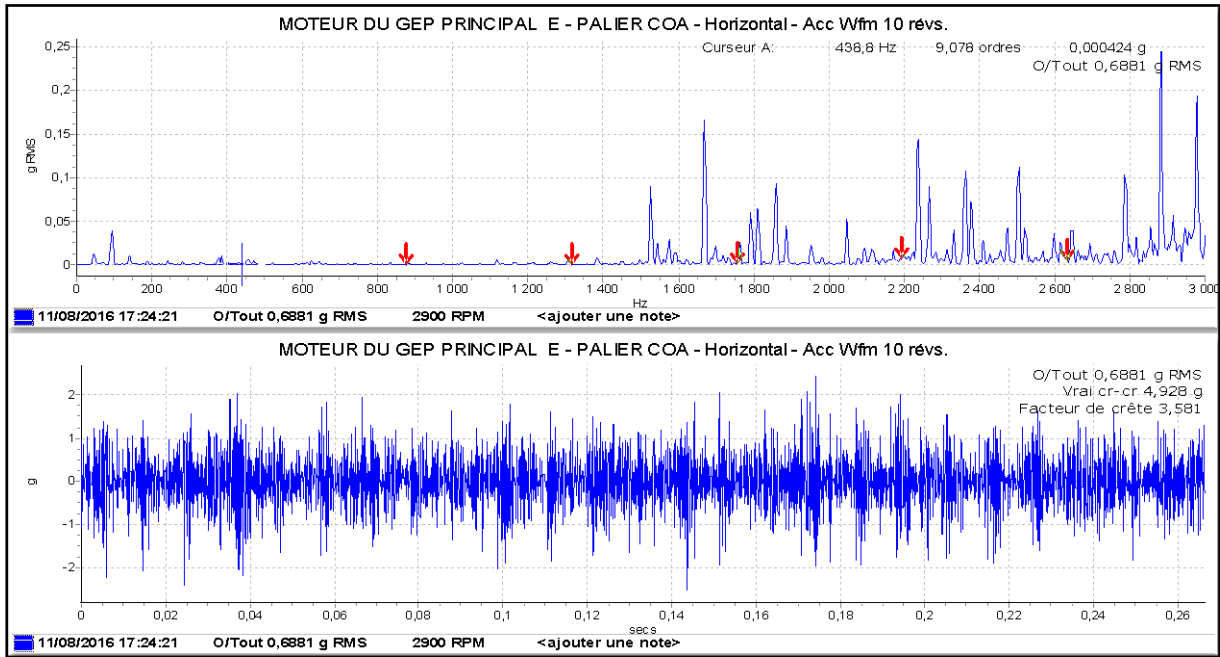


Figure V.38

e. Fréquences de défaut de bague extérieure

Axial (0Hz a 3000Hz)

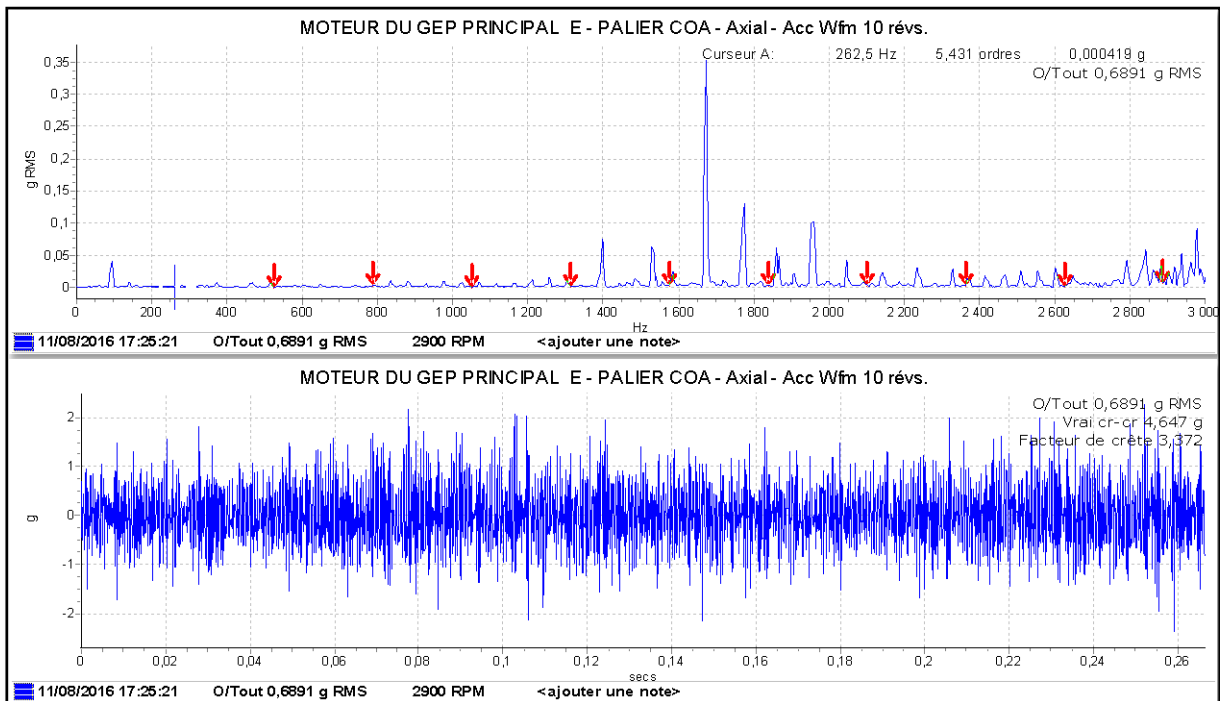


Figure V.39

Vertical (0Hz a 3000Hz)

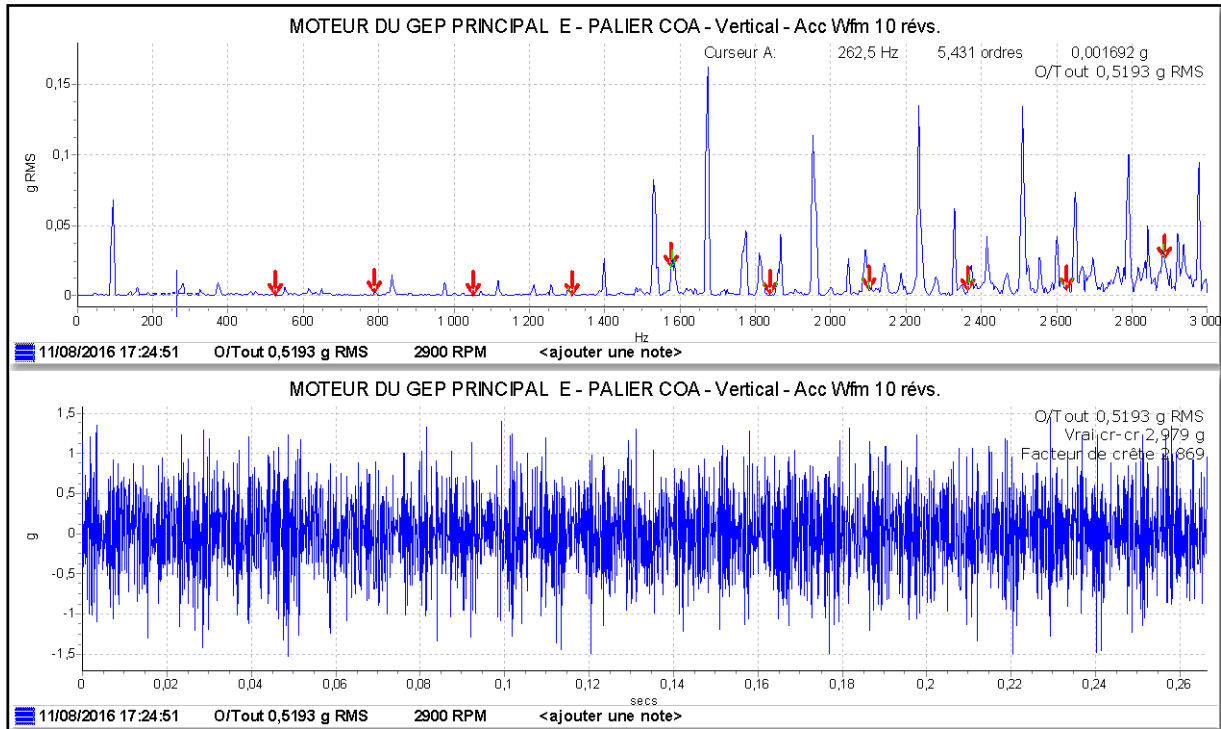


Figure V.40

Horizontal (0Hz à 3000Hz)

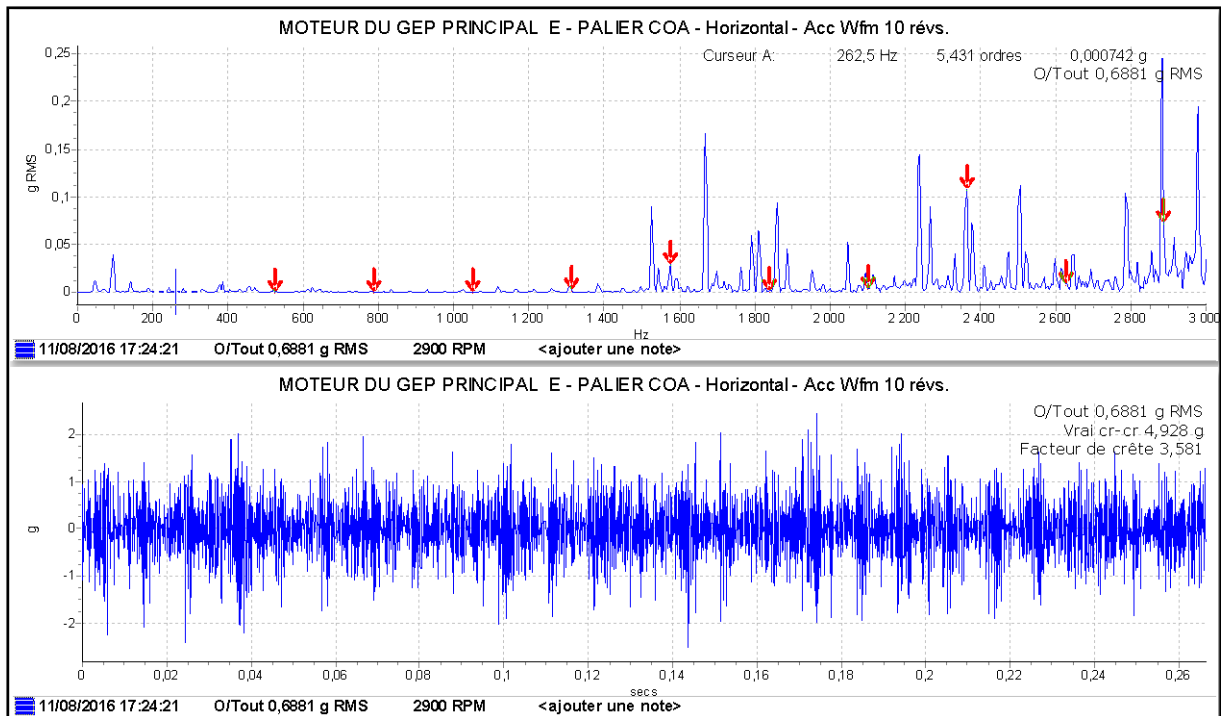
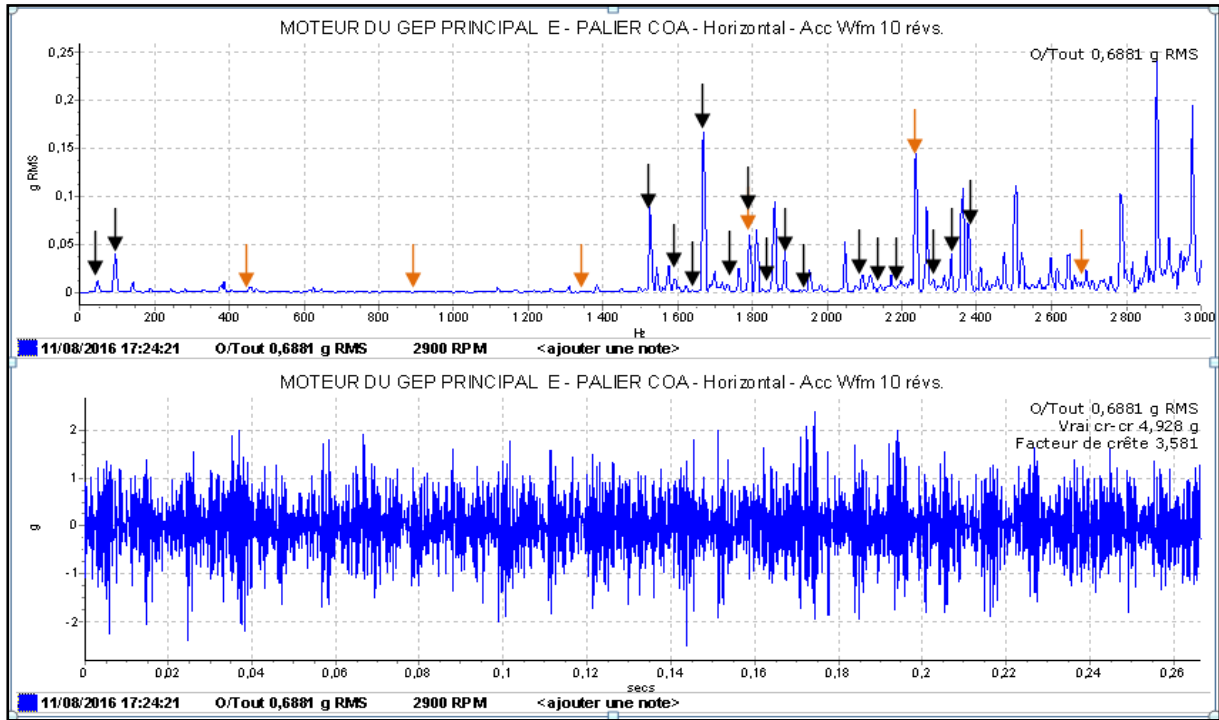


