

République Algérienne Démocratique et Populaire

Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

Université Kasedi Merbah d'Ouargla

Faculté des Sciences et de la Technologie



Mémoire de master professionnel

Spécialité : Electromécanique

Option : Maintenance Industrielles

Thème :

**La surveillance des machines tournantes par l'analyse des huiles et
l'analyse vibratoire.**

Présenté par :

LEMNAOUER Khaled / MERAH Med Mokhtar

Soutenu le :

Devant le jury composé de :

Président	Mr.Guebailia Moussa	MCA à l'Université d'Ouargla
Examineur	Mr.Belakroum Rassim	MCA à l'Université d'Ouargla
Encadreur	Mr.Rabie Karek	MAA à l'Université d'Ouargla

2019-2020

Dédicaces

Après avoir remercié Dieu ...

Je dédie ce travail à mon père et chère mère, j'aurais aimé qu'ils assistent à ma soirée de remise des diplômes, mais malheureusement les circonstances ne l'ont pas permis. Je tiens également à les remercier tout particulièrement de m'avoir soutenu tout au long de ma carrière universitaire. Sans oublier mon frère et mes chères sœurs.

Je dédie ce travail à tous les professeurs avec lesquels j'ai étudié et ils m'ont donné beaucoup de conseils, en particulier à Mr. KAREK Rabie qui a été patient avec nous jusqu'au dernier.

Enfin, je voudrais dédier ce travail à tous ceux qui m'ont aidé et m'ont fourni des idées pour accomplir ce travail.

Lemnaouer Khaled



Dédicaces

À remercie tous mes enseignants de l'université Kasdi Merbah - Ouargla et de différents parcours scolaires.

À ma grand-mère décédée trop tôt qui ma toujours poussée et motivée merci ma grand-mère que dieu le tout puissant l'accueille en son vaste paradis inchaallahe.

À mes chers parents, pour tous leurs sacrifices, leur amour, leur tendresse, leur soutien et leurs prières tout au long de mes études.

À remercie toute ma famille, mes frères, mes soeurs, mon oncle, ma tante et toute la famille.

À remercie aussi tous mes amis et mes contacts, et toutes les personnes ayant contribué de près ou loin à la réalisation de ce travail.

MED MOKHTAR MERAH

Remerciements

Remerciements et louanges à Dieu, de nous avoir donné la foi et la force pour accomplir ce modeste travail...

Nous remercions chaleureusement à l'encadreur de mémoire monsieur **KAREK Rabie M.A.A** à l'Université de Kasdi Merbah-Ouargla pour son aide, son orientation ses conseils, mais aussi pour la confiance, la patience et la compréhension, en particulier dans ces circonstances difficiles que traverse le pays en raison du coronavirus.

Nos vifs remerciements vont à monsieur **GUEBAILIA Moussa M.C.A** à l'Université de Kasdi Merbah-Ouargla d'avoir accepté de présider le jury de soutenance.

Nous adressons, aussi nos remerciements au membre du Jury qui a accepté d'examiner ce mémoire, monsieur **BELAKROUM Rassim M.C.A** à l'Université de Kasdi Merbah-Ouargla.

Nous remercions également tous les professeurs de l'Université de Kasdi Merbah-Ouargla.

Résumé

Résumé

La surveillance et le diagnostic continus sont deux facteurs fondamentaux pour le fonctionnement continu et la santé des machines tournantes, car ils garantissent la prédiction de l'apparition de défaillance et leur détection précoce, garantissant ainsi une durée de fonctionnement plus longue (durée de vie) des machines.

La technologie d'analyse des vibrations est la technique la plus importante et la plus largement utilisée dans l'industrie, grâce à laquelle elle est surveillée et diagnostiquée les défaillances dans les machines tournantes. Cependant, en même temps ce n'est pas la meilleure solution, surtout en présence de machines tournantes à huile, la technique d'analyse d'huile doit donc être adoptée comme une technologie alternative et facile dans ces machines

Notre travail se concentre sur les deux technologies, car il met en évidence l'importance de la technologie d'analyse d'huile dont la plupart des entreprises du pays se dispensent, ainsi que la façon dont elle est appliquée aux machines rotatives et à huile et comment détecter et diagnostiquer les défaillances à travers elle. Quant à l'analyse des vibrations, qui est la technique la plus importante et la plus utilisée dans le domaine de l'industrie, nous expliquerons la méthodologie de travail avec cette technologie et comment étudier diverses vibrations et les analyser pour diagnostiquer l'état général des machines.

Notre sujet vise à mettre en évidence l'importance des deux technologies pour garantir le fonctionnement et la santé des machines tournantes en proposant des modèles et des exemples pour diagnostiquer et étudier les défaillances.

Mots clés: machines tournantes - diagnostic - défauts - maintenance industrielle - analyse d'huile - analyse vibratoire.

Abstract

Continuous monitoring and diagnosis are two basic factors for the continuous operation and health of rotating machines, as they guarantee the prediction of the occurrence of malfunctions and their early detection, thus ensuring a longer working period (life) of the machines.

Vibration analysis technology is the most important and widely used technique in the industry, through which it is monitored and diagnosed with possible malfunctions in rotating machines. However, at the same time it is not the best solution, especially in the presence of oil rotating machines, so the oil analysis technique must be adopted as an alternative and easy technology in these machines.

Our work focuses on both technologies, as it highlights the importance of oil analysis technology that most companies in the country dispense with, as well as how it is applied to rotary and oil machinery and how to detect and diagnose defects through it. As for the analysis of vibration, which is the most important technique and the most used in the field of industry, we will explain the methodology of working with this technology and how to study various vibrations and analyze them to diagnose the general condition of machines.

Our topic aims to highlight the importance of both technologies in ensuring the operation and health of rotating machines by offering models and examples to diagnose and study faults.

Key words: rotating machines - diagnosis - faults - industrial maintenance - oil analysis - vibration analysis.

ملخص

المراقبة المستمرة والتشخيص يعتبران عاملان اساسيان لسيرورة و صحة الآلات الدوارة بشكل مستمر, حيث يضمنان التنبؤ بحدوث الاعطاب و اكتشافها بشكل مبكر وبالتالي ضمان مدة عمل (حياة) اكبر للآلات. تعتبر تقنية تحليل الاهتزازات هي التقنية الالهة و الاكثر تداولاً في عالم الصناعة و التي يتم من خلالها مراقبة و تشخيص الاعطاب المحتملة في الآلات الدوارة. الا انها و في الوقت نفسه ليس الحل الامثل خاصة في وجود الآلات الدوارة الزيتية, لذلك يجب اعتماد تقنية تحليل الزيوت كتقنية بديلة و سهلة في هذه الآلات .

يركز عملنا على كلا التقنيتين حيث يبرز اهمية تقنية تحليل الزيوت التي تستغني عنها معظم الشركات في البلاد, كما يوضح طريقة تطبيقها على الآلات الدوارة والزيتية و كيفية اكتشاف و تشخيص الاعطاب من خلالها. اما بالنسبة لتحليل الاهتزازات والتي تعتبر التقنية الالهة و الاكثر استعمالاً في مجال الصناعة, سنوضح منهجية العمل بهذه التقنية و كيفية دراسة مختلف الاهتزازات و تحليلها لتشخيص الحالة العامة للآلات .

يهدف موضوعنا الى ابراز مدى اهمية كلا التقنيتين في ضمان سيرورة و صحة الآلات الدوارة وذلك من خلال طرح نماذج و امثلة لتشخيص الاعطاب و دراستها.

الكلمات المفتاحية: الآلات الدوارة - التشخيص-الاعطال-الصيانة الصناعية- تحليل الزيوت- تحليل الاهتزازات.

Table des matières

Table des matières

Liste des tableaux.

Liste des figures.

Nomenclature.

Introduction générale01

Chapitre I: Généralité sur les machines tournantes, Défaillances.

I.1. Introduction.....	04
I.2.Définition des machines tournantes	04
I.2.1. Le rotor.....	04
I.2.2. La structure.....	04
I.2.3. Les liaisons.....	05
I.3. Classement (VIS) des machines tournantes	05
I.3.1. Machines vitales.....	05
I.3.2. Machines importantes.....	05
I.3.3. Machines secondaires.....	05
I.4. Les défaillances principales des machines tournantes.....	05
I.4.1. Les défauts des engrenages.....	05
I.4.2. Déséquilibre : défaut de balourd.....	08
I.4.3. Défaut d'alignement.....	10
I.4.4. Défaut de roulement.....	11
I.4.5.Défaut de courroie.....	12
I.4.6. Autres types défauts.....	13
I.5. Conclusion.....	13

Chapitre II: La maintenance et techniques des surveillances.

II.1. Introduction.....	15
II.2. La maintenance.....	15
II.2.1. Définition.....	15
II.2.2. Types de maintenance.....	15
II.2.3. Les objectifs visé par la maintenance:(norme FD X 60-000).....	17
II.2.4. La maintenance préventive.....	17
II.3. Techniques de surveillance des défaillances.....	17
II.3.1. La thermographie infrarouge.....	17
II.3.2. L'analyse des mesures ultrasonores.....	18
II.3.3. L'analyse d'huiles.....	18
II.3.3.1. Généralité sur les lubrifiants.....	18
II.3.3.2.La lubrification-Graissage.....	23
II.3.3.3. L'analyse d'huiles : définition	24
II.3.3.3.1. Les 7 règle d'or pour une gestion efficace des analyses des huiles.....	25
II.3.3.3.2. Les problèmes détectés par l'analyse de l'huile.....	25
II.3.3.3.3. Objectifs visés par l'analyse de l'huile.....	26
II.3.4. L'analyse vibratoire.....	26

II.3.4.1. Généralité sur les vibrations mécaniques et les capteurs de vibration.....	26
II.3.4.2. L'analyse vibratoire : définition.....	33
II.3.4.2.1. Les défauts détectés par l'analyse vibratoire.....	33
II.3.4.2.2. Les objectifs de l'analyse vibratoire.....	33
II.4. La différence entre l'analyse des huiles et l'analyse vibratoire.....	34
II.5. Les défauts et les différentes techniques de surveillance.....	34
II.6. Conclusion.....	35

Chapitre III: l'analyse des huiles et l'analyse vibratoires.

III.1. Introduction.....	37
III.2. L'analyse des huiles.....	37
III.2.1. Préparation d'un échantillon pour l'analyse.....	37
III.2.3. Méthodes de surveillances d'huile.....	39
III.2.3.1. Sur site industriel	39
III.2.3.1.1. Techniques et appareils de surveillance sur site.....	39
III.2.3.2. En laboratoire	41
III.2.3.2.1.1. Les analyses des dégradations des lubrifiants	41
III.2.3.2.1.2. Les analyses des contaminations des lubrifiants.....	42
III.3. L'analyse vibratoire.....	44
III.3.1. Types et matériels de mesure	44
III.3.2. Diagnostic des défauts par l'analyse vibratoire	44
III.3.2.1. Défaut de balourd	44
III.3.2.2. Défaut d'alignement	45
III.3.2.3. Défauts d'engrenage	46
III.3.2.4. Défauts des roulements	47
III.3.2.5. Transmission par courroie	48
III.4. Conclusion	49

Chapitre IV : Exemples des défaillances

IV.1. Introduction	51
IV.2. Exemple sur l'analyse d'huile.....	51
IV.2.1. Analyses d'huile avant d'utiliser les machines en service	51
IV.2.2. Analyse d'huile pour les machines en service	52
IV.3. Exemples d'analyse vibratoire	56
IV.3.1. Matériels utilisées	56
IV.3.2. Points de mesures	56
IV.3.3. Méthodes utilisées pour le dépistage et le diagnostic	57
IV.3.4. Méthodologie.....	57
IV.3.5. Résultats et commentaires	57
IV.3.5.1. Mesures sur les deux paliers avec des roulements neufs	57
IV.3.5.2. Mesure lors de présence d'un déséquilibre (balourd)	59
Conclusion générale.....	66
Bibliographies	68

Annexes.

Liste des tableaux

Liste des tableaux

N° de tableau	Nom de tableau	page
Chapitre I		
I.1	Les causes de défaut d'engrenage	07
Chapitre II		
II.1	Classification ISO des huiles industrielles	19
II.2	Classification des huiles moteurs (SAE J300, 1980)	20
II.3	Classification des huiles de transmissions (S A E J306 (1981))	21
II.4	Les additifs et leurs utilisations	22
II.5	La différence entre l'analyse des huiles et l'analyse vibratoire	34
Chapitre III		
III.1	Les classes de pollution définies par la norme NF E 48-655	43
Chapitre IV		
IV.1	La fiche de caractéristiques d'huile	52
IV.2	Les résultats d'analyse de l'huile Shell Turbo T 68	52
IV.3	Les fréquences du roulement 1207E Ken Hz	56
IV.4	Les fréquences du roulement 1207E Ken Hz	57
IV.5	Mesure du niveau global en cas d'un déséquilibre (balourd en porte à faux)	59
IV.6	Mesure du niveau global en cas d'un déséquilibre (balourd entre paliers)	62

Liste des figures

N° de figure	Nom de figure	page
Chapitre I		
I.1	Les composants de la machines tournantes	04
I.2	Les différents types d'engrenage	06
I.3	Les différentes dentures d'engrenage	06
I.4	le défaut de balourd	08
I.5	Exemples de défauts induisant un balourd	08
I.6	balourd statique	09
I.7	balourd dynamique	09
I.8	balourd de couple	09
I.9	Désalignement d'arbres accouplés	10
I.10	Désalignement des paliers	11
I.11	les composants des roulements	12
I.12	Différents types de roulements	12
I.13	transmission par courroie	11
Chapitre II		
II.1	Un dessin représentatif d'un moteur en vibration	26
II.2	vibration complexe	26
II.3	nature d'une vibration	27
II.4	Signaux vibratoire harmonique	28

II.5	Signaux vibratoire périodique	28
II.6	Signaux vibratoire apériodique	9
II.7	Transformation signale harmonique temporelle au fréquentielle	29
II.8	Proximètre monté sur un palier	29
II.9	schéma de principe d'un vélocimetre	30
II.10	schéma de principe d'un accéléromètre	30
II.11	direction favorisée pour transmission par poulies courroies	31
II.12	Fixation du capteur sur palier	31
II.13	Choix del'emplacement du capteur	31
II.14	Les surfaces de contact avec les capteursdoivent être lisses et planes	32
II.15	emplacement du capteur surun palier inaccessible directement	32
II.16	Réponse d'un accéléromètre en fonction de la fréquence selon le mode de fixation	32
II.17	Les défauts et les déférentes techniques de surveillance	34
Chapitre III		
III.1	Echantillonnage par tube et pompe à vide.	38
III.2	Echantillonnage avec seringue et mini connexion.	38
III.3	Echantillonnage depuis un robinet de drainage fixé au réservoir	39
III.4	Le détecteur d'eauportable	40
III.5	Le détecteur des comptages des particules.	40
III.6	spectre théorique d'un défaut de balourd	45
III.7	Spectre réel d'un moteur tournant à 1502 tr/mn (25,03 Hz) traduisant la	45

	présence d'un balourd	
III.8	Image vibratoire d'un défaut d'alignement radial.	46
III.9	Image vibratoire d'un engrenage sain.	46
III.10	Image théorique et spectre réel d'un engrènement en fond de denture sur un réducteur (La fréquence d'engrènement calculée est $F_e = 249,48$ Hz).	47
III.11	Image vibratoire d'un engrenage entraxe insuffisant.	47
III.12	image vibratoire théorique d'un engrenage présentant une dent détériorée	47
III.13	Image vibratoires théorique d'un défaut de type écaillage sur un élément roulant	48
III.14	Image vibratoire théorique d'un défaut de type écaillage sur bague extérieure	48
III.15	Image vibratoires théorique d'un défaut de type écaillage sur bague intérieure	48
III.16	Image vibratoire théorique d'un défaut de transmission par courroie	48
III.17	spectre réel d'un défaut de transmission par courroies (la fréquence de passage est de 8,17 Hz)	49
Chapitre IV		
IV.1	Banc d'essai.	56
IV.2	Palier A en Horizontal	58
IV.3	Figure IV.3: Palier B en Horizontal	58
IV.4	Présence d'un défaut de balourd en porte à faux.	59
IV.5	Palier A en Horizontal.	60
IV.6	Palier A en vertical.	60
IV.7	Palier B en Horizontal	61

IV.8	Palier B en vertical	61
IV.9	Présence d'un défaut de balourd entre paliers.	62
IV.10	Palier A en Horizontal.	63
IV.11	Palier A en vertical	63
IV.13	Palier B en Horizontal.	64

Nomenclature

Nomenclature

Z_1 : Nombre de dent de la roue n°1.