Figure V.41

Sur la figure suivante (Figure V.42) nous allons interposer le spectre qui représentant le pic à la fréquence de défaut de bague interne ainsi que ses multiples (Figure V.38) avec le spectre qui correspond à le pic à la fréquence de rotation et ses multiples (Figure V.35) Horizontal (0Hz à

3000Hz)

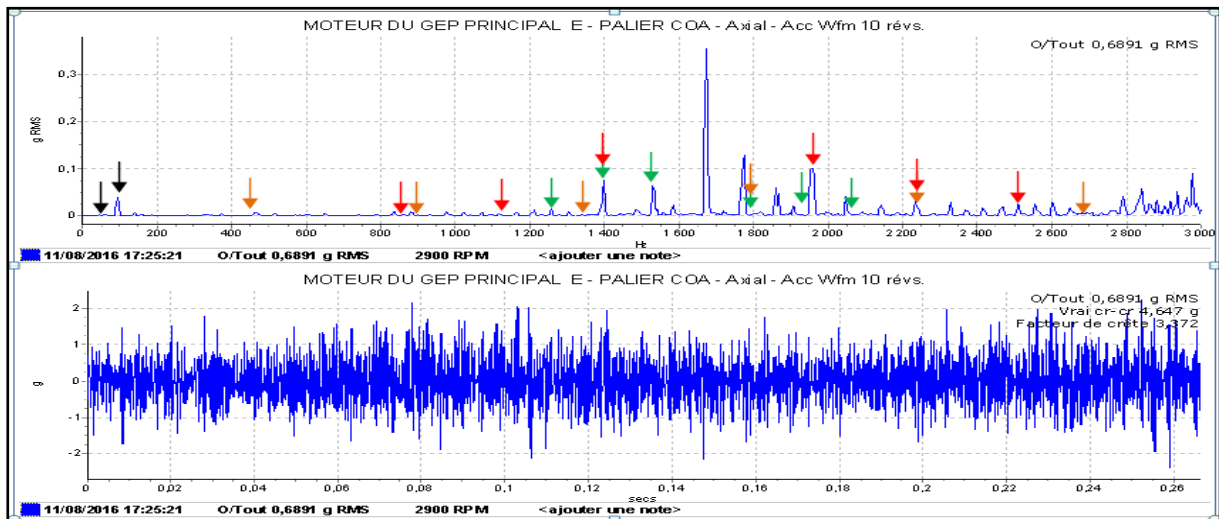


↘ : Fréquences de défaut de bague intérieur. √ : Fréquences de rotation.

Figure V.42

Sur la figure suivante (Figure V.43) nous allons interposer le spectre représentant les multiples des fréquences de défaut de bague interne (Figure V.36) avec le spectre représentant les multiples des fréquences de rotation (Figure V.33) le spectre des multiples de défauts de billes (Figure V.30) ainsi que celui des défauts de bague externes (Figure V.39).

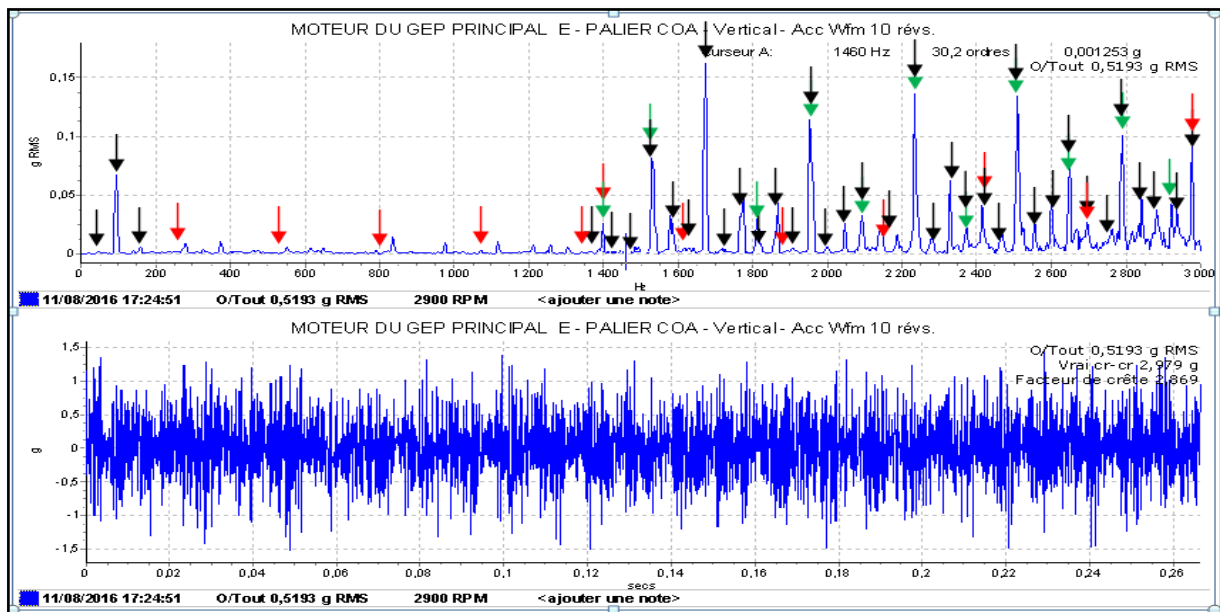
Axial (0Hz à 3000Hz)



√ : Fréquences de rotation
 √ : Fréquence de défaut de bille
 √ : Fréquences de défaut de bague intérieure
 √ : Fréquences de défaut de bague extérieure

Figure V.43

Sur la figure qui suit (Figure V.44) nous allons interposer le spectre représentant les multiples des fréquences de rotation (Figure V.34) ainsi que le spectre des fréquences de défaut de billes (Figure V.31) et enfin en ajoutant le spectre des fréquences de défaut de bague extérieure (Figure V.40) dans un plan Vertical (0Hz à 3000Hz)



↘ : Fréquences de rotation. ↘ : Fréquences de défaut de bague extérieure. ↘ : Fréquences de défauts de billes

Figure V.44

Même chose que pour la figure (V.44), sur la figure (V.45) on utilisera les mêmes fréquences de défaut sauf que cette fois ci les fréquences de défaut de bague extérieure seront étudiés autour du pic de résonance a la fréquence $f=1663.4$ HZ.

Vertical (0Hz à 3000Hz)

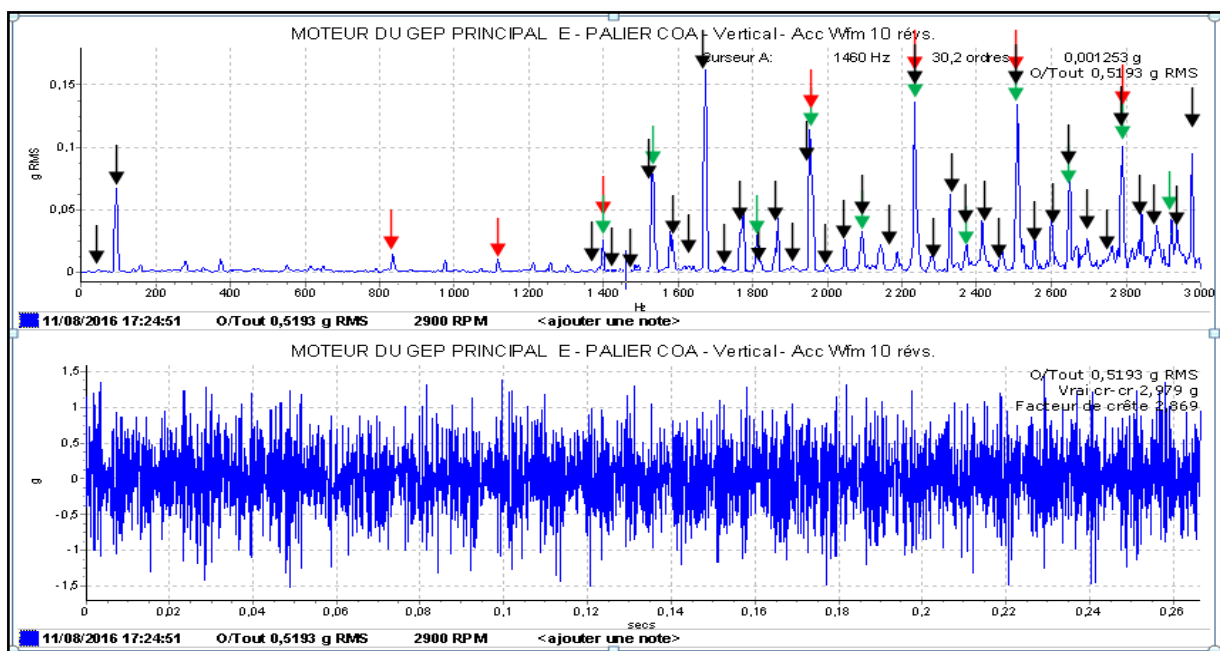


Figure V.45

➤ **Interprétation des spectres**

▪ **Figure V.42**

On remarque qu'il y a un pic correspondant à 5 fois la fréquence de défaut de bague interne ($5f_0 = 2200\text{Hz}$) avec une amplitude de $0.14g$ entouré d'un peigne de raies espacé par la fréquence de rotation mais avec des amplitudes qui restent tout de même négligeables, on en déduit d'après cette allure là qu'il n'y a pas de défaut de bague interne au quelle s'inquiété.

▪ **Figure V.43**

D'après la figure on voit clairement qu'à la fréquence 1663.4 Hz il y a un pic à la fréquence de rotation d'amplitude petite a la fréquence $2f_0=96.66$ ou on remarque que l'amplitude du pic est grande par rapport aux pics $f_0, 3f_0$, cette allure nous fait penser à un défaut d'alignement, qui est probablement dû à un rotor qui a subi une flexion(mais l'amplitude reste tout de même très petite)

▪ **Figure V.44, V45**

Sur la figure si on prend F_0 correspondant aux fréquences de défaut de bague externe ($F_0=263.4\text{ Hz}$) on constate l'amplitude du fondamental ainsi que ses multiples sont assez petites, ils ne donnent pas l'allure d'une quelconque défaut de bague externe , cependant sur la figure (V.45) on remarque des pics d'amplitude remarquables tout autour du pic de résonance ($f=1663.4\text{Hz}$) qui forment un peigne de raies ; cette allure correspond à un défaut de bague externe.

Par ailleurs On constate dans les figures (V.30,31,32) on remarque aussi qu'il n'ya pas de défaut dans les bille cependant si on regarde la figure V.44 et V45 on voir qu'autours du pic de résonance se trouve des pics a une distance qui correspond à la fréquence du défaut de bille cette allure correspond à un début de défaut de billes dans le roulement SKF 6218, On suppose que cette contradiction est due :

- Sois au vieillissement pouvant entrainer un excès de jeu entre la bague externe et les billes.
- Sois une mauvaise conception a donné lieu à un jeu excessif entre l'alésage et la bague externe (car l'arbre est monté avec jeu à l'intérieur de l'alésage).

Etant donné qu'on n'a pas de problème de bague externe alors ses vibrations peuvent être causés par l'un des problèmes cité précédemment ou d'une ou plusieurs particules abrasives.

V.7.2.2. Pompe

a) Côté opposé accouplement point 3

a. Fréquences de défaut de cage

Axial (0Hz à 1600Hz)

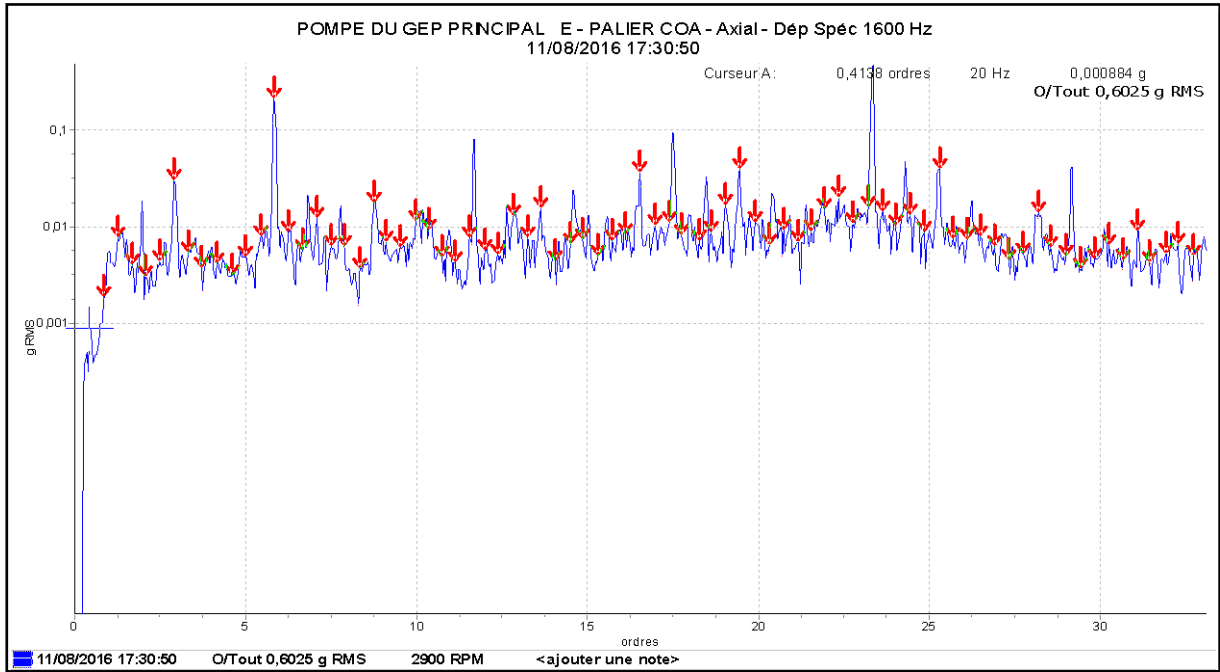


Figure V.46

Vertical (0Hz à 1600Hz)

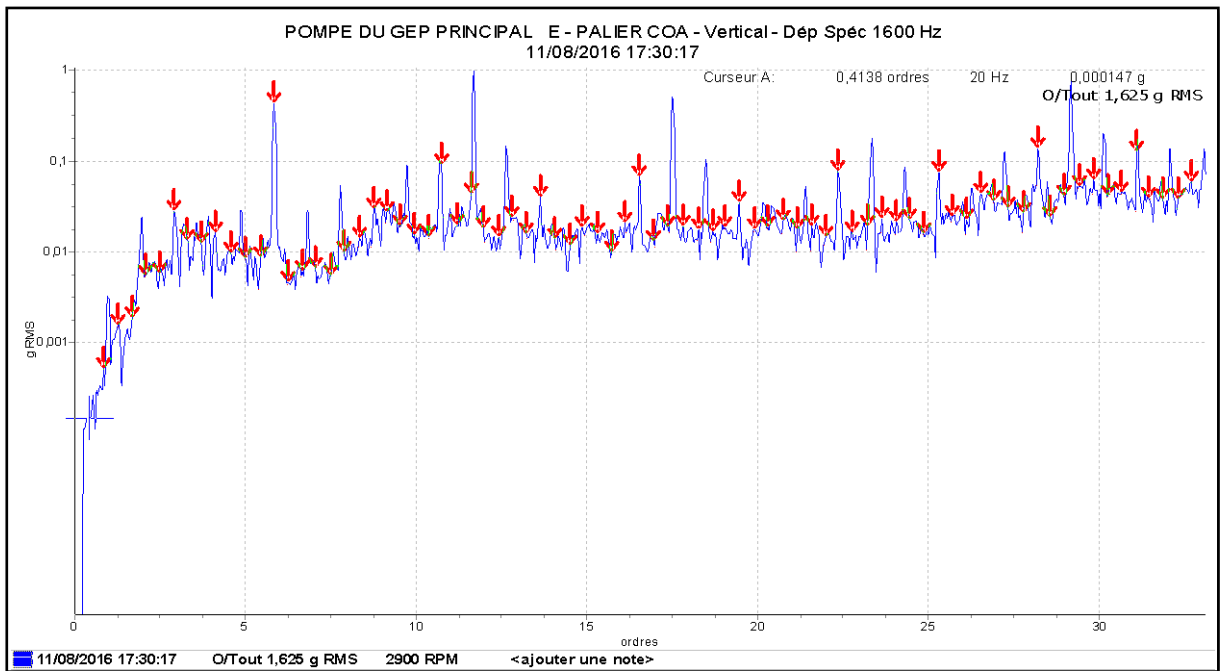


Figure V.47

Horizontal (0Hz à 200Hz)

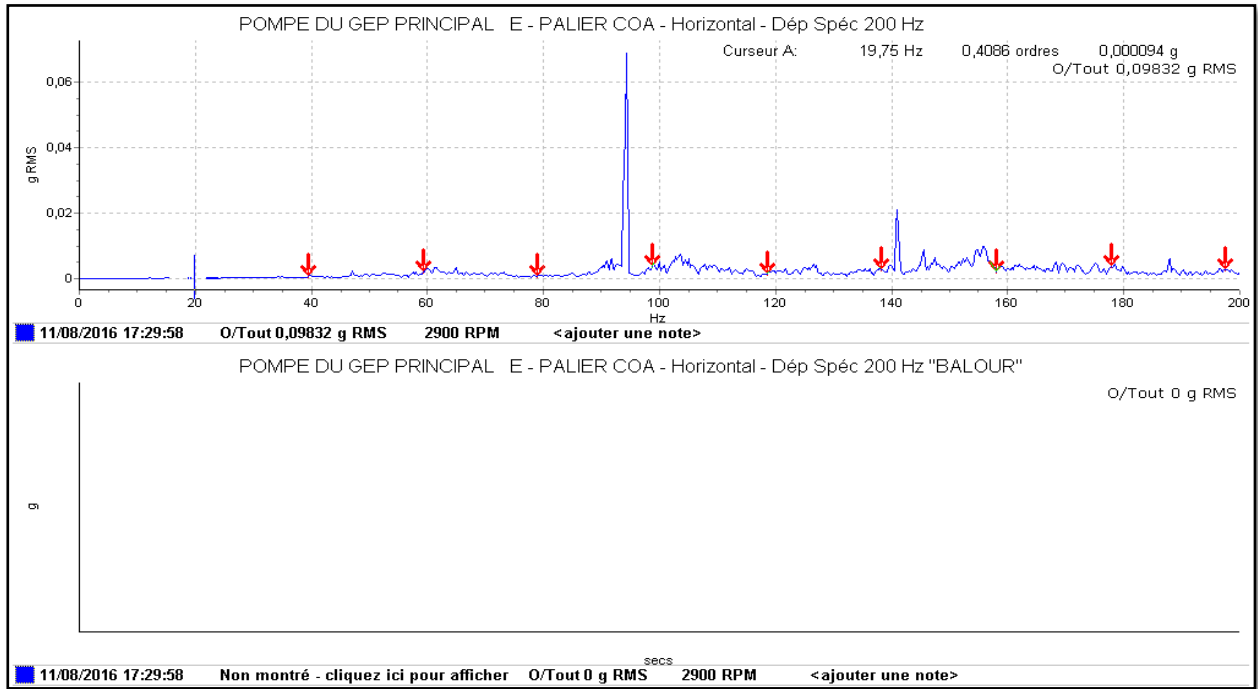


Figure V.48

b. Fréquence de défaut de bille

Axial (0Hz à 1600Hz)