Z_2 : Nombre de dent de la roue n°2.

F_1 : Fréquence de rotation de la roue n°1.

F_2 : Fréquence de rotation de la roue n°2.

F_E : Fréquence d'engrènement.

N_1 : Nbr dents poulie 1.

N_2 : Nbr dents poulie 2.

N : Nbr dents courroie.

A_C : Amplitude crête.

A_{CC} : Amplitude crête à crête.

A_{eff} : Valeur efficace d'une amplitude (RMS).

T : La période (en s).

f : La fréquence (en Hz).

ω : Pulsation (en rad/s).

φ : Phase du mouvement.

$X(t)$: Déplacement d'une vibration en (μm).

$V(t)$: Vitesse vibratoire en (mm/s).

$\gamma(t)$: Accélération de la vibration en (m/s^2).

Pa : Palier gauche.

Pb : Palier droits.

Introduction générale

Introduction générale

L'industrie sous sa forme générale se développe progressivement dans notre monde, en raison du développement et du progrès des entreprises et des usines de production, et cela rend de plus en plus le besoin de machines tournantes de tous types car les machines tournantes depuis l'émergence du monde industriel dans les temps anciens étaient et sont toujours considérées comme l'élément de base et le premier élément du monde industriel, quels que soient le type et le domaine de l'industrie, les anciens humains les utilisent dans des différents domaines tels que le broyage des grains, la traction, le pompage de l'eau et d'autres domaines qui ont conduit à l'innovation de ces machines, certains d'entre eux ont été utilisés manuellement et d'autres dans l'eau et l'air. Les services fournis par ces machines rendent l'humain très dépendant d'elles et souffrent beaucoup de leurs défaillances.

Après l'avènement de la science moderne, ces machines ont évolué avec différentes spécialités et différents types (hydrauliques, électriques et mécaniques), mais malgré les efforts et les développements des constructeurs qui se produisent pour ces machines au fil des ans, elles font toujours face à de nombreuses défaillances qui entraînent de grandes pertes.

L'industrie en général et les machines tournantes en particulier dépendent du plan de maintenance industrielle, qui est la structure principale dans le domaine industriel grâce à la protection, du diagnostic, de surveillances et de réparations des machines tournantes qui garantit largement la sécurité des machines.

La maintenance préventive conditionnelle est un élément essentiel dans le plan de la maintenance industrielle, qui assure le diagnostic et la surveillance des machines tournantes et la détection des défaillances potentielles à cette machines avant et après son fonctionnement avec des techniques différents : la thermographie infrarouge, émission acoustique, l'analyse des huiles, l'analyse vibratoire.

L'analyse des huiles et l'analyse vibratoires sont l'une des techniques les plus utilisées et qui détecté des défauts de plus en plus précis.

La lubrification des machines assure la protection des pièces internes des machines et réduit le pourcentage de frottement, et d'usure qui se produisent entre les pièces mécaniques. Elle garantit également le refroidissement continu des machines. L'analyse des huiles de ces machines permettre de détecté les défaillances qui affectent les pièces internes telles que l'usure les fissurations, la pollution et l'état d'huile. L'analyse des huiles et l'un des techniques la plus simple au monde de la maintenance préventive conditionnelle.

L'analyse des vibrations est la technique la plus compliqué pour ce qu'elle requiert des appareils couteuse et de la précision de l'analyse, mais en revanche, c'est la technique la plus efficace et la plus précise en termes de diagnostic et de surveillance, car l'analyse des vibrations résultant de la rotation des machines contient de nombreux messages codés qui contiennent différents défauts, où l'analyse des vibrations assure la détection de tous les défauts possible et déterminer leur type et leur degré de gravité.

Chaque technique dans le domaine de la maintenance préventive conditionnelle adopte un schéma spécifique, des caractéristiques, des méthodes et des appareils différents pour

étudier et suivre les machines, mais le principe reste le même, qui est le diagnostic et la surveillance des défaillances des machines tournantes.

Le but de ce mémoire est de mettre en évidence l'importance de chaque technologie l'analyse d'huile et l'analyse vibratoire pour détecter les différents défauts et assurer la continuation et la santé des machines tournantes, et expliqué le travail de chaque technologie, comment l'appliquer et diagnostiquer les différents défauts à travers elles.

Ce mémoire est organisé en quatre chapitres répartis comme suit :

Chapitre un Généralité sur les machines tournantes, la défaillance.

La première partie de ce chapitre, nous avons présenté des généralités sur les machines tournantes.

La deuxième partie nous avons donné les défaillances possibles de ces machines et leurs causes.

Chapitre deux La maintenance, Techniques des surveillances

La première partie de ce chapitre nous avons donné des explications sur la maintenance industrielle en général et la maintenance préventive conditionnelle en particulier.

La deuxième partie nous avons présenté les techniques de surveillance, comme nous l'avons présenté des généralités sur les huiles, l'analyse des huiles, et généralités sur les vibrations, l'analyse vibratoires.

La troisième partie est une comparaison entre les deux techniques l'analyse des huile et l'analyse vibratoires.

Chapitre trois L'analyse des huiles et l'analyse vibratoires

La première partie de ce chapitre, nous avons présenté la technique de l'analyse des huiles et les différentes méthodes et étapes utiliser.

La deuxième partie nous avons présenté la technique de l'analyse vibratoire et le diagnostic des quelques défauts par l'analyse des vibrations des machines.

Chapitre quatre Exemples des défaillances

La première partie de ce chapitre, nous avons étudié l'analyse des huiles sur l'huile Turbo Shell T46.

La deuxième partie de ce chapitre, nous avons proposé une étude des défauts de roulement et de balourd à partir l'analyse vibratoires sur une machine asynchrone.

Chapitre I : Généralité sur les machines tournantes, Défaillances.

I.1. Introduction :

Les machines tournantes sont le composant le plus important de l'industrie car ces machines ont un large champ. C'est pourquoi nous discuterons dans ce chapitre la connaissance approfondie de ces machines en connaissant leurs pièces, composants et leur classement, nous analyserons également les problèmes et les défaillances rencontrés par ces machines.

I.2. Définition des machines tournantes :

Une machine tournante est un assemblage des pièces mécanique hydraulique ou électriques à exercer une ou plusieurs fonction données et, en particulier, l'application d'une force modulée à vaincre une résistance ou assurer un mouvement avec ou sans transmission de force. [1]

-Dans le cas général les machines tournantes sont des systèmes dans lequel peut distinguer: un rotor, une structure, des liaisons.

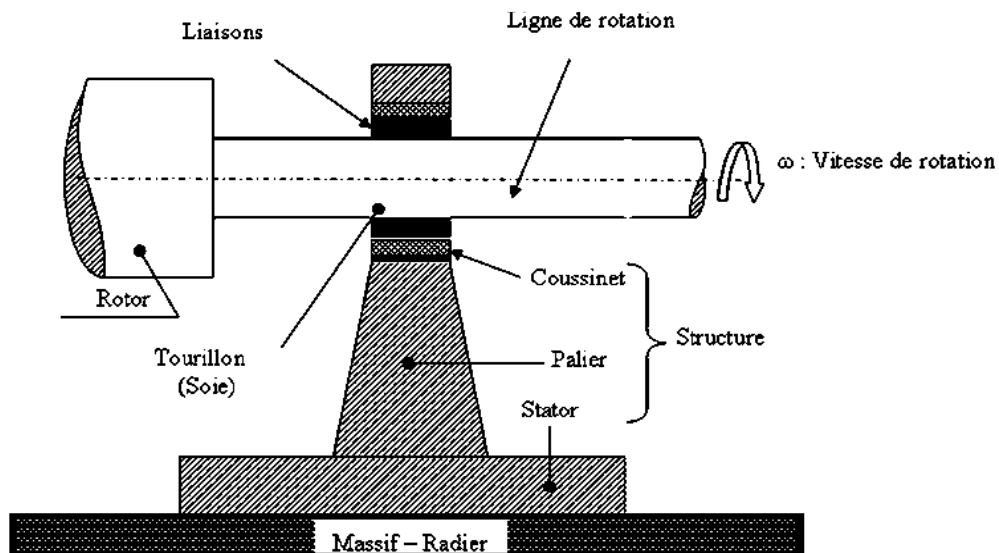


Figure I.1 : Les composants de la machines tournantes. [2]

I.2.1. Le rotor : Est une structure dont les éléments tournent autour d'une ligne de rotation définie en fonction de l'état mécanique de ce dernier, en général distincte d'un axe (ligne droite). Le rotor fabriqué avec plusieurs matériaux (acier, cuivre, bois, plastique...) réalise une fonction bien définie:(manipulation fluide, de solide, parcours dans un champ électromagnétique etc....). [3]

I.2.2. La structure : la structure non rotative comprend les éléments essentiels suivants :

-Les coussinets : des composants de faibles dimensions au droit des trouillons du rotor. Des bagues peuvent être substituées aux coussinets-roulements.

Il existe trois types de coussinets :

- ✓ Coussinets autolubrifiants.
- ✓ Coussinets composites type Glacier.
- ✓ Coussinets polymères.

-Les paliers : relie les coussinets (bagues) au stator.

-Le stator (l'enveloppe de la machine) : contient des éléments essentiels (circuit magnétiques dans les machines électrique, ailettes pour les turbomachines...Etc.).

-Le massif : il peut prendre des formes plus variées que celles des systèmes terrestres dont les massifs sont liés au radier.

-Le radier : est un élément spécifique aux systèmes terrestres. Il assure la liaison entre le massif et le sol et a pour mission de diminuer les pressions exercées au sol dans des limites acceptables. [3]

I.2.3. Les liaisons : le rotor est lié à la structure non rotative par des liaisons qui assurent le guidage du rotor, les liaisons sont classées dans trois ensembles :

- ✓ Les liaisons à fluide.
- ✓ Les liaisons à roulements.
- ✓ Les liaisons à magnétiques. [2]

I.3. Classement (VIS) des machines tournantes :

Dans le but de ne pas surveiller certaines machines qui n'ont pas d'importante influence sur la production, il est conseillé de prendre compte ce classement des machines.

- Selon ce paramètre on peut classer les machines en trois classes :

I.3.1. Machines vitales : qui ne sont pas doublées, leur endommagement entraîne l'arrêt de la production. Le coût et le temps de la réparation sont importants.

I.3.2. Machines importantes : qui sont doublées ou non doublées leur panne provoque une diminution sensible de la production.

I.3.3. Machines secondaires : qui sont doublées et leur panne n'influe pas sur la capacité de production. Selon ces classes et les indices de complexité et de simplicité, on détermine les outils de surveillance à employer. [4]

I.4. Les défaillances principales des machines tournantes :

L'identification d'anomalies à un stade précoce, le suivi de leurs évolutions et le diagnostic de l'état d'une machine ne sont possibles que si, préalablement, l'on connaît les symptômes vibratoires associés à chaque défaut susceptible de l'affecter, c'est-à-dire si l'on connaît les modes vibratoires induites par ces défauts.

I.4.1. Les défauts des engrenages :

I.4.1.1. Définition :

Un engrenage est composé de l'ensemble de deux roues dentées engrenant l'une avec l'autre, permettant de transmettre de la puissance entre deux arbres rapprochés avec un rapport de vitesse constant. Selon la position relative des deux arbres, on distingue trois classes d'engrenages (figure I.2):

- ✓ Les engrenages parallèles (les 2 arbres sont parallèles).
- ✓ Les engrenages concourants (les 2 arbres sont tels que leurs prolongements se coupent).
- ✓ Les engrenages gauches (les 2 arbres occupent une position relative quelconque). [5]

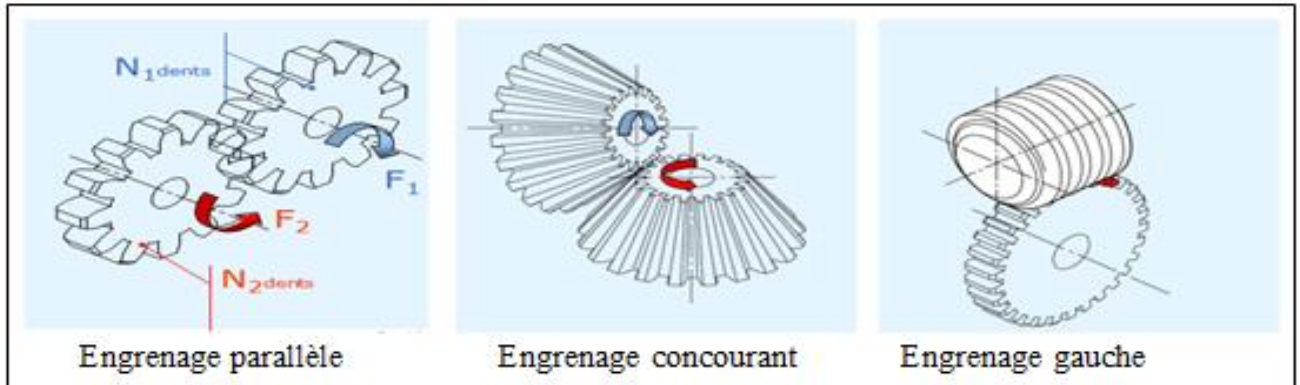


Figure I.2 : Les différents types d'engrenage.