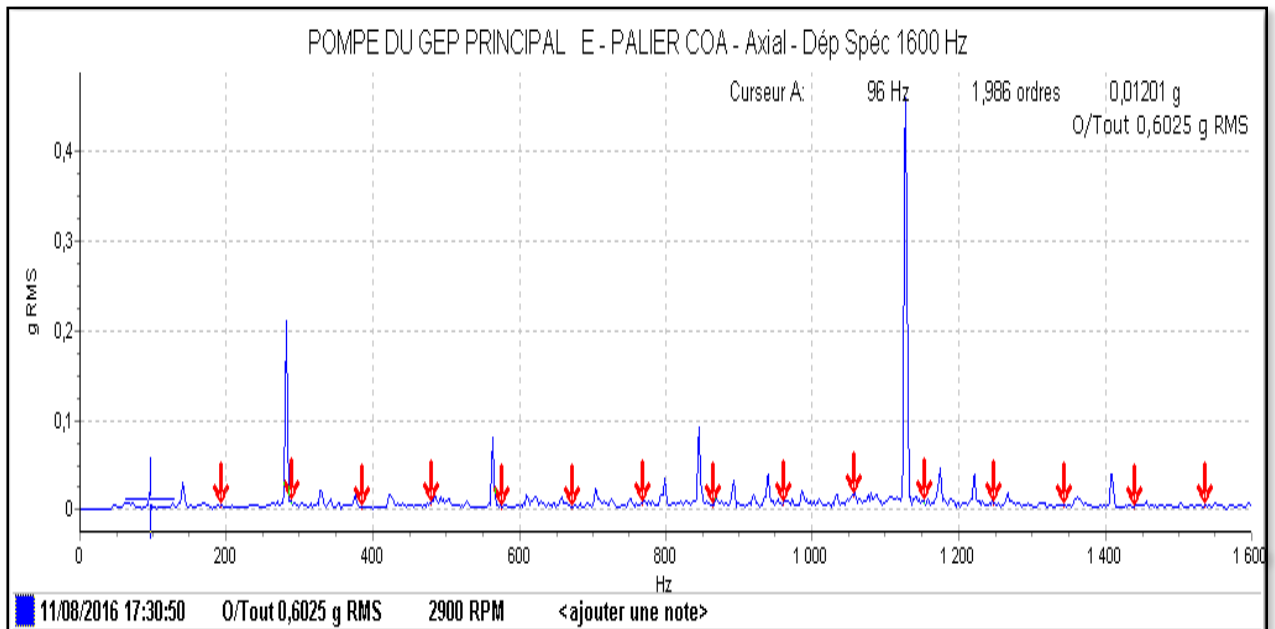


Figure V.49

Vertical (0Hz à 1600Hz)

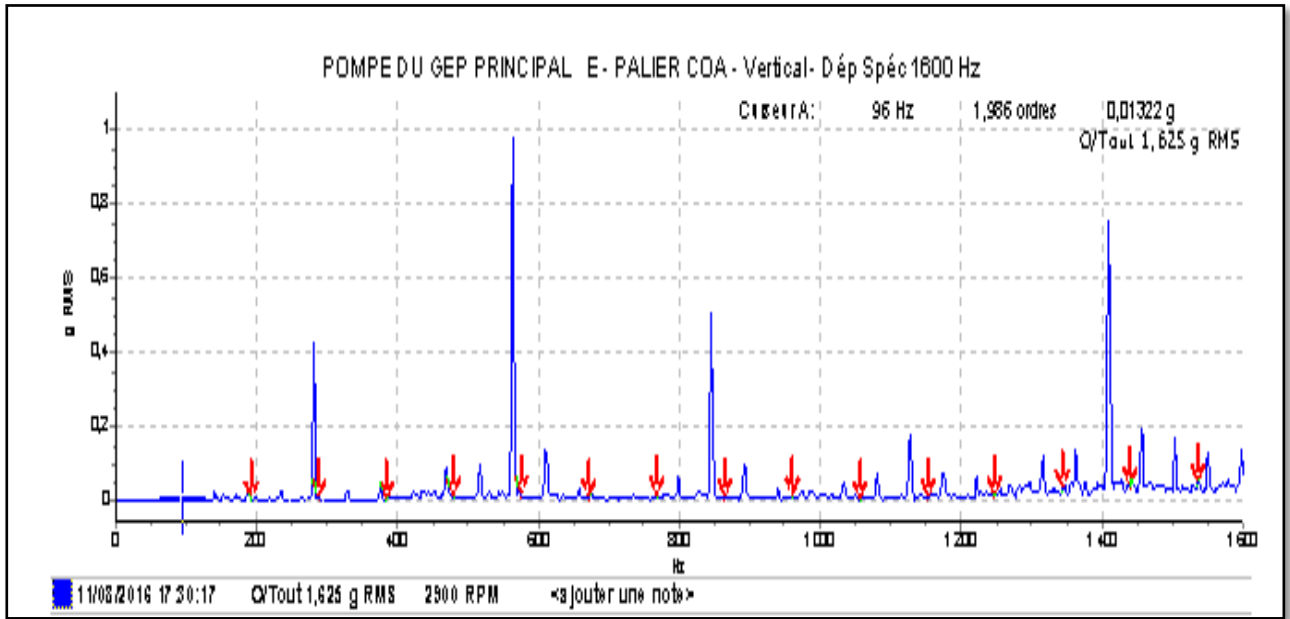


Figure V.50

Horizontal (0Hz à 200Hz)

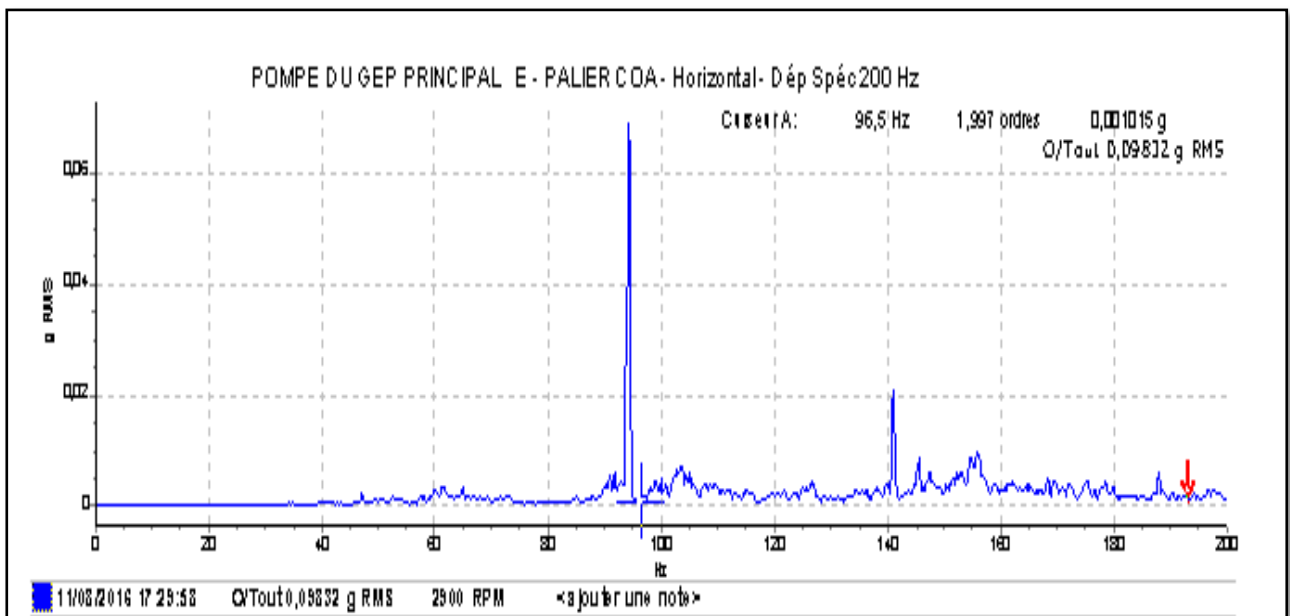


Figure V.51

c. Fréquences de rotation

Axial (0Hz à 1600Hz)

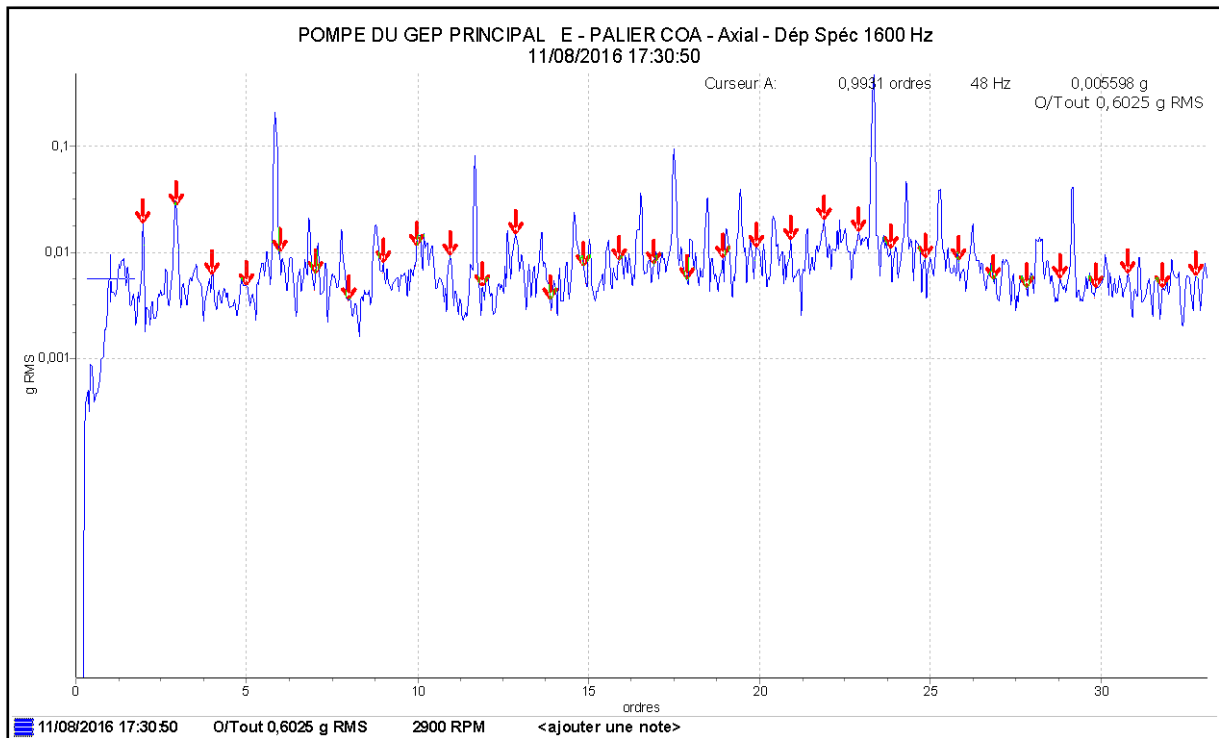


Figure V.52

Horizontal (0Hz à 200Hz)