- Fréquence d'engrènement :

Le rapport des vitesses des deux arbres est lié au nombre de dents de chacun des pignons en contact

$$Z_1 \cdot F_1 = Z_2 \cdot F_2 \quad // \quad \frac{F_2}{F_1} = \frac{Z_1}{Z_2}$$

La fréquence d'engrènement de denture F_E est égale à :

$$F_E = Z \cdot F_1 = Z_2 \cdot F_2$$

-Les dentures d'engrenage peuvent être droites, hélicoïdales ou à chevrons (figure I.3). Les efforts, en conséquence, sont :

- ✓ Uniquement radiaux sur les engrenages parallèles, à denture droite ou à chevrons,
- ✓ Mixtes (radiaux et axiaux) sur les engrenages à denture hélicoïdales, les engrenages coniques et les engrenages à roue et vis sans fin. [5]

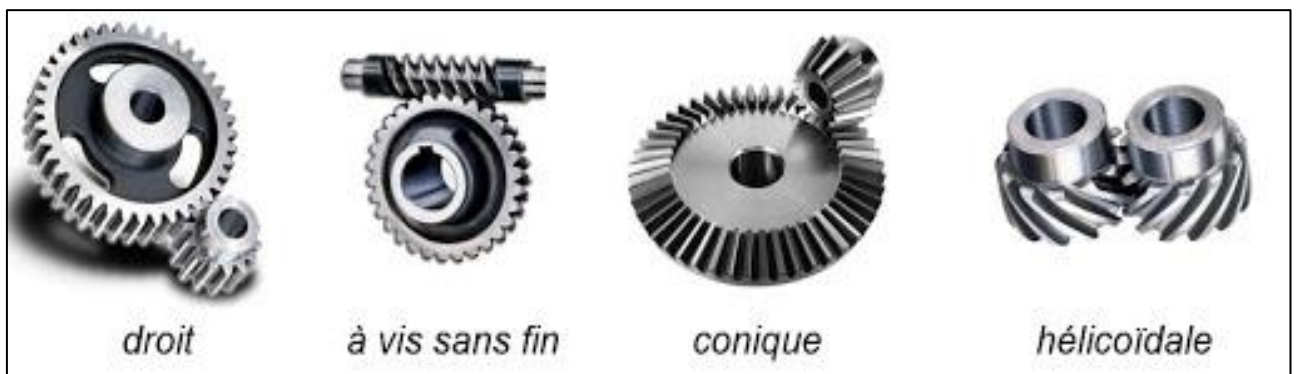
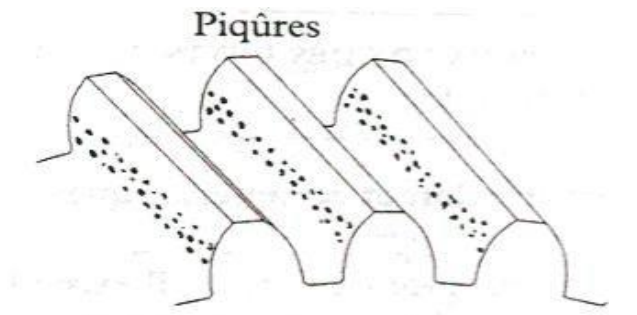
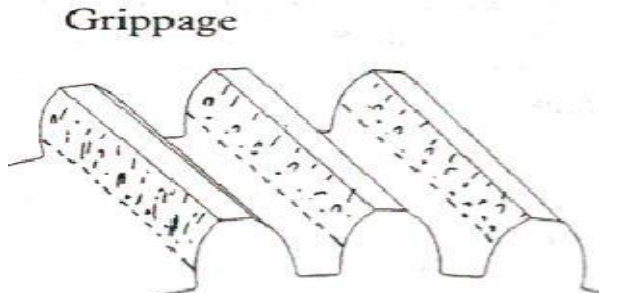
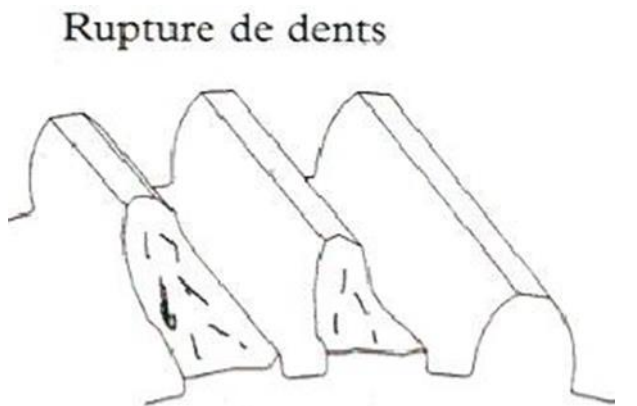
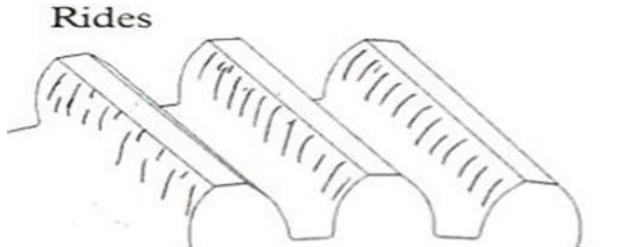


Figure I.3 : Les différentes dentures d'engrenage. [5]

I.4.1.2. Les cause de défaut d'engrenage :

Tableau I.1 : Les causes de défaut d'engrenage. [4]

<p>Les piqûres: Ce phénomène est caractérisé par l'apparition sur toute la surface active des dents de petits trous peu profonds en forme d'éventail dont la pointe est tournée vers le pied des dents motrices ou vers le sommet des dents menées. Le piquage ne se produit que si le mouvement de roulement est plus important que le mouvement de glissement.</p>	<p style="text-align: center;">Piqûres</p> 
<p>Le grippage : est la conséquence directe de la destruction brutale du film d'huile dans la zone d'engrènement, ce qui augmente le frottement sous charge et par conséquent la température ou lorsque la lubrification est mal choisie.</p>	<p style="text-align: center;">Grippage</p> 
<p>La rupture de dents: résulte généralement d'une fatigue des dents causée par les efforts continuellement répétés après un temps de fonctionnement plus ou moins long.</p> <p>La rupture peut aussi être causée par un fragment de métal introduit accidentellement dans la zone d'engrènement.</p> <p>Peut aussi résulter d'une trempe défectueuse ou d'une mauvaise répartition des charges.</p>	<p style="text-align: center;">Rupture de dents</p> 
<p>Les rides : apparaissent aux faibles vitesses de glissement dans le cas d'une lubrification insuffisante ou inefficace.</p>	<p style="text-align: center;">Rides</p> 

I.4.2. Déséquilibre : défaut de balourd.

I.4.2.1. Définition :

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 (figure I.4).

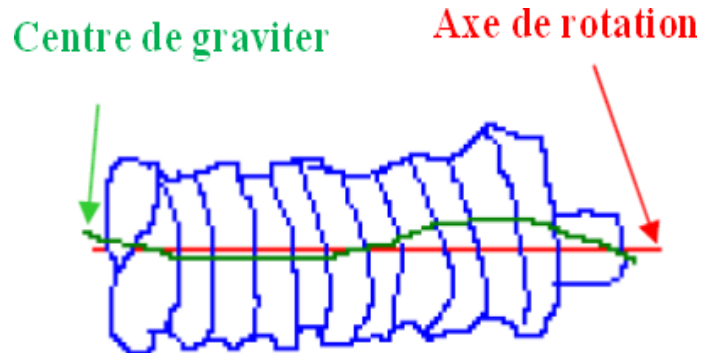


Figure I.4 : le défaut de balourd.

-Ce balourd provient généralement de défauts d'usinage, d'assemblage et de montage, ou sont la conséquence:

- ✓ D'une altération mécanique : perte d'ailette, érosion ou encrassement, ... (figure I.5).
- ✓ D'une altération thermique : déformation suite à des dilatations différentes des matériaux constituant le rotor ou à des différences de température localisées ... [5]

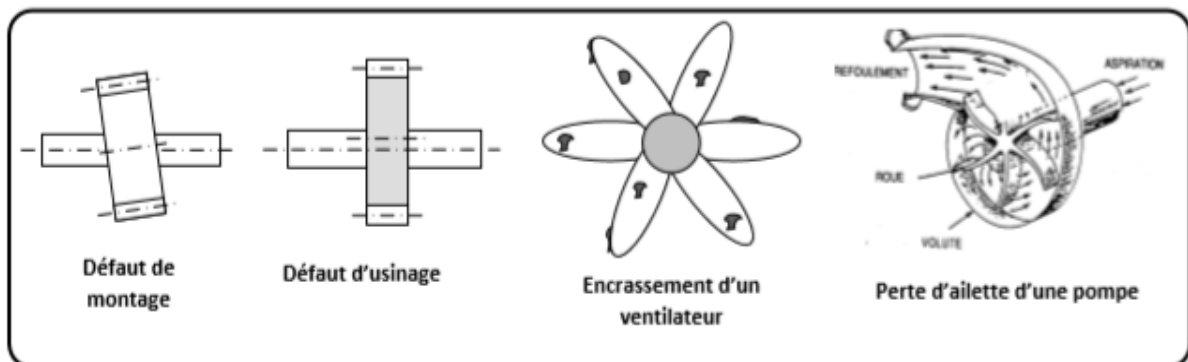


Figure I.5 : Exemples de défauts induisant un balourd. [5]

-Il existe trois différents types de balourd :

I.4.2.2. Balourd statique :

- Même phase sur chaque roulement.
- Principalement des vibrations radiales Balourd (équilibre). [6]

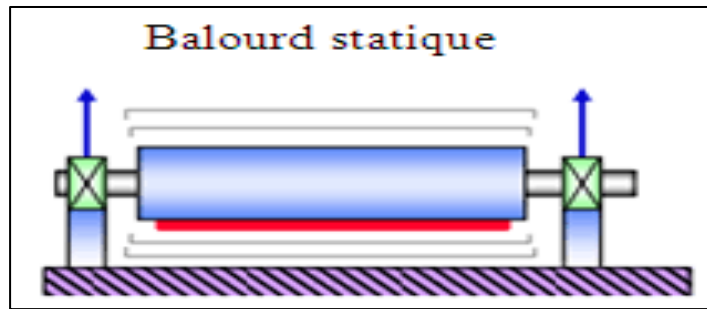


Figure I.6 : balourd statique. [6]

I.4.2.3. Balourd dynamique :

- Déphasage de 180° autour du roulement.
- Principalement des vibrations radiales. [7]

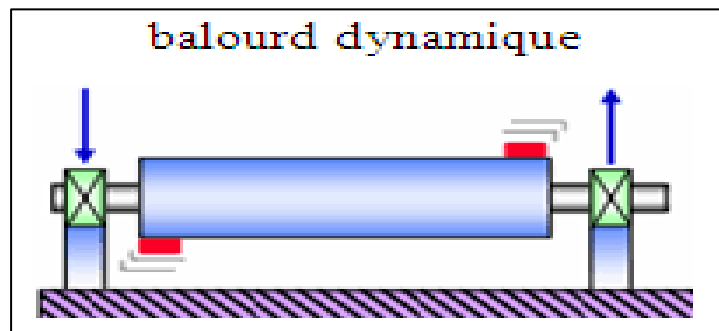


Figure I.7 : balourd dynamique. [6]

I.4.2.4. Balourd de couple :

- Vibration radial et axial.
- Déséquilibres statique et dynamique existant simultanément. [6]

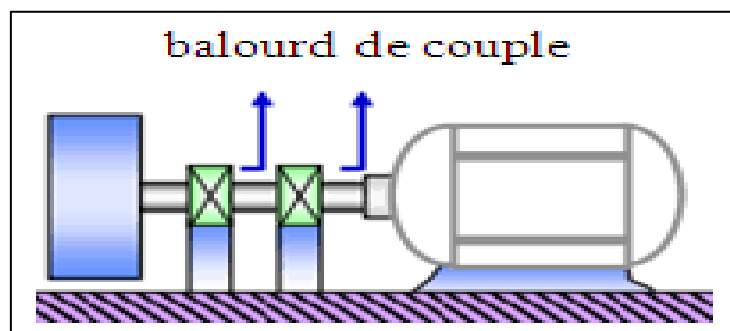


Figure I.8 : balourd de couple. [6]

I.4.2.5. Les causes du balourd :

D'origine toute pièce présente un balourd plus ou moins important, dont les principales causes sont :

- ✓ **Défauts de conception** : Tolérance trop large sur la cotation des pièces (excentricité, jeu, etc...), Asymétrie de rotation (vilebrequin, mandrin, etc.).
- ✓ **Défauts de fabrication** : Mauvaise homogénéité des matériaux utilisés (soufflure, inclusions, etc.), Tolérances d'usinage (circularité, concentricité, etc.).
- ✓ **Défauts de montage** : Asymétrie du montage des pièces (montage par clavette, goupilles, etc...), Pièces mal fixées ou montées avec jeu.
- ✓ **Défauts de service** : Usure due à un enlèvement de matière (meule), Modification de la masse par dépôt (encrassement, corrosion, etc...), Influences thermiques. [4]

I.4.3. Défaut d'alignement :

I.4.3.1. Définition :

Le défaut d'alignement est l'une des principales causes de réduction de la durée de vie des équipements. Il concerne soit deux arbres liés par un accouplement, soit deux paliers soutenant le même axe. [5]

-Il existe deux types de désalignements :

I.4.3.2. Désalignement d'arbres accouplés

Les axes des deux rotors peuvent présenter un désalignement angulaire au niveau de l'accouplement ou un désalignement radial (défaut de concentricité) ou la combinaison des deux (figure I.9). [5]

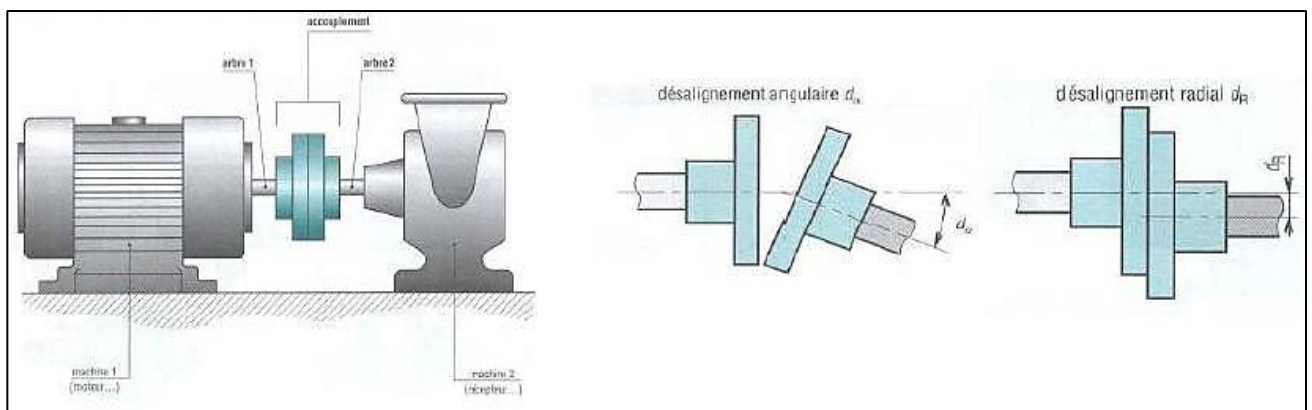


Figure I.9 : Désalignement d'arbres accouplés. [5]

I.4.3.3. Désalignement des paliers :

Les axes des deux paliers d'un même corps de machine ne sont pas concentriques (figure I.10). Cette anomalie peut être la conséquence d'un défaut de montage d'un palier, mais également d'un mauvais calage des pattes de fixation ou d'une déformation de châssis (par exemple à la suite de contraintes thermiques), qui se traduit par une flexion de l'arbre du rotor. [5]

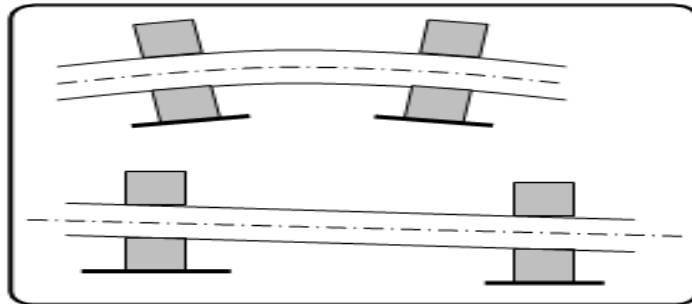


Figure I.10: Désalignement des paliers. [5]

I.4.3.4. Les cause de défaut désalignement :

- ✓ Défauts de montage des paliers.
- ✓ Mauvais calage des pattes de fixation.
- ✓ Déformation du châssis (par exemple à la suite de contraintes thermiques) qui se traduit par une flexion de l'arbre du rotor. [7]

I.4.4. Défaut de roulement :

I.4.4.1. Définition :

D'après les normes ISO355, ISO492, ISO15, ISO104, ISO5593, la fonction d'un roulement est de permettre à deux éléments d'être en rotation l'un par rapport à l'autre avec une précision et avec un frottement optimisé en remplaçant un glissement par un roulement. [4]

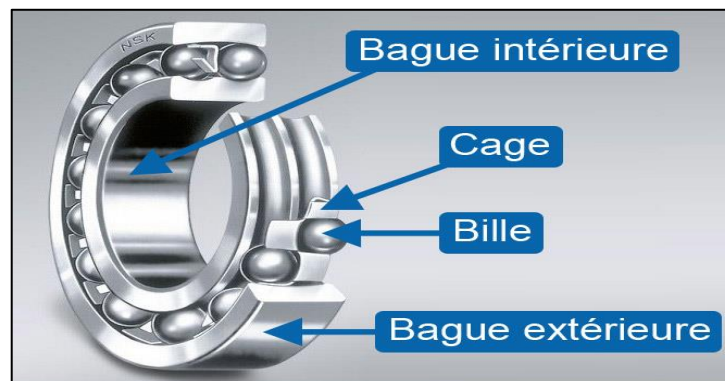


Figure I.11 : les composants des roulements.

En pratique pour chaque application existe un roulement approprié, le roulement billes offre un faible frottement grâce au contact ponctuel mais n'est utilisé que pour des charges limitées (figure I.12).

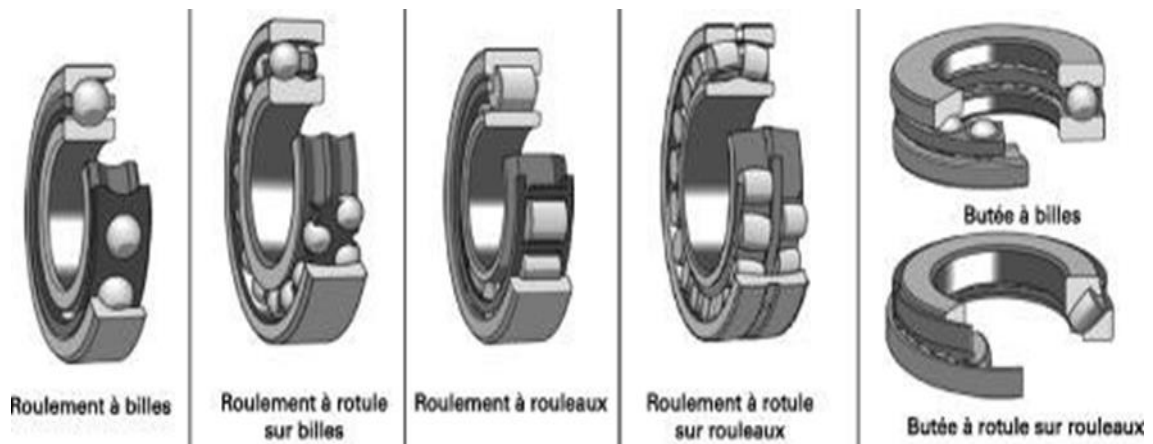


Figure I.12 : Différents types de roulements. [8]

I.4.4.2. Les cause de défaut de roulement :

- ✓ L'usure due au vieillissement.
- ✓ La température de fonctionnement élevée.
- ✓ La perte de lubrification.
- ✓ L'huile contaminée (par des paillettes métalliques issues de la dégradation des billes ou de la bande de roulement).
- ✓ Le défaut de montage.
- ✓ Les courants d'arbres (Shaft Current). [8]

I.4.5. Défaut de courroie :

I.4.5.1. Définition :

La courroie est un organe de transmission d'un arbre moteur à un arbre récepteur. Bien que leur utilisation présente certains avantages par rapport à une transmission à engrenages « moins de bruits et une usure moins importante », la transmission par courroies peut être cible d'une multitude de défaillances tels que ; une détérioration localisée (partie arrachée, défaut de jointure), des courroies trop détendues, un mauvais alignement des poulies ou bien une poulie excentrée. [5]

$$F_p = \frac{F_e}{N} = \frac{N_1 \cdot F_1}{N} = \frac{N_2 \cdot F_2}{N}$$

N_1 = Nbr dents poulie 1

N_2 = Nbr dents poulie 2

N = Nbr dents courroie

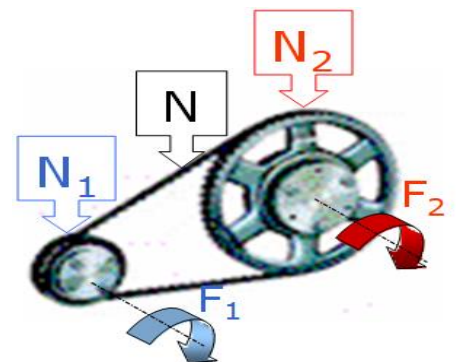


Figure I.13 : transmission par courroie.

I.4.5.2. Les causes de défaut de la courroie :

- ✓ Jeu.
- ✓ Desserrage.
- ✓ Mauvais fixation.

I.4.6. Autres types défauts :**I.4.6.1. Défaut de desserrage :**

On entend par exemple un manque de rigidité de montage sur une structure. Cela peut être dû effectivement à un desserrage de vis de fixation de la structure mais également à une fissuration d'ancrage.

I.4.6.2. Défauts hydraulique/ventilateur :**I.4.6.2.1. Passage d'aube :**

- Mécanique : mauvais calage axial de l'impulseur ou jeu de bec volute insuffisant.
- Hydraulique : débit trop bas.
- Encrassement des aubes ou des pales qui peut aussi provoquer du balourd.

I.4.6.2.2. Cavitation : se traduit par une augmentation générale du bruit de fond. [7]

I.4.6.3. Défauts électriques : problèmes d'alimentations, les courts circuits.

I.5. Conclusion :

Dans ce chapitre, nous avons une définition complète des machines tournantes, et avons défini toutes leurs pièces et composants (rotor, stator et les laissons.), et leur classification comprend de trois classifications (Machines secondaires, Machines importantes, Machines vitales).

Ensuite nous avons également étudié la turbine à gaz de manière globale en connaissant les composants de base de la turbine, ses fonctions et domaines d'utilisation, en mentionnant aussi ses avantages et ses inconvénients.

Enfin, après avoir découvert ces machines et leurs composants, nous avons trouvé les problèmes et les défaillances qui se produisent sur ces machines (balourd, désalignement,...etc.) c'est l'élément le plus important de ce chapitre, nous avons également clairement discuté des raisons de leur émergence et de leur interprétation.

Chapitre II: La maintenance et techniques des surveillances.

II.1. Introduction :

La maintenance industrielle est la partie la plus importante dans le monde des machines tournantes, car elle garantit largement la protection de ces machines contre les défaillances potentiels et leur suivi continu selon un plan de maintenance industrielle qui comprend un composant important est la maintenance préventive conditionnelle, qui assure la surveillance des machines avec des déférents techniques importants : la thermographie infrarouge, émission acoustique, l'analyse des huiles, l'analyse vibratoire.

Dans ce chapitre, nous avons présenté une explication générale sur la maintenance industrielle et la maintenance préventive conditionnelle avec les techniques de surveillance, nous expliquant en particulier les deux techniques les plus importantes de notre mémoire, à savoir l'analyse d'huile, l'analyse vibratoires avec des généralités sur les huiles et les vibrations.

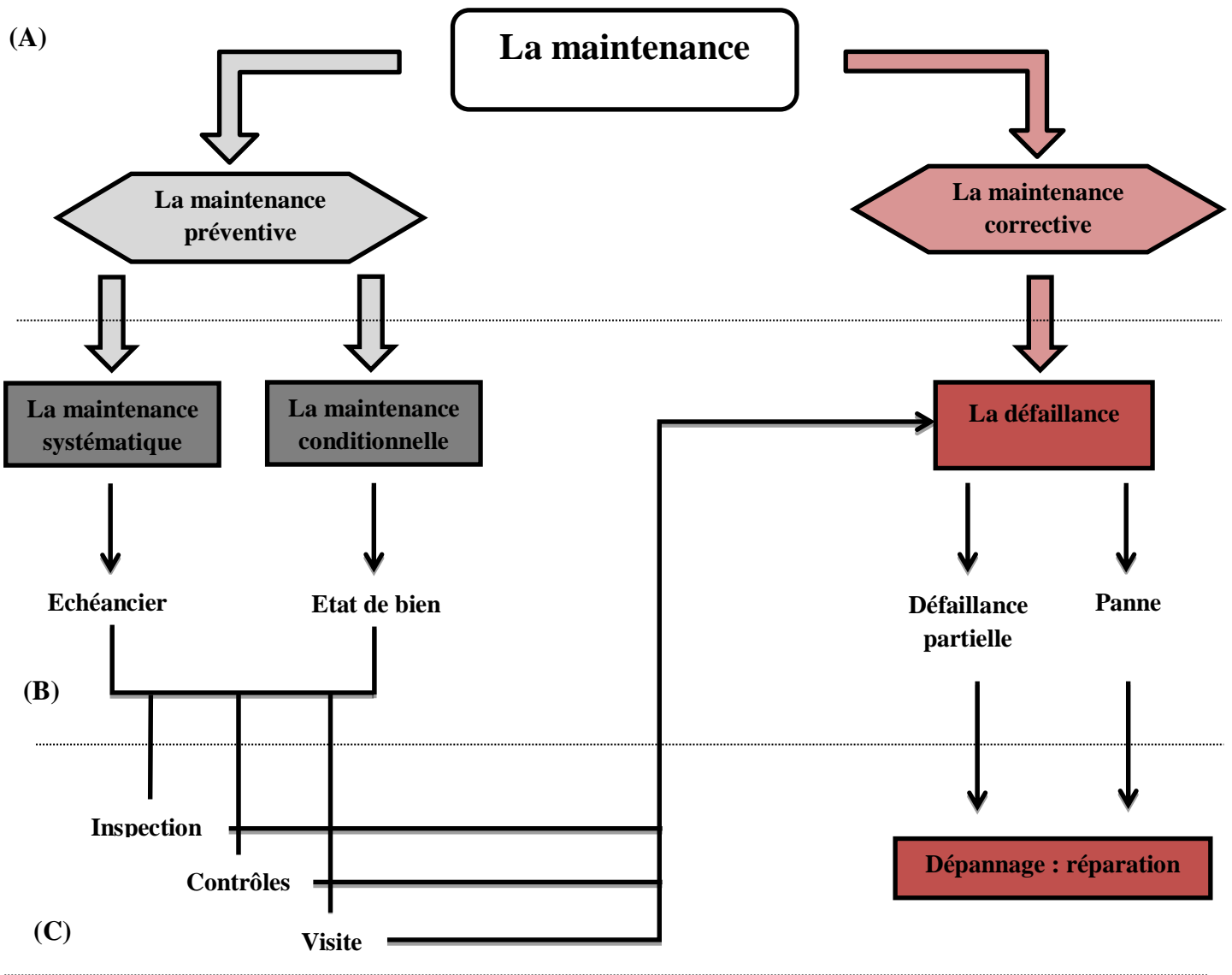
En fin nous avons comparé les techniques entre eux.

II.2. La maintenance :**II.2.1. Définition :**

La maintenance c'est l'ensemble des actions permettent de maintenir ou de rétablir un bien dans un état spécifique ou en mesure d'assurer un service déterminé. [9]

II.2.2. Types de maintenance :

Il existe deux types de la maintenance préventive et corrective, préventive et corrective : [10]



(A) : Méthodes de maintenance. (B) : Evènements. (C) : Opération de maintenance.

- La maintenance corrective** : C'est la maintenance exécutée après détection d'une panne et destinée à remettre un bien dans un état dans lequel il peut accomplir une fonction requise.
- La maintenance préventive** : C'est la maintenance exécutée à des intervalles prédéterminés ou selon des critères prescrits et destinée à réduire la probabilité de défaillance ou la dégradation du fonctionnement d'un bien.
- La maintenance préventive systématique** : C'est la maintenance préventive exécutée à des intervalles de temps préétablis ou selon un nombre défini d'unités d'usage mais sans contrôle préalable de l'état du bien.
- La maintenance préventive conditionnelle** : C'est la maintenance préventive basée sur une surveillance du fonctionnement du bien et/ou des paramètres significatifs de ce fonctionnement intégrant les actions qui en découlent.
- La maintenance préventive prévisionnelle** : C'est la maintenance préventive conditionnelle exécutée en suivant les prévisions extrapolées de l'analyse et de l'évaluation de paramètres significatifs de la dégradation du bien. [9]

II.2.3. Les objectifs visé par la maintenance : (norme FD X 60-000)

Selon la politique de maintenance de l'entreprise, les objectifs de la maintenance seront :

- ✓ La disponibilité et la durée de vie du bien.
- ✓ La sécurité des hommes et des biens.
- ✓ La qualité des produits.
- ✓ La protection de l'environnement.
- ✓ L'optimisation des coûts de maintenance. [9]

II.2.4. La maintenance préventive :

Il existe trois types de la maintenance préventive, systématique, conditionnelle et prévisionnelle, Mais nous étudierons la maintenance préventive conditionnelle car c'est le type qui inclut ce projet.

II.2.4.1. La maintenance préventive conditionnelle :

La maintenance préventive conditionnelle Son principe consiste à estimer et suivre l'état de marche (et son évolution) du matériel en fonctionnement, de manière à diagnostiquer des anomalies et programmer à l'avance les interventions de maintenance. On utilise dans ce cas différentes techniques appelées techniques de surveillance, basées sur la mesure de paramètres physiques, tels que :

- ✓ La thermographie infrarouge.
- ✓ L'analyse des mesures ultrasonores (émission acoustique).
- ✓ L'analyse vibratoire.
- ✓ L'analyse d'huile. [9]

II.2.4.2. Les avantages de la maintenance préventive :

La mise ne place d'une pratique de maintenance préventive présente un certain nombre d'avantages :

- ✓ Une amélioration de la productivité de l'entreprise.
- ✓ Un coût de réparation moins élevé.
- ✓ La diminution des stocks de production.
- ✓ La limitation des pièces de rechange.
- ✓ Une meilleure crédibilité du service maintenance.
- ✓ Une plus grande motivation du personnel de maintenance. [9]

II.3. Techniques de surveillance des défaillances :**II.3.1. La thermographie infrarouge :**

La thermographie est une des techniques utilisées pour contrôler l'état des structures et des systèmes industriels. Elle mesure l'intensité des émissions de rayons infrarouges (c'est-à-dire de chaleur) par une caméra infrarouge, afin de déterminer les conditions opératoires de l'équipement. Grâce à la détection des anomalies thermiques certaines zones sont plus chaudes ou plus froides qu'elles ne devraient l'être, un inspecteur expérimenté peut localiser et identifier les incidents dès leur naissance. Le champ d'application de cette technique est très vaste et on peut citer :

- ✓ La détection des points chauds dans les équipements électriques (conducteurs sous-dimensionnés, cosses mal vissées...etc.) Ou mécaniques (dégradation d'un palier).
- ✓ La détection des fuites thermiques dans les fours, canalisations...etc. [5]

II.3.2. L'analyse des mesures ultrasonores :

Tout mouvement relatif entre pièces produit des ultrasons de friction. La mesure et l'enregistrement des signaux ultrasonores effectués à cadence régulière, et leur suivi dans le temps permettent de détecter beaucoup de problèmes de façon simple efficace et peu onéreuse. La technique offre de multiples applications dans le contrôle d'équipements hydrauliques et pneumatiques (détection de fuites, contrôle d'étanchéité) et permet aussi de détecter les ultrasons émis par des défauts d'origine électrique (mauvais contacts, effets corona, effets d'arc, etc.). [5]

II.3.3. L'analyse d'huiles :

II.3.3.1. Généralité sur les lubrifiants :

II.3.3.1.1. Définition d'un lubrifiant :

Le lubrifiant est un produit qui, interposé entre les deux surfaces frottantes d'un mécanisme, réduit le frottement et par conséquent l'échauffement, tout en combattant l'usure des mécanismes.

II.3.3.1.2. Différents types des lubrifiants :

On peut distinguer les lubrifiants selon leur présentation, liquide, pâte ou solide, ou selon leur origine : minérale ou synthétique.

a. Selon leur présentation : [11]

Solides :

- ✓ Graphite.
- ✓ Cires.
- ✓ Résines.
- ✓ Plastique fluorés(PTFE).
- ✓ Polyamides.
- ✓ Vernis de glissement.