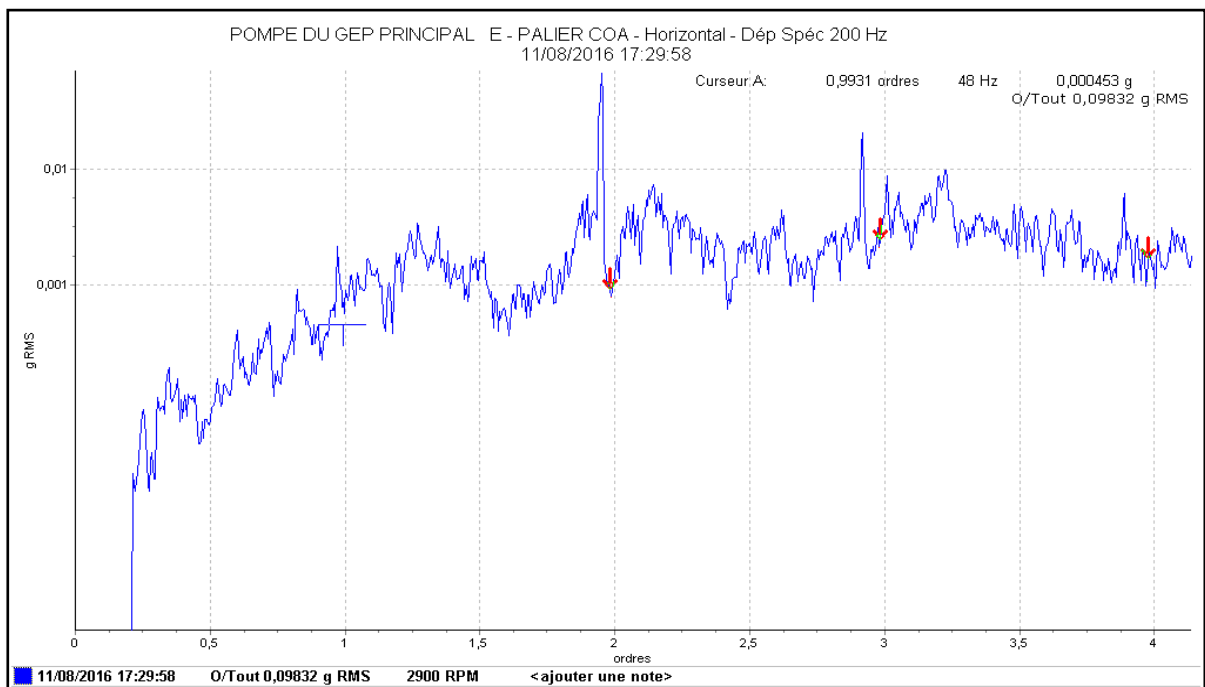


Figure V.53

Vertical (0Hz à 200Hz)

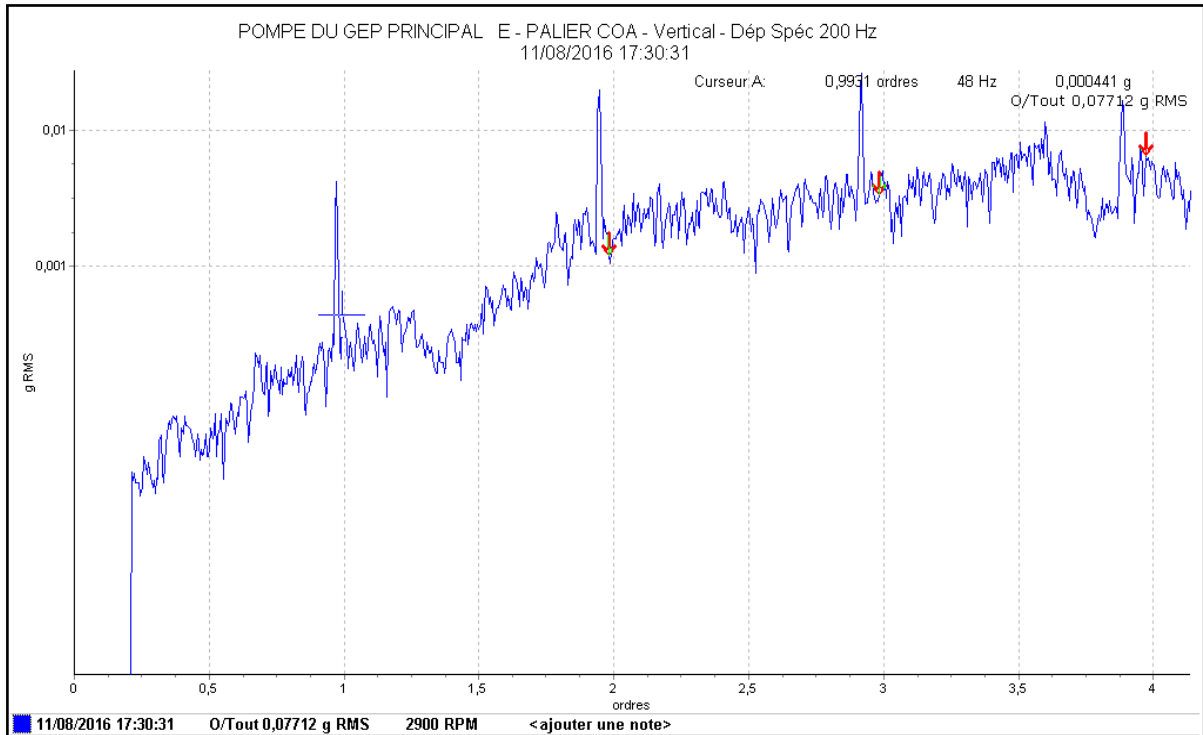


Figure V.54

d. Fréquences de défaut de bague intérieure

Axial (0Hz à 1600Hz)

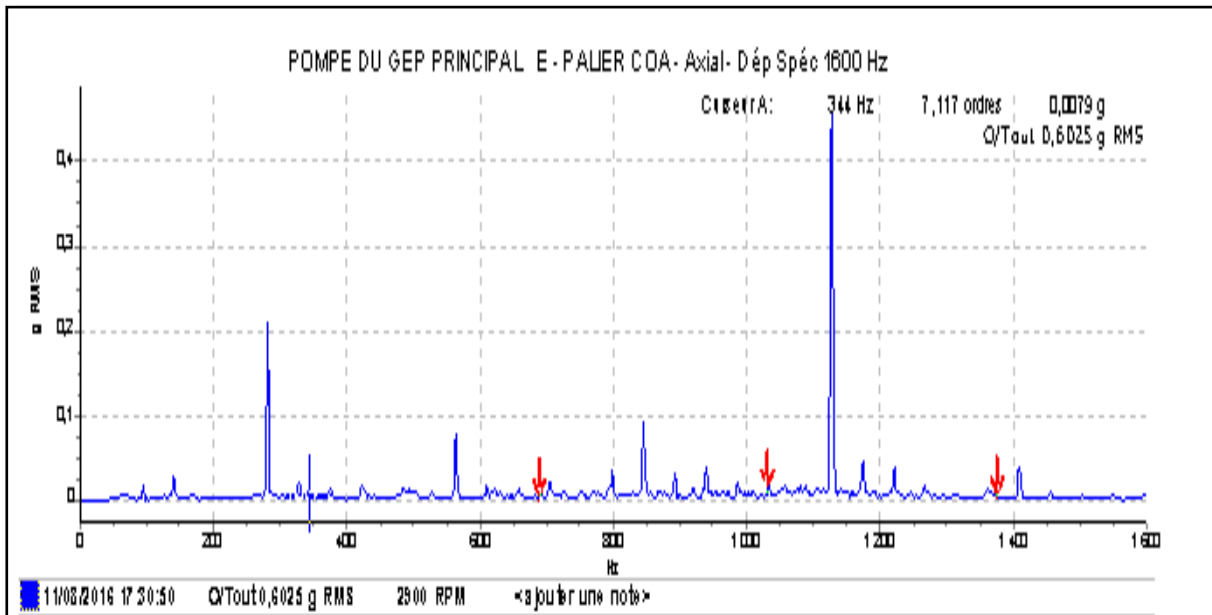


Figure V.55

Vertical (0Hz à 1600Hz)

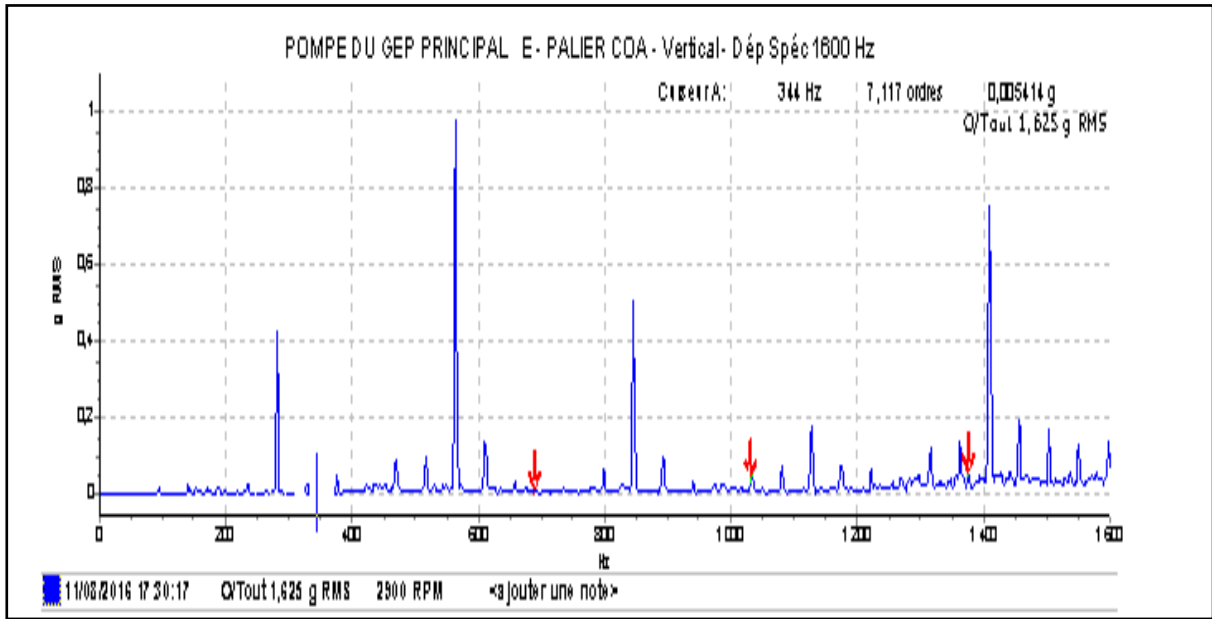


Figure V.56

Horizontal (0Hz à 1600Hz)

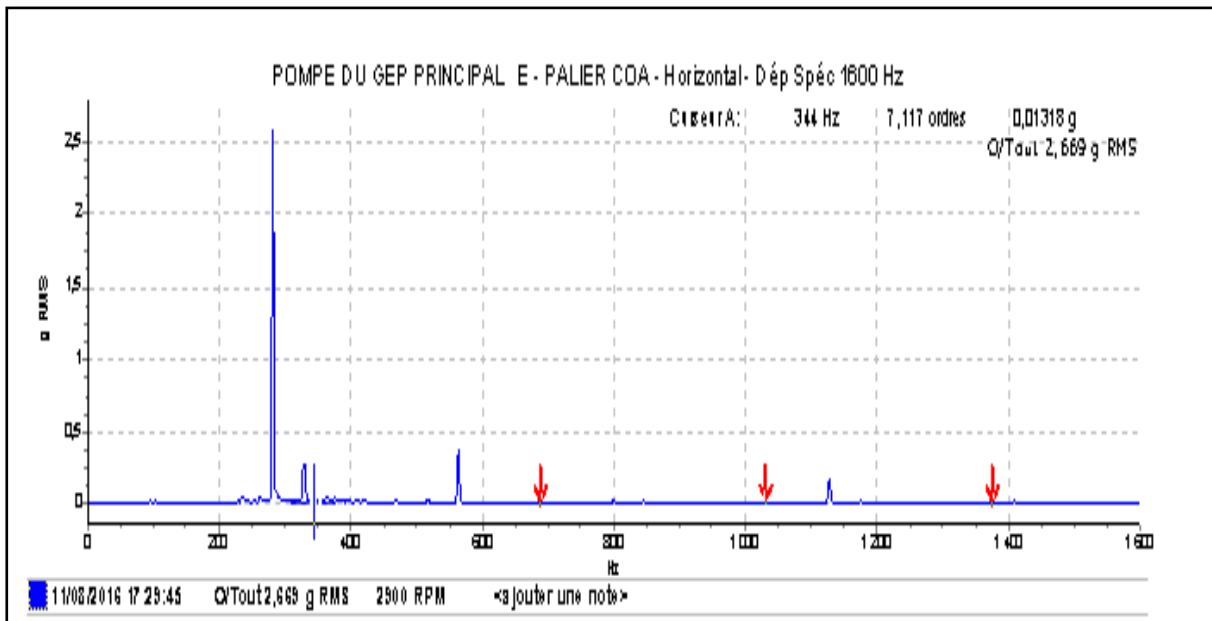


Figure V.57

e. Fréquences de défaut de bague extérieure

Horizontal (0Hz à 1600Hz)