Liquides :

- ✓ Huiles minérales issues du pétrole.
- ✓ Huiles synthétiques.
- ✓ Huiles composées.

Pâteux :

- ✓ Graisses à base de pétrole.
- ✓ Pâtes lubrifiantes.
- ✓ Graisses de synthèse.

b. Selon leur origine :

Les huiles de lubrification sont constituées de plusieurs huiles de base et d'un certain pourcentage d'additifs. Ces additifs sont convenablement ajoutés pour améliorer les propriétés naturelles des huiles et leurs conférer des qualités de lubrification. Les huiles de base les plus utilisées sont d'origine minérale extraite du pétrole ou d'origine synthétique (fabriques chimiquement). [12]

b. 1. Lubrifiants d'origine minérale :

Les huiles minérales proviennent de la distillation du pétrole brut. D'un prix peu élevé, elles présentent des performances « moyennes ».

Le procédé d'obtention de ces huiles n'est pas parfait : les molécules obtenues sont de tailles différentes, ce qui nuit à l'homogénéité de l'huile et limite ses possibilités d'application. Des produits indésirables restent également dans cette huile de base (paraffines, solvants légers...).

Les huiles minérales sont, et de très loin, les plus utilisées aussi bien dans les applications automobiles qu'industrielles. [12]

b. 2. Lubrifiants d'origine synthétique :

Dans le cas de l'huile synthétique, on fabrique la molécule dont on a précisément besoin, si bien que l'on obtient une huile de base dont le comportement est voisin de celui d'un corps pur. En créant un produit dont les propriétés physiques et chimiques sont prédéterminées, on fait mieux que la nature.

On rajoute ensuite les additifs nécessaires pour répondre à un service voulu. Ces huiles ont des performances élevées, en particulier pour des objectifs et des conditions de service difficiles.

- Ces huiles elles offrent des performances supérieures :

- ✓ Indice de viscosité plus élevé.
- ✓ Meilleure tenue thermique.
- ✓ Meilleure résistance à l'oxydation. [12]

II.3.3.1.3. Classification des lubrifiants :

a. Classification ISO:

La classification internationale des huiles industrielles est la classification ISO VG dont chaque classe est repérée par un nombre entier qui correspond sensiblement à la viscosité cinématique en centistokes (mm²/s) du lubrifiant à 40 °C. [14]

Tableau II.1 : Classification ISO des huiles industrielles. [13]

Classe ISO de viscosité	Viscosité cinématique médiane (cSt) à 40°C	Limite de la viscosité cinématique (cSt) à 40°C	
		Min	Max
ISOVG 2	2.2	1.98	2.42
ISOVG 3	3.2	2.88	3.52
ISOVG 5	4.6	4.14	5.06
ISOVG 7	6.8	6.12	7.48
ISOVG 10	10	9.00	11.00
ISOVG 15	15	13.50	16.50
ISOVG 22	22	19.80	24.20
ISOVG 32	32	28.80	35.20
ISOVG 46	46	41.40	50.60
ISOVG 68	68	61.2	74.8
ISOVG 100	100	90.00	110.00
ISOVG 150	150	135.00	165.00
ISOVG 220	220	198.00	242.00
ISOVG 320	320	288.00	352.00
ISOVG 460	460	414.00	506.00
ISOVG 680	680	612.00	748.00
ISOVG 1000	1000	900.00	1100.00
ISOVG 1500	1500	1350.00	1650.00

b. Classification SAE:

La classification quasi internationale adoptée pour les huiles moteurs et les huiles pour transmission (engrenages d'automobiles) est celle de la S.A.E (American Society of

Automotive Engineers), basée sur la viscosité, les grades S.A.E sont définis dans le (tableau I.4) pour les huiles moteurs (Normes SAEJ 300 sept. 80) et dans le (tableau I.5) pour les huiles pour transmission (Normes S.A.E .J 306 mai 89). [13]

-Cela peut être expliqué comme suit :

-Huile MONOGRADE : SAE 5W - SAE 10W - SAE 20W sont ses huile d'hiver.

(W = Winter = hiver) Ex: une SAE 5W est plus fluide qu'une SAE 20W.

-Huile MONOGRADE : SAE 30 - SAE 40 - SAE 50 sont des huiles d'été.

Ex: une SAE 50 est plus épaisse qu'une SAE 30.

-Huile MULTIGRADE : SAE 5W50 - SAE 15W40 - SAE 20W50...sont des huiles toutes saisons. Elles sont dites à "viscosité constante".

Ex: une huile SAE 10W30 se comporte comme une SAE 10W (au démarrage à froid) et comme une SAE 30 (à température normale à chaud).

-Huile TRANSMISSION : SAE 80 - SAE 90. (Le 90 est la plus épaisse). [14]

Tableau II.2 : Classification des huiles moteurs (SAE J300, 1980). [13]

Grade S.A.E	Valeur maximale de la viscosité à la température donnée (a) m.Pa.S = cPo °C	Valeur maximale de la température limite de pompabilité (b) °C	Viscosité à 100°C cSt = mm ² /s	
			Mini	Maxi inf à
0 W	3250 à 30	-35	3.8	
5 W	3500 à -25	-30	3.8	
10 W	3500 à -20	-25	4.1	
15 W	3500 à -15	-20	5.6	
20 W	4500 à -10	-15	5.6	
25 W	6000 à -5	-10	9.3	
20			5.6	9.6
30			9.3	12.5
40			12.3	16.3
50			16.3	21.9

-Cette viscosité est mesurée selon la norme ASTM O2602 sur un viscosimètre de type Couette (Gold cranking simulator) dont la vitesse varie selon la valeur de la viscosité mesurée.

La température limite de pompabilité est mesurée selon la norme ASTM D3829, elle évalue la possibilité pour une huile d'être aspirée et mise en pression par une pompe à huile de moteur lors des démarrages à froid. [13]

Tableau II.3 : Classification des huiles de transmissions (S A E J306 (1981)). [13]

Grade S.A.E	Température maximale pour une viscosité de 150 Pa.s=150000 cPo(c) °C	Viscosité à 100 °C cSt= mm ² /s	
		mini	Max < à
70 W	-35	4.1	
80 W	-26	4	
85 W	-12	11	
90 W		13.5	24
140 W		24	41
250 W		41	

-Cette température est déterminée selon la norme ASTM D2983 sur un viscosimètre Brookfield.

II.3.3.1.4. Les propriétés des lubrifiants :

a. Propriétés physiques :

- La densité.
- La couleur.
- Chaleur massique.
- **Viscosité.**
- Conductivité thermique.
- **Coefficient de viscosité-pression.**
- Point d'écoulement. [11]

a. 1. Viscosité :

C'est une des propriétés capitales des huiles de graissage, qui conditionne leur emploi dans la majorité des cas. Plus grande est la viscosité d'un liquide, plus grande est la durée de son écoulement, par exemple. La notion de viscosité implique donc celle de mouvement. En fait, on peut dire que la viscosité est la résistance qu'oppose un fluide au glissement de ses molécules les unes sur les autres, autrement dit, sa résistance à la déformation. [11]

a. 2. Coefficient de viscosité-pression :

Si la pression croît, la mobilité des molécules diminue et la viscosité augmente selon une loi exponentielle. Pour une huile minérale classique, la viscosité à 350 bars est environ deux fois plus forte qu'à la pression atmosphérique, ce qui équivaut à une baisse de température de 10 à 15 °C.

Dans le cas de contacts localisés en mouvement sous très fortes charges, comme dans les engrenages, il faut tenir compte d'une part de l'accroissement de la viscosité sous l'effet de la pression, d'autre part de la déformation élastique des pièces dans la zone chargée. Ce calcul, possible grâce à la théorie de la lubrification élastohydrodynamique de Grubin, sort du cadre de ce cours. [11]

b. Propriétés chimiques :

- **Combustibilité, point d'éclair, point de feu.**
- Teneur en cendres.
- Teneur en soufre.
- **Teneur en eau.**
- Détergence, dispersivité.
- Température d'auto-inflammation.
- Capacité de rétention d'impuretés et résistance à l'oxydation. [11]

b. 1. Combustibilité, point d'éclair, point de feu :

À partir d'une certaine température, les constituants volatils de l'huile peuvent brûler au contact d'une flamme : c'est le point éclair.

-Si on chauffe davantage, il arrive un moment où la combustion devient permanente : c'est le point de feu.

Ces deux températures sont très variables avec les paramètres locaux et en particulier avec la présence d'eau en suspension dans l'huile. Leur mesure fait l'objet de normes. À partir du point d'éclair Cleveland, il est possible de déduire le point de feu Cleveland avec une assez bonne précision. Quand une huile est portée à son point d'éclair, sa tension de vapeur est de l'ordre de 13 mbar.

➤ Point d'éclair (appareil Cleveland) : Température à laquelle il faut chauffer un liquide combustible pour qu'il émane suffisamment de gaz pour former, avec l'air, un mélange momentanément inflammable pour qu'il prenne feu quand on en approche une petite flamme dans des conditions données (méthode D 92 de l'ASTM). [11]

b. 2. Teneur en eau :

L'eau est l'un des principaux ennemis des lubrifiants. Dans les environnements humides, lorsqu'un lubrifiant reçoit de l'eau directement ou par condensation de vapeur, ses performances sont en général fortement diminuées. La sensibilité à l'eau est très variable selon le produit utilisé, relativement faible pour les glycols, beaucoup plus élevée pour les oléfines.

Une teneur en eau trop élevée est un sérieux signal d'alerte avant une prochaine défaillance du mécanisme concerné. [11]

II.3.3.1.5. Les additifs :

Ce des additifs aux huiles pour améliorer leurs propriétés en fonction des conditions de travail, peut être classé dans le tableau suivant :

Tableau II.4 : les additifs et leurs utilisations. [11]

Les additifs	L'utilisation
Anti-oxydant	-Supprimer, ou tout au moins ralentir les phénomènes d'oxydation du lubrifiant. Contribuer à l'espacement des vidanges par une meilleure tenue aux hautes températures.

Anti-corrosion	-Empêcher l'attaque des métaux ferreux, attaque due à l'action conjuguée de l'eau, de l'oxygène de l'air et de certains oxydes formés lors de la combustion.
Anti-friction (usure)	-Renforcer l'action anti-usure qu'exerce un lubrifiant vis-à-vis des organes qu'il lubrifie.
Anti-congelant (jusqu'à 0.5 %)	-Permettre au lubrifiant de garder une bonne fluidité à basse température (de -15°C à -45°C).
Anti-mousse	-Le moussage de l'huile peut être dû : 1. A la présence d'autres additifs. Les additifs détergents agissent dans l'huile comme du savon dans l'eau : ils nettoient le moteur mais ont tendance à mousser. 2. Au dessin du circuit de graissage qui provoque des turbulences lors de l'écoulement du lubrifiant, facilitant ainsi le brassage air huile et la formation des bulles.
Anti-émulsion et Détergent (utilisés à raison de 3 à 15 %)	-Evite le mélange de fluides étrangers (de l'eau par exemple) avec l'huile et favorise la décantation (séparation) de l'ensemble. -Détergent éviter la formation de dépôts ou de vernis sur les parties les plus chaudes du moteur telles que les gorges des pistons.
Amélioration d'indice de viscosité (utilisés à raison de 5 à 10 %)	-Permettre à l'huile d'être : 1. Suffisamment fluide à froid (faciliter le démarrage en abaissant le point d'écoulement entre -15 et -45°C suivant les huiles). 2. Visqueuse à chaud (éviter le contact des pièces en mouvement).

II.3.3.2. La lubrification-Graissage :

II.3.3.2.1. Définition :

La lubrification ou le graissage est un ensemble de techniques permettant de réduire le frottement, l'usure entre deux éléments en contact et en mouvement l'un par rapport à l'autre. Elle permet souvent d'évacuer une partie de l'énergie thermique engendrée par ce frottement, ainsi que d'éviter la corrosion... Dans ces situations, les écoulements fluides sont parallèles aux surfaces, ce qui simplifie leur description et leur calcul (théorie de la lubrification). On parle de lubrification dans le cas où le lubrifiant (mécanique) est liquide et de graissage dans le cas où il est compact. [12]

En mécanique, une graisse est un produit pâteux plus ou moins consistant utilisé comme lubrifiant. Les graisses forment une pellicule qui diminue le frottement et favorise le glissement.

II.3.3.2.2. Fonctions de la lubrification-graissage :

Les fonctions de lubrification et de graissage sont les mêmes que celles de l'huile, car la lubrification et le graissage se font par l'huile.

- Réduire la friction (frottement ou déformation).
- Réduire l'usure des pièces.
- Absorber / atténuer les chocs.
- Réduire / contrôler la température.
- Protéger de la corrosion, isoler les composantes de la contamination.
- Nettoyer / enlever les contaminants. [15]

II.3.3.2.3. La différence entre l'huile lubrifiante et la graisse lubrifiante:

-L'huile lubrifiante se présente sous la forme d'une base, "huile minérale ou huile de synthèse,...", avec des additifs (anti usure, extrême pression, anticorrosion...) utilisés pour améliorer les caractéristiques ou adapter l'huile à l'application choisie.

-La graisse lubrifiante se compose de :

70 à 95 % d'huile de base (minérales, synthétiques ou végétales) qui sert d'agent lubrifiant

0 à 10 % d'additifs identiques à ceux cités précédemment

3 à 20 % d'un agent épaississant ou gélifiant qui a pour rôle de donner la consistance au lubrifiant (semi fluide, fluide, mou ou dur) et d'emprisonner l'huile de base et les additifs pour qu'ils ne s'écoulent pas. [16]

II.3.3.2.4. Types de lubrification-Graissage :

a. Par barbotage :

Dans ce mode de graissage, plutôt élémentaire, la bielle vient effleurer la surface de l'huile contenue dans le carter et la projecte, éclaboussant ainsi toutes les parties à graisser. [17]

b. Lubrification ordinaire sous pression :

L'huile provenant de la rampe principale de graissage est dirigée par des canaux vers les paliers de vilebrequin. Les rainures des coussinets et un canal oblique permettent le graissage sous pression des têtes de bielle. L'huile retombe dans le carter inférieur à partir des manetons et des tourillons du vilebrequin. [17]

c. Lubrification intégrale :

C'est l'équivalent d'un graissage ordinaire, mais en plus, l'axe de piston est graissé sous pression grâce à un perçage pratiqué dans le corps de bielle. [17]

d. Lubrification par projection :

L'huile sous pression s'échappant des manetons est projetée le long des parois de la chemise. Elle assure ainsi le graissage entre le piston et la chemise, ainsi que l'axe de piston. [17]

II.3.3. 3. L'analyse d'huiles :

L'analyse d'huile fait partie des moyens mis en œuvre pour faire la maintenance préventive. Avec l'analyse vibratoire et la thermographie, elle permet d'éviter les pannes imprévues et les réparations coûteuses. [9]

a. Avantages de la technique :

- ✓ 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. [9]

b. Inconvénients :

- ✓ Ne permet pas de localiser précisément le défaut.
- ✓ Nécessite de prendre de nombreuses précautions dans le prélèvement de l'échantillon. [9]

II.3.3.3.1. Les 7 règles d'or pour une gestion efficace des analyses des huiles :

Le respect de ces quelques règles vous aidera à tirer le plus grand profit de l'outil « analyses », et ne manquera pas de se traduire rapidement par une économie de temps, et d'argent...