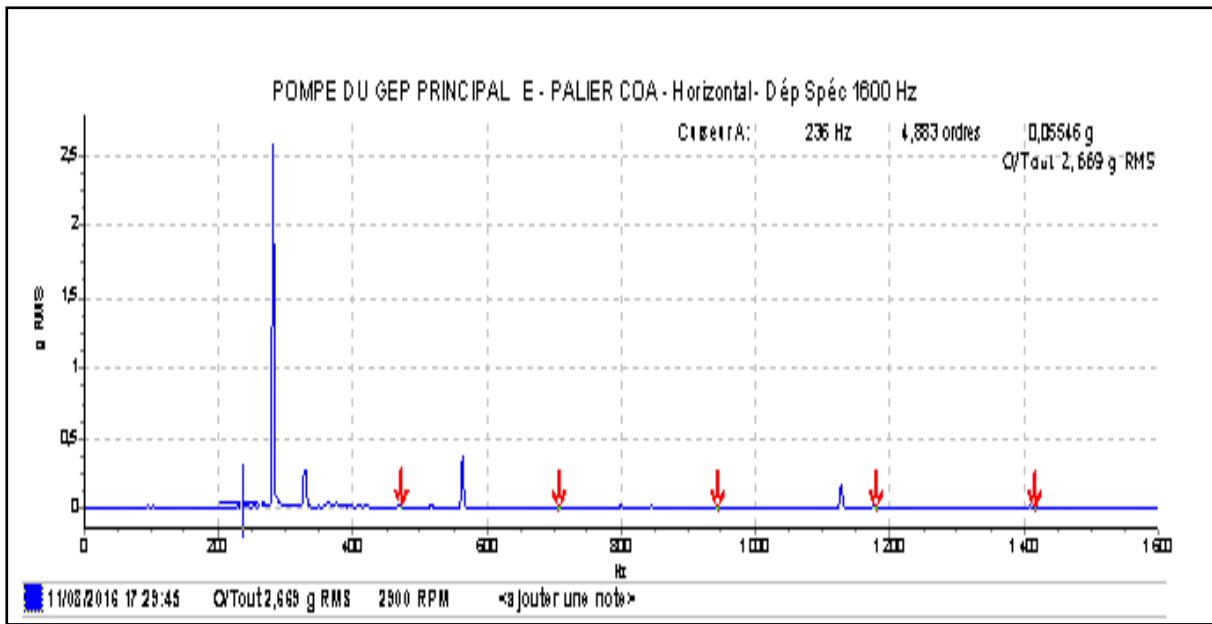


Figure V.58

Axial (0Hz à 1600Hz)

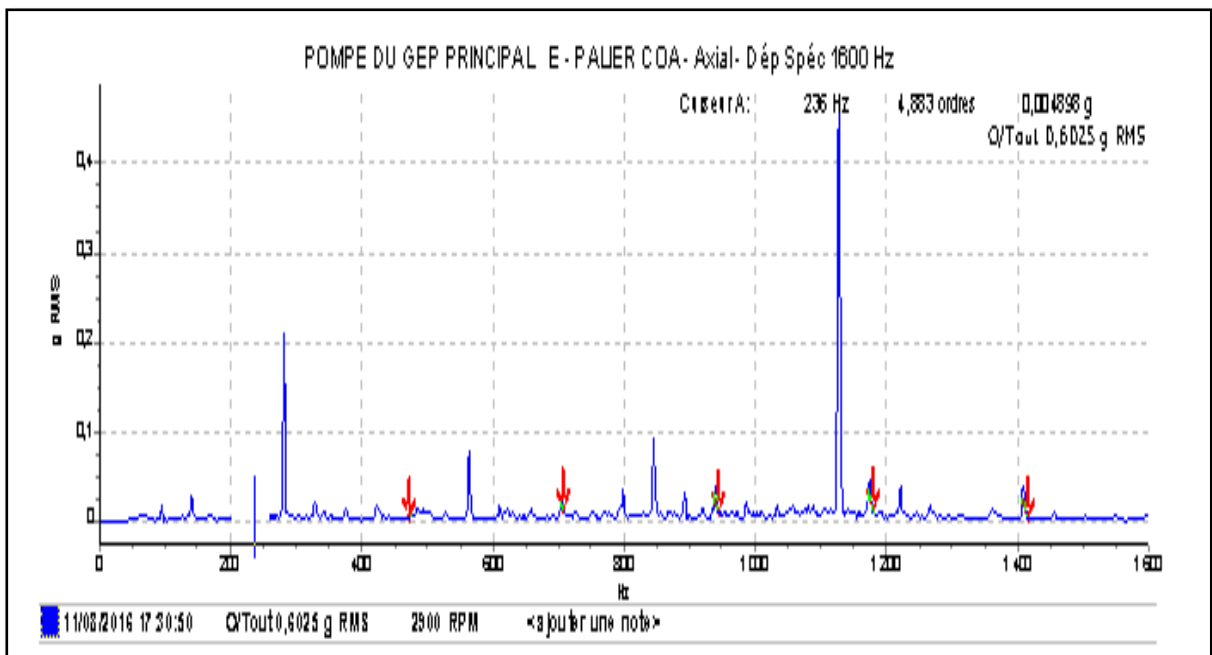


Figure V.59

Vertical (0Hz à 1600Hz)

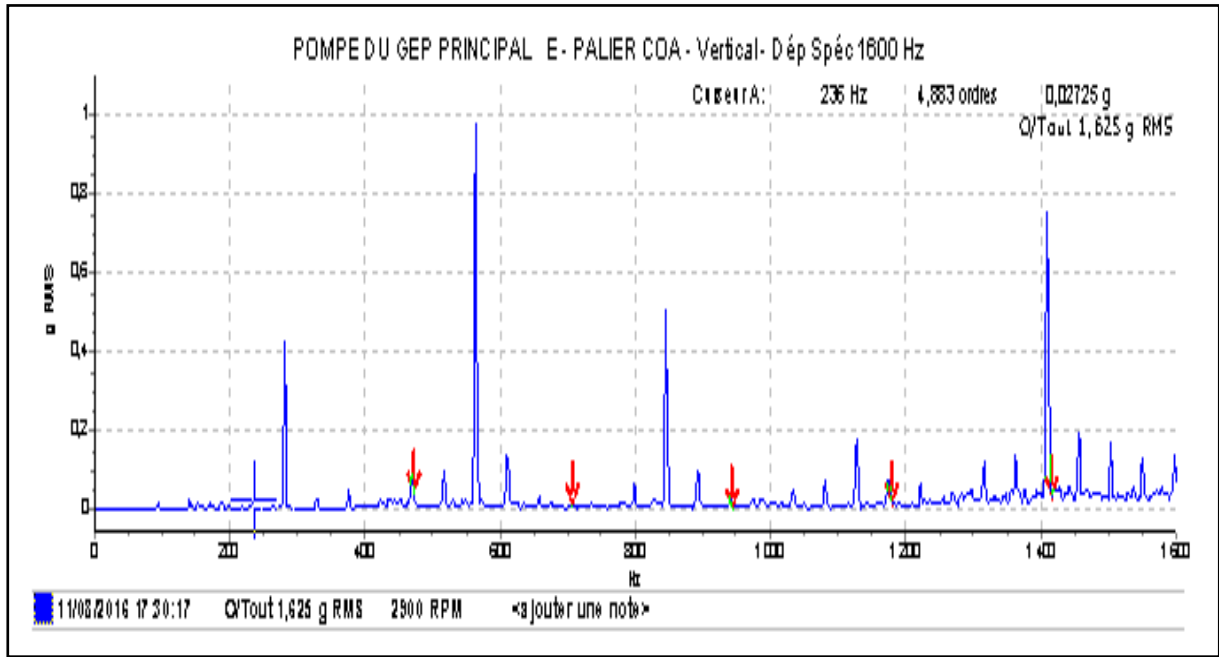
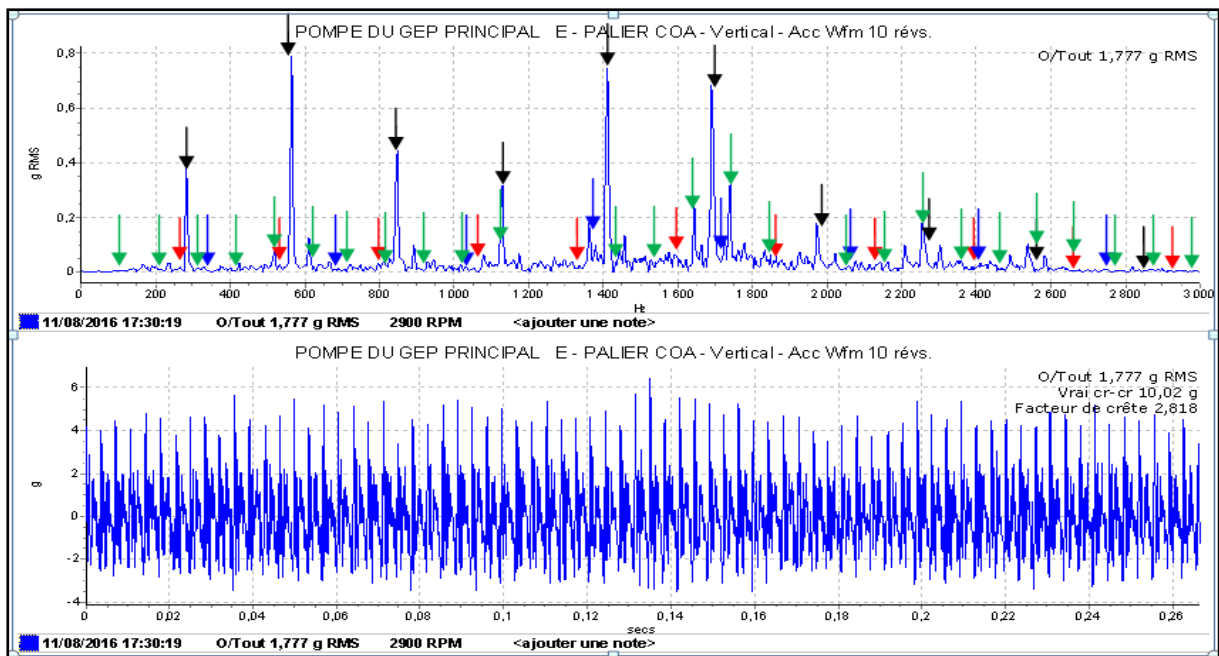


Figure V.60

Sur les 2 figures suivantes nous allons interposer plusieurs spectres représentant les multiples des fréquences de défaut de pompe, Fréquences de défaut de bille (Figure V.49,50,51), fréquences de défaut de bague extérieure (Figure V.58,59,60) ainsi que les fréquences de défaut de bague intérieure (55,56,57).



| | | | |
|---|---|---|---|
| ↓ | : Fréquences de défaut de pompe. | ↓ | : Fréquences de défaut de billes. |
| ↓ | : Fréquences de défaut de bague intérieure. | ↓ | : Fréquences de défaut de bague extérieure. |