- 1 – Expliquer à l'équipe chargée de la maintenance l'utilité du suivi du parc par analyses.
- 2 – Mobiliser cette équipe sur l'efficacité de cet outil de maintenance préventive, qui augmente la longévité du parc et contribue donc à la bonne santé de l'entreprise.
- 3 – Déterminer clairement ensemble les méthodes à respecter pour la technique et la fréquence de la prise d'échantillon.
- 4 – Déterminer et former les personnes responsables des prélèvements d'échantillons et du renseignement correct des fiches.
- 5 – Désigner une personne qualifiée dans l'équipe, chargée de déceler les problèmes en se servant de toutes les aides au diagnostic disponible.
- 6 – Former un membre de l'équipe de maintenance pour tenir à jour toutes les données relatives aux analyses d'huile (de la prise d'échantillon au traitement des informations données par analyse).
- 7 – Veiller à ce qu'un retour d'information soit régulièrement transmis au laboratoire d'analyses, afin de le tenir informé des mesures prises et de leur incidence, positive ou non. [17]

II.3.3.3.2. Les problèmes détectés par l'analyse des huiles :

L'analyse d'huile, pratiquée dans le cadre d'une maintenance préventive conditionnelle, va permettre, par exemple, de détecter et de suivre les dysfonctionnements potentiels suivants

- ✓ Problèmes d'étanchéité de la filtration d'air.
- ✓ Infiltration de liquide de refroidissement
- ✓ Déréglage du système d'injection
- ✓ Etat mécanique du moteur (usure).
- ✓ Mauvais état d'un roulement ou d'un palier.
- ✓ Transmission défectueuse (engrenages endommagés).
- ✓ Performance des additives extrêmes pressions.
- ✓ Pollution externe (eau, poussières...).
- ✓ Evolution du lubrifiant en service (dépôts, oxydation...).
- ✓ Pollution du circuit (matières solides, eau...). [17]

II.3.3.3. Objectifs visés par l'analyse de l'huile

L'objectif sera de déceler les principales anomalies afin de donner au Responsable de Maintenance des informations précises sur l'état de la machine, et cela en recherchant dans le lubrifiant :

- ✓ Tous les phénomènes de pollution.
- ✓ Tous les phénomènes de contamination.
- ✓ L'ensemble des métaux provenant de l'usure.
- ✓ Le type d'usure.
- ✓ Pour les moteurs : l'étude de la qualité de la combustion.
- ✓ Dans certains cas et notamment lorsque les vidanges sont espacées, l'état du lubrifiant.[18]

II.3.4. L'analyse vibratoire :

II.3.4.1. Généralité sur les vibrations mécanique et les capteurs de vibration:

II.3.4.1.2. Définitions de vibration :

La vibration est un phénomène dynamique, c'est-à-dire en mouvement. L'étude des mouvements périodiques et, plus particulièrement, du mouvement oscillatoire conduit à une définition de la vibration. [19]

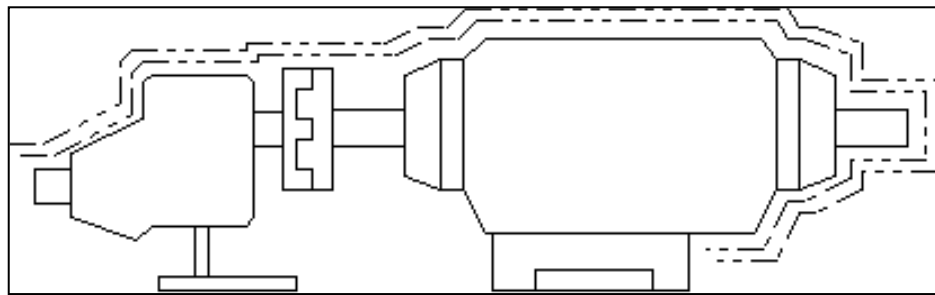


Figure II.1 : Un dessin représentatif d'un moteur en vibration.

Les vibrations en forme générale est divisé en trois origines principales sont : les Origines (mécanique, hydraulique, électrique).

On peut déduire que cette vibration mécanique est caractérisée par 3 grandeurs :

- **Le déplacement** : la position de la masse varie de part et d'autre du point d'équilibre.
- **La vitesse** : variation du déplacement par rapport au temps.
- **L'accélération** : variation de la vitesse par rapport au temps. [20]

II.3.4.1.3. Les caractéristiques des vibrations mécaniques :

Une vibration se caractérise principalement par sa fréquence, son amplitude et sa nature.

a. Fréquence :

a. 1. Définition :

La fréquence est le nombre de fois qu'un phénomène se répète en un temps donné. Lorsque l'unité de temps choisie est la seconde, la fréquence s'exprime en hertz [Hz]. 1 hertz = 1 cycle/seconde. Une vibration qui se produira 20 fois par seconde aura donc une fréquence f de 20 hertz.

-Si la fréquence f d'un phénomène est de 50 hertz, c'est-à-dire 50 cycles par seconde, la durée d'un cycle (ou période T) est de 1/50ème de seconde. La fréquence f est l'inverse de la période T : $f = 1/T$. [5]

b. L'amplitude :

b. 1. Définition :

On appelle amplitude d'une onde vibratoire la valeur de ses écarts par rapport au point d'équilibre et on peut définir :

- ✓ L'amplitude maximale par rapport au point d'équilibre appelée amplitude crête (A_c) ou niveau crête.
 - ✓ L'amplitude double, aussi appelée l'amplitude crête à crête (A_{cc}) (peak to peak, en anglais) ou niveau crête-crête.
 - ✓ L'amplitude efficace (A_{eff}), aussi appelée RMS (Root Mean Square) ou niveau efficace.
- [5]

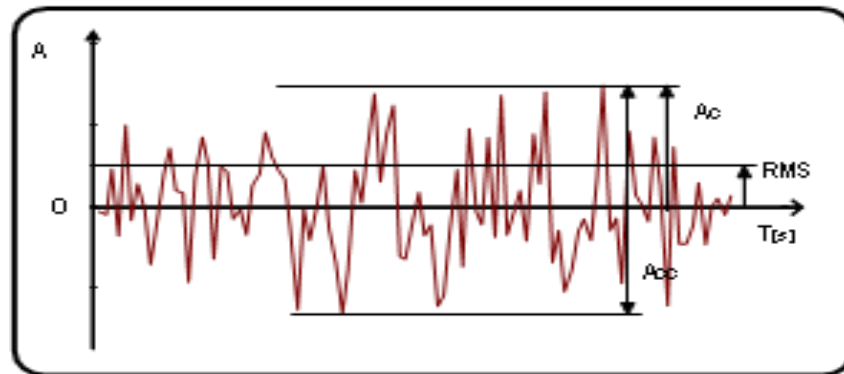


Figure II.2 : vibration complexe. [5]

-Grandeurs associées à l'amplitude d'une vibration :

Une vibration est caractérisée par les trois grandeurs fondamentales : le déplacement x , la vitesse v et l'accélération γ .

c. La nature :

Une machine tournante quelconque en fonctionnement génère des vibrations que l'on peut classer de la façon suivante:

- Les vibrations périodiques de type sinusoïdal simple (figure II.3 a) ou sinusoïdal complexe (figure II.3 b).
- Les vibrations périodiques de type impulsionnel (figure II.3 c).
- Les vibrations aléatoires de type impulsionnel (figure II.3 d). [5]

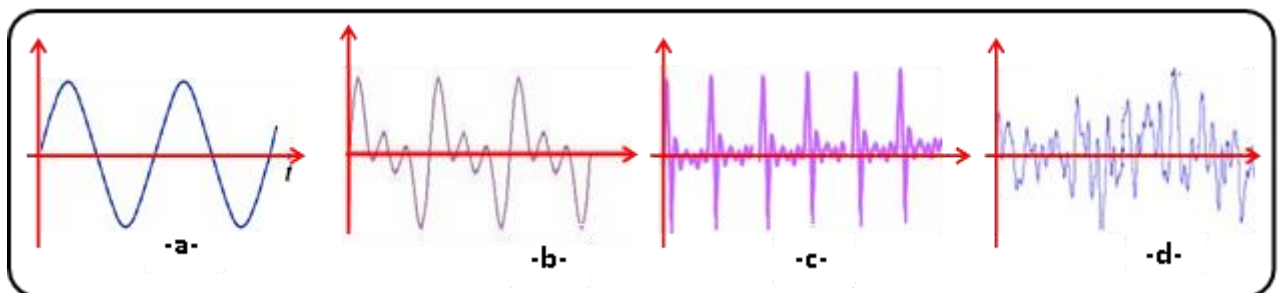


Figure II.3 : nature d'une vibration. [5]

II.3.4.1.4. Les type de vibration :

a. Vibration harmonique :

Une vibration harmonique est une vibration dont le diagramme amplitude-temps est représenté par une sinusoïde (figure II.4). Le meilleur exemple d'une vibration harmonique est celle qui est générée par le balourd d'un rotor en mouvement. [3]

$$X(t) = A \sin(\omega t + \theta)$$

ω = vitesse angulaire ou pulsation du mouvement ($2\pi f$).

A = fréquence du mouvement.

θ = phase du mouvement par rapport à un repère dans le temps.

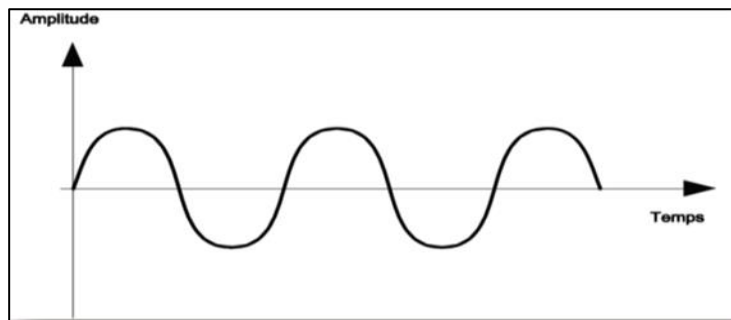


Figure II.4 : Signaux vibratoire harmonique. [3]

b. Vibrations périodiques :

Une vibration périodique est telle qu'elle se reproduit exactement après un certain temps appelé période (figure II.5). Une telle vibration est créée par une excitation elle-même périodique. C'est le cas le plus fréquent rencontré sur les machines. [3]

$$X(t) = \sum_{i=1}^n [X_i \cdot \sin(\omega_i t + \varphi_i)]$$

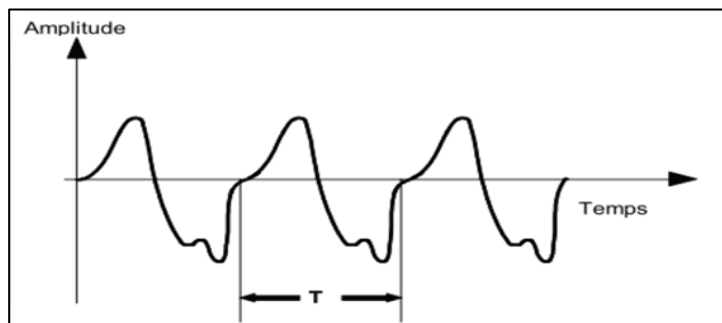


Figure II.5 : Signaux vibratoire périodique. [3]

c. Vibrations a périodiques :

Une vibration a périodique est telle que son comportement temporel est quelconque, c'est-à-dire que l'on n'observe jamais de reproductibilité dans le temps (figure II.6). C'est le cas des chocs que l'on enregistre sur un broyeur. [3]

$$X(t) = \sum_{i=1}^{\infty} [X_i \cdot \sin(\omega_i t + \varphi_i)]$$

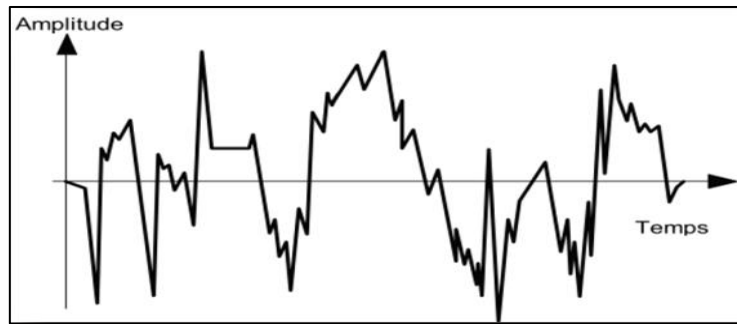


Figure II.6 : Signaux vibratoire aperiodique. [3]

- En fonction série fourrier en peut décomposée signaux périodique et les signaux aperiodique à sous signaux harmonique pour résoudre l'équation de mouvement.

II.3.4.1.5. Transformé de Fourier rapide (FFT) :

FFT est un moyen de transformation les signaux temporels aux signaux fréquentielle. (Figure II.7) représenter la transformée d'un signale harmonique. [2]

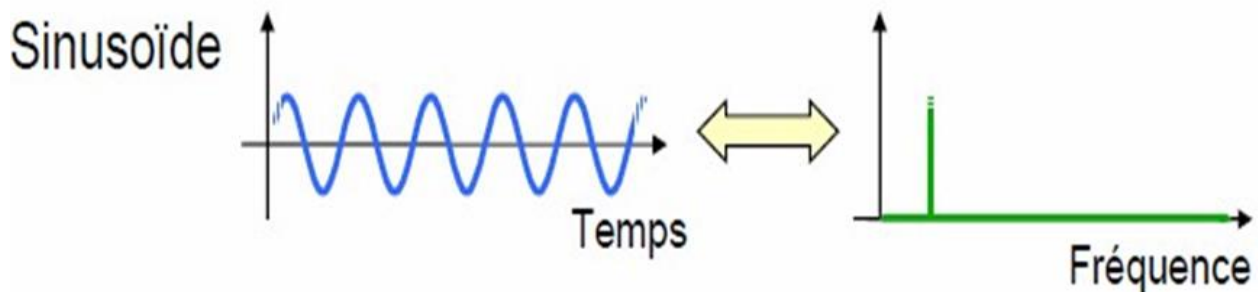


Figure II.7 : Transformation signale harmonique temporelle au fréquentielle

II.3.4.1.6. Les Capteurs de vibrations :

Le capteur de vibrations est le premier maillon de la chaîne de mesure. Le but de ce capteur est de transformer une vibration mécanique en un signal électrique.

Les capteurs utilisant ces principes peuvent être actifs ou passifs. Les capteurs actifs ne nécessitent pas d'alimentation, alors que les capteurs passifs ne fonctionneraient pas sans source d'énergie auxiliaire. On distingue :

a. Capteur de déplacement :

Aujourd'hui, le proximètre le plus utilisé pour la surveillance de machines est le capteur inductif à courants de Foucault. Ce capteur, représenté en (figure II.8), est relié à un émetteur-démodulateur-conditionneur. [21]

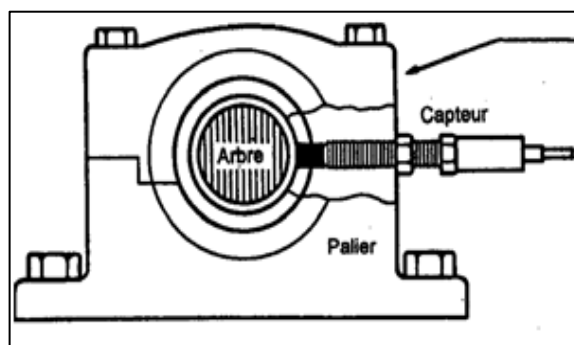


Figure II.8 : Proximètre monté sur un palier. [5]

b. Capteurs de vitesse :

Parmi tous les systèmes physiquement susceptibles de mesurer une vitesse de vibration, les capteurs de vitesse ou vélocimètres sont constitués d'une sonde à contact dite sonde sismique qui mesure le mouvement absolu de l'organe sur lequel elle est fixée. Ce type de capteur présente l'avantage de ne nécessiter ni source d'alimentation ni préamplificateur. [21]

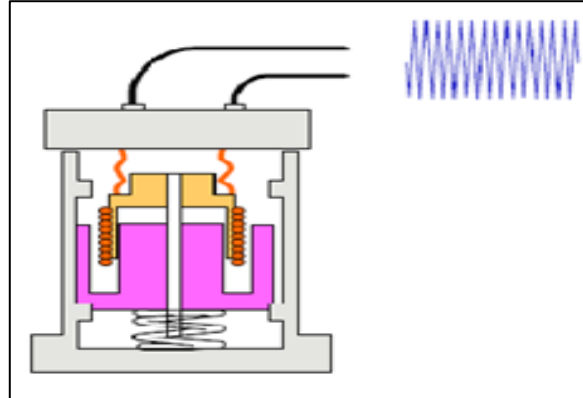


Figure II.9 : schéma de principe d'un vélocimètre. [5]

c. Capteurs d'accélération :

Les accéléromètres piézoélectriques tendent à devenir les capteurs de vibrations absolues les plus utilisés pour la surveillance des machines tournantes. Leur principe de fonctionnement repose sur la propriété des matériaux piézoélectriques de générer une charge électrique proportionnelle à la contrainte de compression ou de cisaillement subie. [21]

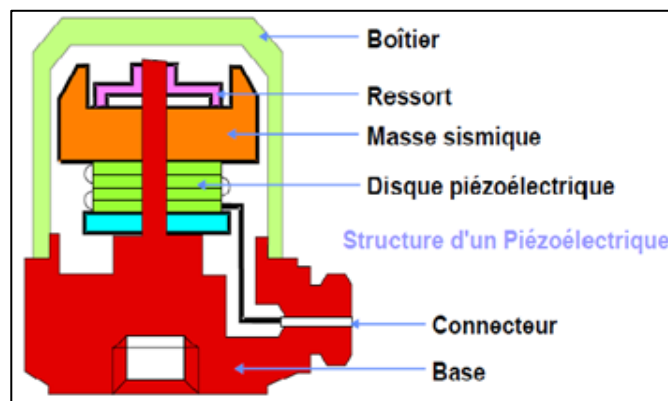


Figure II.10 : schéma de principe d'un accéléromètre. [5]

II.3.4.1.7. Les caractéristiques des capteurs :

Un capteur se caractérise principalement par :

- ✓ Bande passante.
- ✓ Dynamique
- ✓ Sensibilité.
- ✓ Tenue en température.
- ✓ Grandeurs d'influence.
- ✓ Masse et ses dimensions. [5]

II.3.4.1.8. Choix de l'emplacement de capteurs :

Dans le cas des machines tournantes, les principales mesures seront effectuées le plus souvent au droit des paliers qui sont les parties fixes les plus directement en relation avec les efforts appliqués à la partie mobile (figures II.11). Ces efforts sont de deux types :

a. Efforts tournants : ce sont les efforts liés à la rotation de l'arbre, générés par exemple par un balourd ou un désalignement, et dont les amplitudes seront plus grandes dans le cas d'une mesure effectuée dans un plan radial.

b. Efforts directionnels : ce sont des efforts liés à une contrainte de l'arbre, générés par exemple par la tension d'une courroie (effort directionnel radial [figure II.12]), ou un par le contact d'un engrenage conique (effort directionnel axial). [5]

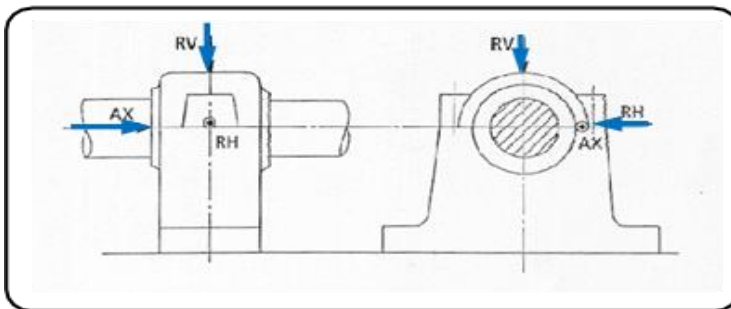


Figure II.11 : Fixation du capteur sur palier. [5]

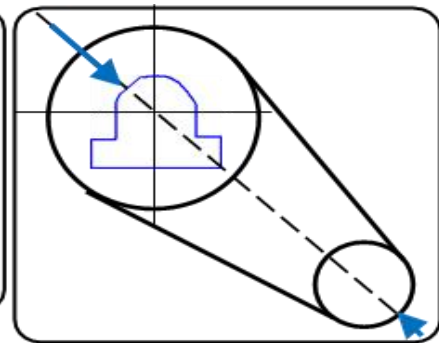


Figure II.12 : direction favorisée pour transmission par poulies courroies. [5]

II.3.4.1.9. Consignes pour la fixation des capteurs :

- Les capteurs doivent être placés en liaison aussi directe que possible avec les paliers, en limitant au strict minimum le nombre de pièces assurant l'interface entre l'élément mobile et le capteur (figure II.13).
- L'emplacement des points de mesure doit être propre (pas de traces de graisse ou de peinture) et les surfaces de contact avec les capteurs lisses, planes et perpendiculaires à la direction de mesure (figure II.14).
- Lorsque le palier est difficilement accessible de façon directe, la prise de la mesure est effectuée par un capteur au point judicieusement choisi en fonction des raideurs (figure II.15). [5]

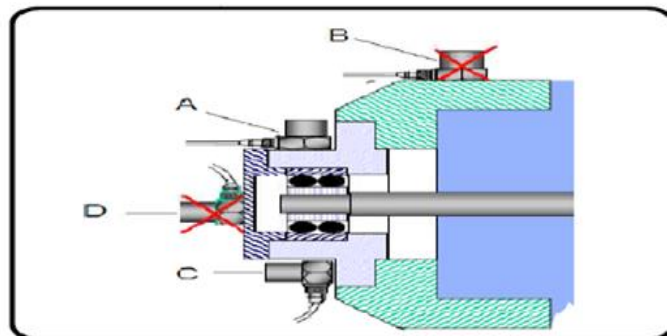


Figure II.13 : Choix de l'emplacement du capteur. [5]

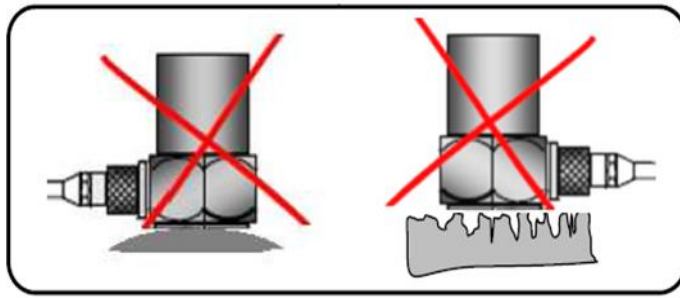


Figure II.14 : Les surfaces de contact avec les capteurs doivent être lisses et planes. [5]

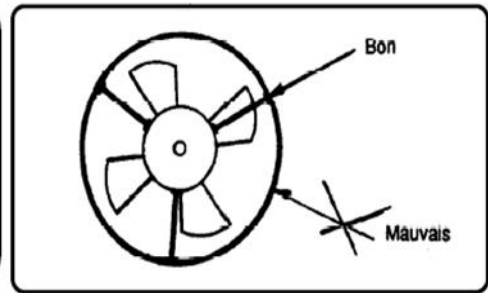


Figure II.15 : emplacement du capteur sur un palier inaccessible directement. [5]

II.3.4.1.10. Modes de fixation

Les accéléromètres possèdent une réponse linéaire sur une large gamme de fréquences, mais cette gamme de fréquences peut être considérablement diminuée selon leur mode de fixation (figure II.16).

Pour que les mesures soient fiables, il faut qu'elles soient faites dans une gamme de fréquences nettement inférieures à la fréquence de résonance du capteur. [5]

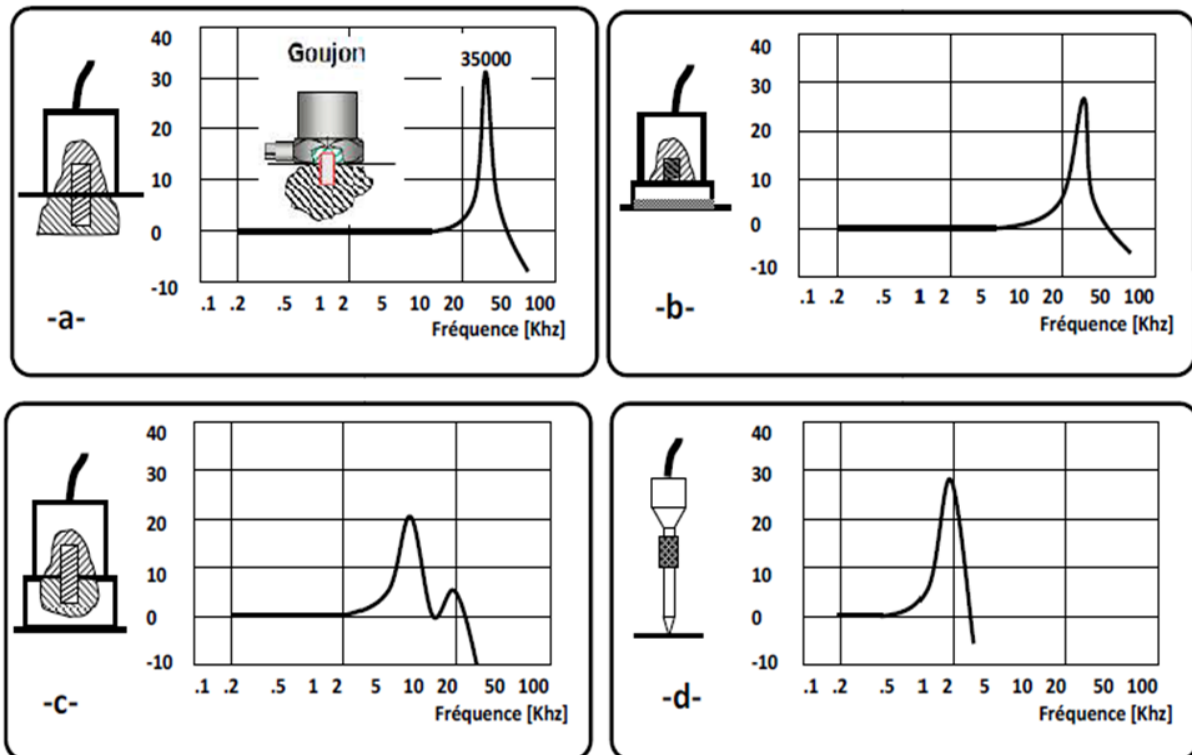


Figure II.16 : Réponse d'un accéléromètre en fonction de la fréquence selon le mode de fixation. [15]

a : Fixation par goujon. **b :** Fixation par embase collée. **c :** Fixation par aimant. **d :** Fixation par pointe de touche.

II.3.4.2. L'analyse vibratoire :

Toutes les machines, et particulièrement les machines tournantes, vibrent et l'image vibratoire de leurs vibrations a un profil très particulier lorsqu'elles sont en état de bon fonctionnement. Dès que des phénomènes d'usure, de fatigue, de vieillissement, de désalignement, de balourd, etc. apparaissent, l'allure de cette image change, ce qui permet, de quantifier l'intervention. La plupart des défauts mécaniques peuvent être détectés par cette technique. [9]

a. Avantages de la technique :

- ✓ Détection de défauts à un stade précoce
- ✓ Possibilité de réaliser un diagnostic approfondi
- ✓ Autorise une surveillance continue.
- ✓ Permet de surveiller l'équipement à distance.

b. Inconvénients :

- ✓ Spectres parfois difficiles à interpréter.
- ✓ Dans le cas de surveillance continue, installations relativement coûteuses. [9]

II.3.4.2.1. Les défauts détectés par l'analyse vibratoire :

On peut dire que la surveillance continue des machines tournantes grâce à l'analyse vibratoire garantit largement la détection de tous les défauts possible. Parmi les défauts affectant dans les machines tournantes qui sont détectés par l'analyse vibratoire :

- ✓ Défauts de balourd.
- ✓ Défauts de lignage
- ✓ Défauts des roulements
- ✓ Défauts des engrenages.
- ✓ Défauts de serrage.
- ✓ Défauts de palier lisse.
- ✓ Jeux mécanique.

II.3.4.2.2. Les objectifs de l'analyse vibratoire :

Les objectifs d'une telle démarche sont de :

- ✓ Réduire le nombre d'arrêts sur casse.
- ✓ L'analyse détaillée des défauts.
- ✓ Fiabiliser l'outil de production.
- ✓ Augmenter son taux de disponibilité.
- ✓ Mieux gérer le stock de pièces détachées, etc...

-À partir des vibrations régulièrement recueillies sur une machine tournante, l'analyse vibratoire consiste à détecter d'éventuels dysfonctionnements et à suivre leur évolution dans le but de planifier ou reporter une intervention mécanique. [19]

II.4. La déférence entre l’analyse des huiles et l’analyse vibratoire :

-Les points comparatifs peuvent être résumés dans le tableau suivant :

Tableau II.5 : La déférence entre l’analyse des huiles et l’analyse vibratoire.

L’analyse des huiles	L’analyse vibratoire
<ul style="list-style-type: none"> -Permettre de détecter la pollution des lubrifiants et des machines. -Ne permet pas de localiser précisément le défaut. -Ne peut pas détecter tous les défauts. -Un échantillon de l'huile de la machine doit être prélevé et analysé à chaque fois (périodiquement) pour détecter les défauts. -Technique simple et peu coûteuse. - Entretien et protection des machines. 	<ul style="list-style-type: none"> -Ne peut pas détecter la pollution. -Détecter le défaut directement et avec précision. -Détecter tous les défauts mécaniques des machines. -Permet de surveiller l’équipement à distance et détecter les défauts à un stade précoce. -Technique parfois compliquée et coûteuse. -Entretien et protection des machines.

II.5. Les défauts et les déférentes techniques de surveillance :

Figure II.17: Les défauts et les déférentes techniques de surveillance.

	Température	Thermographie	Pression	Débit	Analyse d’huile	Vibrations	Bruit
Balourd						✓	
Défaut de lignage	✓	✓				✓	
Défauts de roulement	✓	✓			✓	✓	✓
Défauts de palier lisse	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Défaut d’engrènement					✓	✓	✓
Jeux mécaniques						✓	

II.6. Conclusion :

Après avoir appris les problèmes auxquels cette machine est confrontée dans le premier chapitre, nous avons abordé dans ce chapitre la maintenance industrielle et les techniques de surveillances ces problèmes, où nous avons présenté une brève définition de la maintenance industrielle avec un schéma qui comprend ses composants et l'expliquons brièvement.

Et puis nous avons expliqué la maintenance préventive et ses objectifs, qui sont considérés comme l'un des éléments les plus importants de la maintenance industrielle. Nous avons également présenté une partie importante de la maintenance préventive conditionnelle, qui est les techniques de surveillance de ces machines, en expliquant ces techniques, la thermographie infrarouge, l'émission acoustique, l'analyse d'huile et l'analyse vibratoire.

Enfin de compte, nous avons consacré cette partie à une explication détaillée de les deux techniques l'analyse d'huile et l'analyse vibratoire, Où nous avons pu connaître les huiles et les vibrations en général. En connaissant les types et la classification d'huiles et la lubrification et leurs fonctions (l'analyses vibratoire) et les vibrations et leurs types avec les différents capteurs qui mesuré ces vibrations (l'analyse vibratoire).

En conclusion, nous avons mentionné les points de comparaison les plus importants entre les deux technique, en plus de présenté un tableau qui résume les problèmes et la technique pour les détectés.

Chapitre III : l'analyse des huiles et l'analyse vibratoire.

III.1. Introduction :

Après avoir connu des généralités sur les deux techniques. Dans ce chapitre nous expliquerons en détail chaque technique et comment le faire de différentes manières, avec étapes et règles suivies dans chaque technique en plus les appareils et les équipements utilisés dans chaque techniques.