Figure V.61

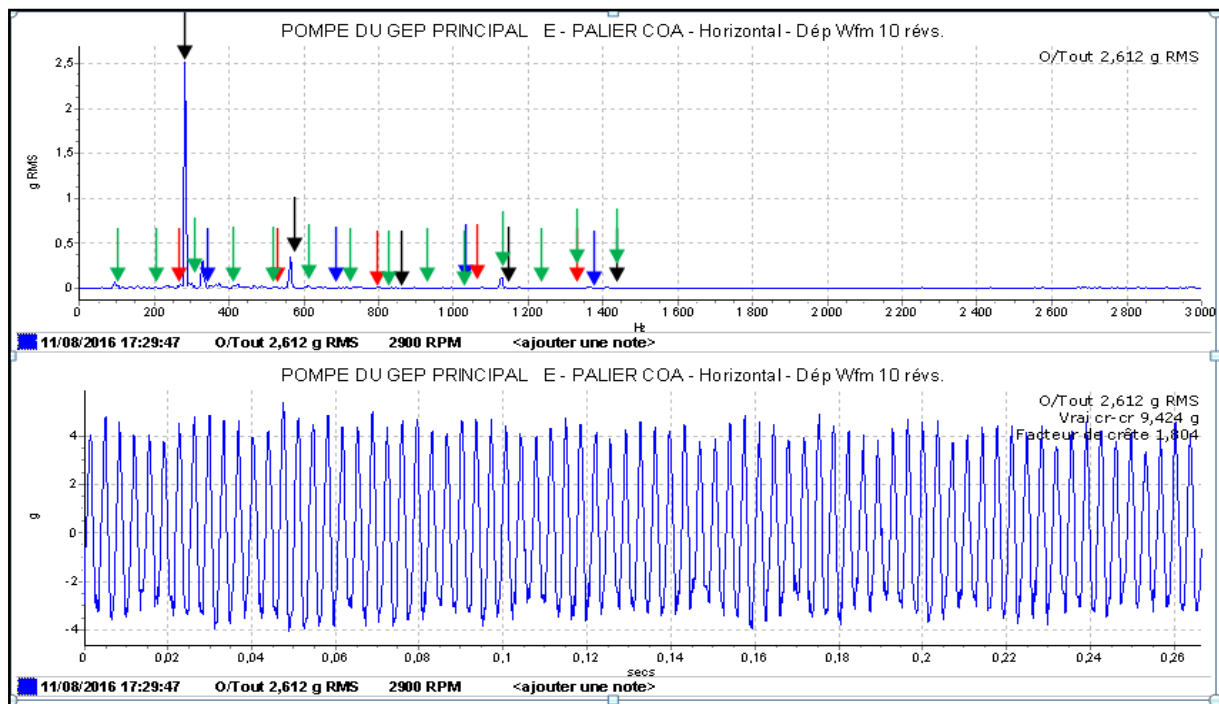


Figure V.62

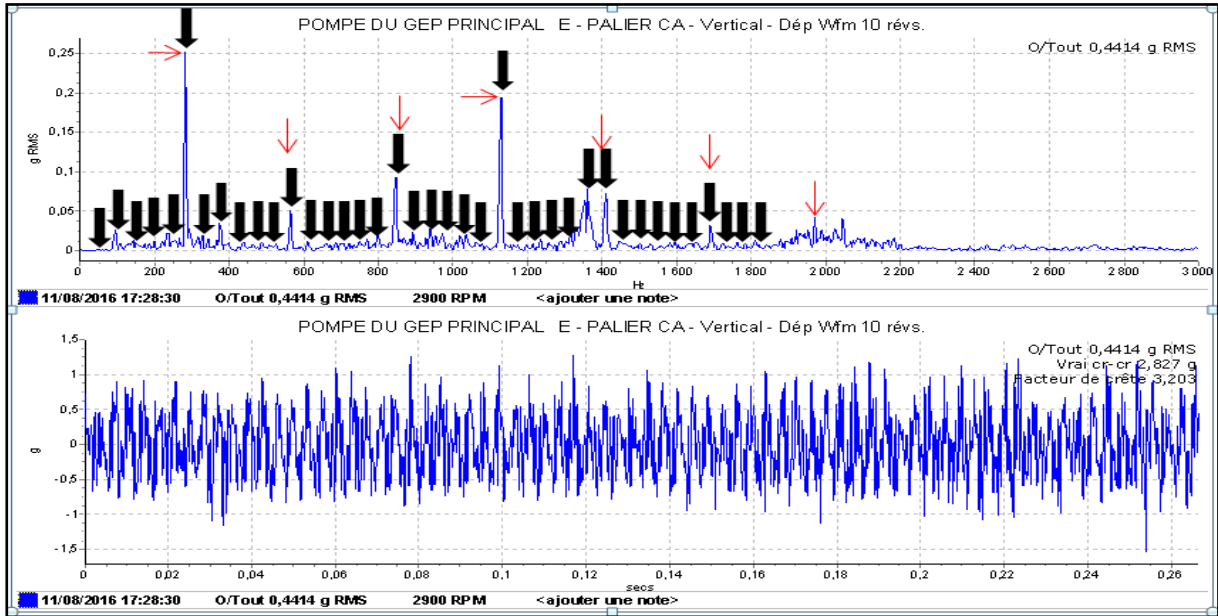
- **Interprétation des spectres**
 - **Figure V.61, V.62**

Sur les 2 figures on remarque clairement un pic à la fréquence $F_0=289.98\text{Hz}$ Fréquence correspondante à celle du défaut de pompe atteignant même une amplitude de 2.5g (Figure V.62) avec des multiples $2F_0, 3F_0, 4F_0, 5F_0$ que l'on voit clairement (sur la figure V.61) ou on remarque qu'il n'y a pas de défaut particulier ni au niveau de la cage, des billes, de la bague externe ou interne, on en déduit qu'il est sûrement dû à la résistance des deux roulements qui compose le palier et à leur montage qui sont plus résistants aux charge axiales et radiales; cela nous pousse à suspecter que le pic est dû à l'existence d'un défaut au niveau des ailettes de la pompe.

B) Coté accouplement

Dans les figures suivantes nous allons interposer les spectres correspondants aux fréquences de défaut de pompe ainsi que ses fréquences de rotation prises sur le point 3.

Vertical (0Hz à 3000Hz)



↓ :Fréquences de rotation. ↓ :Fréquences de défaut de la pompe.

FigureV.63

Axial (0Hz à 3000Hz)

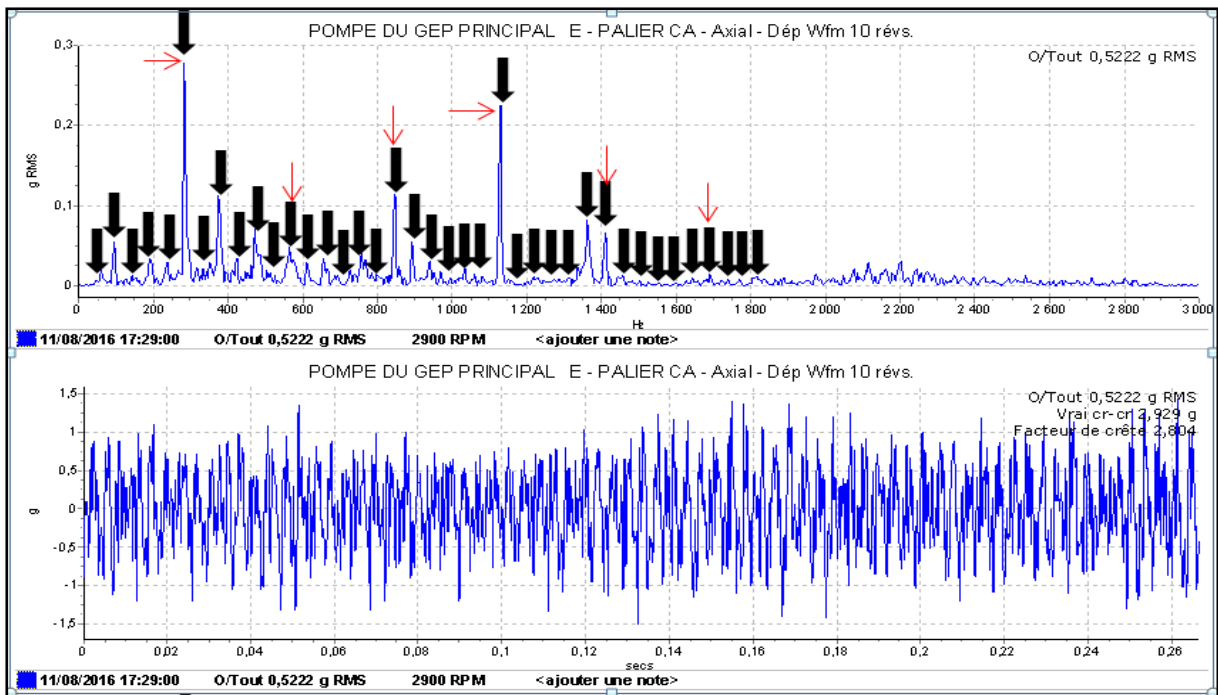


Figure V.64

Horizontal (0Hz à 3000Hz)

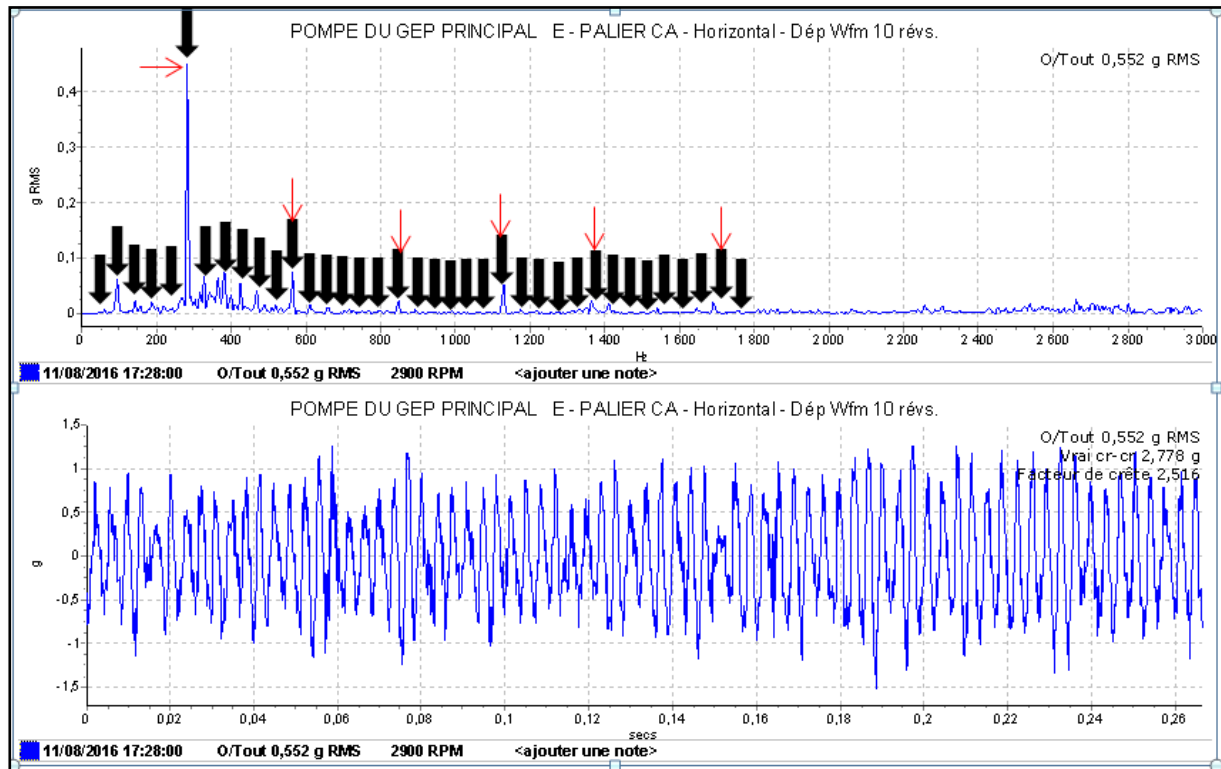


Figure V.65

Interprétation des spectres

On remarque l'existence d'un pic d'amplitude 0.225g qui correspond à la fréquence $F_0=289.98\text{hz}$ (fréquence du défaut de la pompe) et ses multiples qui sont d'amplitude remarquable par rapport aux autres pics tout en étant entourés par des raies espacées par la fréquence de rotation, cette allure là nous laisse soupçonner un défaut au niveau de l'impulseur.

V.7.3 Diagnostic et suggestions suggérés au groupe électropompe

A. Désalignement

Le défaut de lignage est généralement dû au non coïncidence des axes de rotation de deux machines accouplées. Selon les positions géométriques des deux axes, on en distingue 3 types de délignage :- Délignage parallèle (Défaut de concentricité des deux arbres).

- Délignage angulaire (Défaut de parallélisme des deux arbres).
- Délignage angulaire et parallèle (Combinaison des deux précédents).

Et ils sont généralement du à :

- Déformation du stator
- Calage du rotor (machine à paliers lisses)
- Déformation de la structure porteuse
- Blocage d'accouplement
- Un mauvais usage (Défaut de lubrification, Défaut lors du montage).

B .Chocs périodiques :

Les chocs périodiques peuvent être internes ou externes à la machine ils sont dus à :

- Défaut de fixation
- Dégradation de roulement
- Jeux excessifs

C .Défauts au niveau du roulement :

La dégradation d'un roulement se traduit généralement par un écaillage des surfaces en contact (bagues et éléments roulants) qui s'étend et évolue dans le temps. La dégradation peut être localisée ou généralisée. Et elle est le plus souvent du a :

- Une usure normale
- Défaut de graissage
- Défaut de montage
- Défaut de lubrification
- Déséquilibre du rotor du moteur
- Un désalignement des arbres rotatifs ce qui conduit a la variation des charges exercées sur les paliers

Conclusion

Dans cette partie, nous avons étudié plusieurs signaux d'un groupe électropompe (SP2 Biskra). L'étude de ces signaux sur les différents points de mesure (sur les paliers) nous a permis de détecter quelques anomalies et apporter quelques suggestions sur les raisons de ces défauts qui restent toutefois négligeables (selon l'annexe 8) qui nous montre que le niveau d'alarme est de 5,6g alors que lors de notre étude notre plus grand pic avoisine les 2.5g (pompe côté opposé accouplement).

Conclusion générale :

Dans les secteurs industriels, la prévention contre l'apparition des défauts des machines tournantes est devenue incontournable pour éviter des pannes ayant pour conséquence des arrêts de production induisant des pertes économiques. Raisons pour lesquelles les travaux présentés dans notre thèse sont orientés vers la prévention, la détection ainsi que le diagnostic des défauts par analyse vibratoire ; méthode qui est devenue de plus en plus répandue et maîtrisable et c'est ainsi qu'elle s'est implantée rapidement dans le monde de la mécanique et ceci grâce au développement des techniques modernes de traitement du signal.

Notre travail est basé sur un stage réalisé au niveau du service mécanique de Sonatrach (la direction régionale de Bejaia) étant donné son importance stratégique et économique, la recherche dans l'amélioration de ses performances industrielles aussi bien dans le domaine de la production que de la sécurité est une nécessité ; C'est ainsi que nous avons pu bénéficier de tous les moyens nécessaires à l'accomplissement de notre tâche.

L'étude du groupe électropompe a abouti à un diagnostic qui nous a permis de détecter quelques anomalies tout en essayant de déceler les principales raisons de ces défauts ; et pour palier à ce genre de problème nous pensons qu'il vaudrait mieux donner un peu plus d'importance à l'analyse vibratoire et prendre le temps de former du personnel afin d'accomplir convenablement leur tâche.

Enfin ce travail ouvre la voie à un ensemble de sujets et devrait servir au développement des connaissances dans le domaine de l'analyse vibratoire.

Références bibliographiques

- [1] Données internes SONATRACH
- [02] pratique de la maintenance préventive © Dunod, paris,2002 isbn 210006561 0,
- [0] B. Vaseghi, "Contribution à l'étude des machines électriques en présence de défaut entrespires," Thèse de doctorat, GREEN - Groupe de Recherche en Electrotechnique et Electronique de Nancy, Nancy Université - Institut National Polytechnique de Lorraine, 2009.
- [04] A. H. Bonnett and C. Yung, "Increased Efficiency Versus Increased Reliability," *Industry Applications Magazine, IEEE*, vol. 14, pp. 29-36, 2008.
- [05] C. Breneur, *Eléments de maintenance préventive de machines tournantes dans le cas de défauts combinés d'engrenages et de roulements*, Thèse INSA de Lyon, 2002.
- [06] *Maintenance Service*, Document SNR, SNR Industry, 2004.
- [07] J. FRENE : Technique de l'ingénieur : paliers hydrodynamiques, Vol B ; art. 671 ; édition technique de l'ingénieur, année 1982
- [08] Chev2004 A. Chevalier, Guide du dessinateur industriel, Hachette Technique, 2004.
- [09] Henr1979 G.Henriot, Traité théorique et pratique des engrenages, Tome1, Dunod, Paris, 1979.
- [10] Christ2007 F. Christophe, Défaillance des engrenages la comprendre pour mieux l'éviter, fluides et transmissions, n° 99, Avril 2007.
- [11] ©Aide-mémoire Surveillance des machines par analyse des vibrations Paris, Dunod, 2009 ISBN 978-2-10-054190-4.
- [12] Bogard F., " Développement d'une approche numérique visant à optimiser le suivi vibratoire des constituants d'une machine tournante ", Thèse de doctorat de l'Université de Reims (2000).
- [13] EPRI. IMPROVED MOTORS FOR UTILITY APPLICATIONS. FINAL REPORT PUBLICATION EL-2678, VOL. 1, 1763-1, EPRI, OCTOBER 1982.
- [14] IAS MOTOR RELIABILITY WORKING GROUP IEEE. MOTOR RELIABILITY WORKING GROUP.REPORT OF LARGE MOTOR RELIABILITY SURVEY OF INDUSTRIAL AND COMMERCIAL INSTALLATIONS. IEEE REPORT VOL. IA-21, NO. 4, PART I & II, IEEE TRANSACTIONS ON INDUSTRY APPLICATIONS, JULY 1985.
- [15] G. B. KLIMAN, W. J. PREMERLANI, R. A. KOEGL, AND D. HOEWELER. A NEW

- APPROACH TO ON-LINE FAULT DETECTION IN AC MOTORS. IN PROC. IEEE INDUSTRYAPPLICATIONS SOC. ANNUAL MEETING CONF., PAGES PP. 687–693, SAN DIEGO, CA,1996.
- [16] S. NANDI, H. A. TOLIYAT, AND L. XIAODONG. CONDITION MONITORING AND FAULT DIAGNOSIS OF ELECTRICAL MOTORS-A REVIEW. IEEE TRANS. ENERGY CONVERS., VOL. 20(NO. 4) :PP. 719–729, DECEMBER 2005.
- [17] G. B. KLIMAN AND J. STEIN. METHODS OF MOTOR CURRENT SIGNATURE ANALYSIS. ELECTRIC MACHINES AND POWER SYSTEMS, VOL. 20 :PP. 463–474, 1992.
- [18] P. TAVNER AND J. PENMAN. CONDITION MONITORING OF ELECTRICAL MACHINES. RESEARCH STUDIES PRESS LTD, 1987.
- [19] A. H. BONNETT AND G. C. SOUKUP. ROTOR FAILURES IN SQUIRREL CAGE INDUCTION MOTORS. IEEE TRANS. IND. APPL., VOL. IA-22(NO. 6) :PP. 1165–1173, NOV./DEC. 1986.
- [20] B.YAZICI. AN ADAPTATIVE STATIDTICALTIME-FREQUENCY METHOD DETECTION OF BROKENS ROTOR BARS AND BEARING FAULTS IN MOTORS USING STATOR. IEEE TRANSACTIONS ON INDUSTRY APPLICATIONS. VOL. 035 :442-452,MAR./APR.1999.24
- [21] R. Bigret et J. -L. Féron :
"Diagnostic - maintenance disponibilité des machines tournantes", MASSON 1995.
- [22] A. BOULENGER, C.PACHAUD :« Diagnostic vibratoire en maintenance préventive » (Dunod, Paris, octobre 1999).
- [23] Chevalier R., «Etat de l’art de la surveillance et du diagnostic des machines tournantes à EDF», RFM, 2001
- [24]Jean Hég :PRATIQUE DE LA MAINTENANCE PREVENTIVE –Mécanique- Pneumatique - Hydraulique- Electrique- Froide É dition AFNOR 2002 DUNOD
- [25] revue Mesure mécanique « MESURES 794 - AVRIL 2007 - www.mesures.com ».
- [26] <https://www.google.dz/search?q=jean-philippe+muller&oq=jean philippe+muller&aqs=chrome..69i57.1032j0j7&sourceid=chrome&ie=UTF8#q=jean+philippe+muller+analyse+spectrale>.
- [27] Felkaoui. A, Bekka.R.E.H, Antoni. J, Ménad .S « Etude des performances de la sélection d’indicateurs par couplage algorithmes génétiques – analyse discriminante linéaire» Soumis au journal européen des systèmes automatisés, janvier 2007.
- [28] Boulenger A., Pachaud C., « Diagnostic vibratoire en maintenance préventive », Dunod, Paris, 1998, pp.1-299.
- [29] Boulenger A. & Pachaud C., "Diagnostic vibratoire en maintenance préventive", Dunod 1998.
- [30] A. Boulenger, C. Pachaud, « Analyse vibratoire en maintenance. Surveillance et diagnostic des machines », 2ème édition, Edition DUNOD, Paris 2003.

[31] MEMOIRE MAGISTER THEME Etude de l'évolution des indicateurs spectraux et cepstraux dans la détection des défauts mécaniques de UNIVERSITE FERHAT ABBAS – SETIF UFAS (ALGERIE) Par Mr. Nabti Mohamed Tahar Soutenu le: 14 Déc 2011.

[32] Revue Scientifique des ISILF n°20, 2006. Ing. X. MILISEN Dr Ir V. LENAERTS GRAMME – Liège

[33] Xianfeng Fan, Ming J.Zuo «Gearbox fault detection using Hilbert and wavelet packettransform», Mechanical Systems and Signal Processing 20 (2006) 966–982.

[34] COLLIENNE G., Comparaison d'un capteur sonore et d'un capteur d'accélération dans le cadre de la maintenance vibratoire, travail de fin d'études, Gramme Liège, 2004.

[35] Thèse de doctorat « Mesure et analyse des vibrations des machines électriques tournantes » réalisé par Imaouchen Yacine.