III.2. L'analyse des huiles:

III.2.1. Préparation d'un échantillon pour l'analyse:

Pour analyser l'huile, il faut d'abord extraire un échantillon représentatif du réservoir qui contient l'huile à analyser, en suite il faut filtrer cet échantillon par des techniques des séparations entre phases.

Pour obtenir des résultats précis, l'échantillon doit être prélevé avec soin, car toute erreur peut conduire à des résultats erronés, et pour de meilleurs résultats, vous devez suivre certaines étapes :

- 1- échantillon dans des conditions de travail normales : lors du prélèvement de l'échantillon d'huile, la machine doit fonctionner dans les conditions réglementaires normales, c'est-à-dire qu'il n'est pas possible de prélever l'échantillon de la machine lorsqu'elle est au repos.
- 2- Prélèvement de l'échantillon dans les zones où le débit d'huile est élevé :lors de la prise de l'échantillon, vous devez éviter les zones où le débit d'huile est faible et les zones les plus exposées à la pollution.
- 3- Échantillonnage à partir de la même position. Après avoir déterminé la position d'échantillonnage, tous les échantillons doivent être prélevés de la même position de la même manière.
- 4- Formuler des échantillons dans un schéma de traitement spécial pour chaque échantillon : signifie que tout problème mécanique ou opérationnel que le système traverse doit être écrit.
- 5- étiqueter avec précision la bouteille d'échantillon : une étiquette spéciale doit être placée pour chaque échantillon, en tenant compte du fait que les données correspondent au modèle de traitement pour une identification facile de l'échantillon.
- 6- envoyer l'échantillon au laboratoire : Une fois l'échantillonnage terminé, il est conseillé de l'envoyer le plus rapidement possible aux deux laboratoires, un retard excessif pouvant entraîner une modification de l'état de l'échantillon.
- 7- Examiner le rapport de laboratoire : Le rapport des résultats de laboratoire doit être analysé à l'arrivée. [22]

N.B : Il est recommandé de prélever 150 ml à 500 ml d'échantillon d'huile, afin d'éviter tout dysfonctionnement de l'huile et de la machine.

III.2.2. Les méthodes de préparations d'échantillon :

Il existe différentes méthodes d'échantillonnage, mais elles dépendent des mêmes techniques, et nous expliquons les méthodes les plus importantes et les plus utilisées :

III.2.2.1. Echantillonnage par tube et pompe à vide :

Cette technique est considérée comme l'une des techniques les plus utilisées, car les anciennes machines n'ont pas des vannes et des robinets spéciaux pour prélever des échantillons d'huile. Cette méthode est basée sur un tube connecté à une pompe à vide, nous insérons le tube dans un reniflard de la machine jusqu'à ce qu'il touche l'huile. Et nous prélevons l'échantillon. Mais lorsque nous effectuons cette technique plusieurs fois, nous pouvons obtenir de mauvais résultats d'analyses en raison de la contamination de l'échantillon, lorsque le tube frotte sur les parois internes ou externes du boîtier de l'équipement. Il est recommandé d'installer le tube de façon permanente, l'échantillonnage devient donc plus facile et rapide, étant donné que l'on n'a qu'à brancher la pompe à l'extrémité du tube.

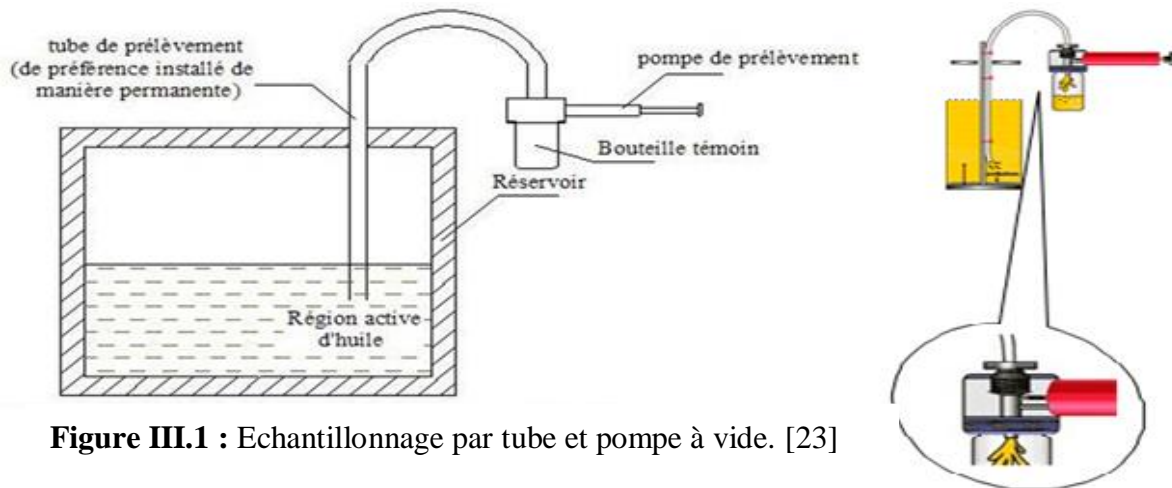


Figure III.1 : Echantillonnage par tube et pompe à vide. [23]

III.2.2.2. Echantillonnage avec seringue et mini connexion :

Cette technique d'échantillonnage consiste à extraire un volume d'huile en utilisant une seringue et une mini connexion.

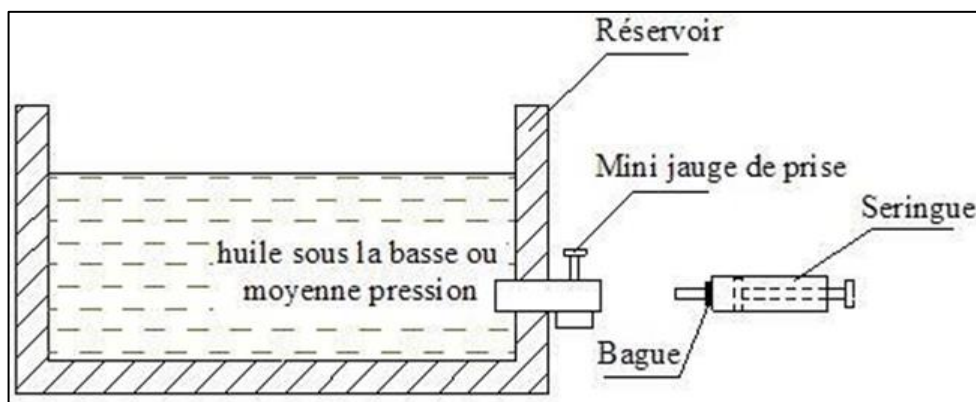


Figure III.2 : Echantillonnage avec seringue et mini connexion. [23]

-Les étapes à suivre lors de l'utilisation de la seringue et de la mini connexion sont les suivantes :

- 1- Enlever le capuchon de la seringue.
- 2- Poser la sonde (adaptateur) sur la seringue.
- 3- Insérer la sonde dans la mini connexion.
- 4- Tirer 5 ml.
- 5- Retirer la seringue pour purger la mini connexion.
- 6- Evacuer l'huile dans une bouteille de vidange. Cette étape est nécessaire pour nettoyer la sonde et la mini connexion.
- 7- Réinsérer la sonde dans la mini connexion.
- 8- Remplir la seringue.
- 9- Enlever la sonde de la seringue
- 10- Poser le capuchon.
- 11- Retourner la seringue au laboratoire. [23]

III.2.2.3. Echantillonnage depuis un robinet de drainage fixé au réservoir :

Cette technique consiste à prélever un échantillon dans une bouteille avec une valve située sous le réservoir d'huile, et cette méthode est considérée parmi les méthodes modernes et faciles. Nous nettoyons bien la tête de valve, puis mettons la bouteille en dessous et ouvrons la valve et prenons l'échantillon.

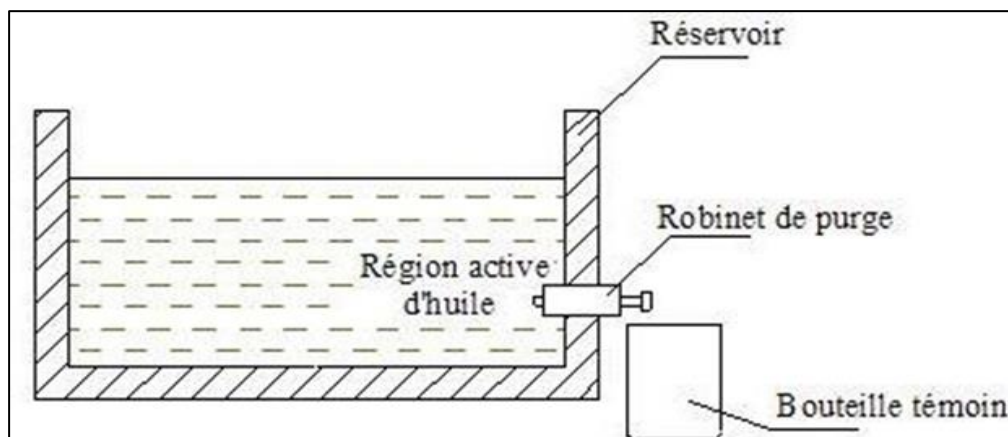


Figure III.3 : Echantillonnage depuis un robinet de drainage fixé au réservoir. [23]

III.2.3. Méthodes de surveillances d'huile :

III.2.3.1. Sur site industriel :

Par prélèvement d'échantillons et examens visuels (transparence, couleur, dépôts) des lubrifiants en service. [15]

III.2.3.1.1. Techniques et appareils de surveillance sur site :

a. Techniques :

Il existe plusieurs techniques pour surveiller l'état de l'huile dans la machine, parmi elles :

a. 1. Examen visuels :

Un simple examen visuel de l'aspect du lubrifiant permet quelque fois de détecter une pollution:

- ✓ Pollution par un liquide: aspect trouble dans le cas d'une pollution par l'eau, ou changement éventuel de couleur en cas de pollution par un liquide soluble dans l'huile.
- ✓ Pollution par des solides: présence de poussières, de particules métalliques, de rouilles, d'écaillés de peinture, de débris de joints. [24]

a. 2. Observation de la couleur :

L'observation de la couleur de l'huile peut aussi renseigner sur une forte dégradation du lubrifiant par oxydation ou par altération thermique.

Si la couleur de l'huile est très voisine de celle de l'huile neuve, en principe elle est en bon état. Et die est considérée comme étant encore bonne si sa teinte reste claire et brunit légèrement. Mais quand la couleur est nettement foncée, die est très oxydée et il Faut envisager une vidange.

-L'huile en service peut prendre les colorations suivantes:

- ✓ Jaune beurre: émulsion avec une huile de couleur ambre.
- ✓ Chocolat: émulsion avec une huile assez foncée, une huile moteur.
- ✓ Rouge: mélange avec un combustible ou une huile colorée en rouge, détérioration d'une peinture ou d'un produit anticorrosion ou détérioration d'un additif.
- ✓ Verte: détérioration d'une peinture verte ou attaque d'un organe en métal jaune. [24]

b. Appareils :

b. 1. Le détecteur d'eau portable :

C'est un appareil qui tient dans la main et contient un capteur d'eau, où cette machine nous permet de mesurer le teneur en eau dans l'huile et le degré d'humidité. Lors de la mesure, il est recommandé de mesurer plusieurs fois pour confirmer le résultat.



Figure III.4 : Le détecteur d'eau portable. [18]

b. 2. Le détecteur des comptages des particules :

Un appareil utilisé pour détecter les particules de dépôts minéraux résultant de la corrosion et de la pollution.



Figure III.5 : Le détecteur des comptages des particules. [18]

III.2.3.2. En laboratoire :

Par analyses physico-chimiques évaluant la qualité lubrifiante de l'huile, par la détermination de la teneur en produits d'usure, par examen microscopique et comptage de particules en suspension dans l'huile. L'interprétation de certains résultats de mesure est souvent délicate notamment parce que l'évolution, jugée anormale, d'un élément de l'analyse peut avoir plusieurs causes, mais, grâce à une meilleure connaissance des phénomènes d'usure et de dégradation des matériaux ainsi qu'au développement de nouvelles technologies assistées par l'informatique, la maintenance conditionnelle par l'analyse des huiles représentera un outil de progrès pour les responsables de maintenance .[15]

III.2.3.2.1. Les différents moyens d'analyses :

Il existe deux parties d'analyses, l'une pour étudier la dégradation des lubrifiants, et l'autre pour étudier la contamination des lubrifiants.

III.2.3.2.1.1. Les analyses des dégradations des lubrifiants :

Les analyses de dégradation s'intéressent aux propriétés des caractéristiques physico-chimiques et moléculaires du lubrifiant.

a. L'analyse physico-chimique :

L'analyse physico-chimique de l'huile de lubrification des moteurs, réalisée en laboratoire, est une méthode utilisée par les professionnels qui permet de réaliser un diagnostic de l'état de santé d'un moteur grâce à l'analyse du lubrifiant en laboratoire.

Les principales caractéristiques physico-chimiques d'un lubrifiant concernent :

a. 1. Mesure de la viscosité :

La viscosité est l'une des propriétés nécessaires les plus importantes de l'huile, car son suivi continu garantit grandement l'entretien de l'huile et de la machine.

- **Viscosimètre à bille** (pour mesurer la viscosité cinématique et on peut déduire la viscosité dynamique à 40°C et à 100°C).
- **Rhéomètre** (pour mesurer la viscosité dynamique).
- **Viscosimètre Engler** (pour mesurer la viscosité cinématique à 40°C).
- **Viscosimètre absolu.**
- **Viscosimètre empirique.**

a. 2. L'indice de viscosité (VI) :

Caractérise le comportement de la viscosité en fonction de la température. Pour analyser l'huile donnée, on choisit deux huiles de référence, une huile 0 et une huile 100 ayant même viscosité à 100°C que l'huile à caractériser puis on compare leur viscosité cinématique à 40°C. [15]

a. 4. Mesure du point éclair :

En vase clos selon la norme NF T 60-118 à l'aide de l'appareil Pensky Martens, permet d'estimer le niveau de dilution par le combustible d'un lubrifiant usagé. [15]

a. 5. Indice d'Acide Total (T.A.N.) :

Est utilisé pour des lubrifiants dont le temps de service est élevé et permet de vérifier le niveau d'acidité du lubrifiant, de déterminer l'oxydation de l'huile, la présence de

contaminants et la dépréciation des additifs. Il est mesuré suivant les normes : NF T 60-112 et ASTM D664. Dans le cas où l'acidité deviendrait trop importante et donc corrosive, l'indice d'acidité total devient un déclencheur de vidange. [18]

III.3.2.1.2. les analyses des contaminations des lubrifiants :

Plusieurs méthodes, faisant appel à des équipements de complexité très variables, peuvent être utilisées pour étudier, de manière qualitative ou quantitative l'importance et la nature de la contamination.

a. La pollution gravimétrique :

Cette méthode est principalement utilisée pour le contrôle des fluides dont la contamination particulaire est élevée (fluides de lubrification et hydraulique sans exigence particulière de propreté). [15]

La méthode consiste à filtrer sous vide un volume de lubrifiant à l'aide de deux membranes filtrantes superposé de même porosité nominale de $0,8\mu\text{m}$ et de 47 mm de diamètre. Après pesée de chaque membrane, on peut ainsi déterminer la teneur en impuretés solides, exprimée en mg/100ml d'échantillon. Cette technique est efficace pour évaluer le niveau de pollution, mais nécessite en même temps une grande précision. [23]

b. L'analyse ferrographiques :

L'avantage de cette méthode est d'éliminer les particules organiques, ce qui permet une observation aisée des particules en suspension dans le lubrifiant. Deux méthodes nécessitant des appareillages particuliers sont disponibles : la ferrographie à lecture directe et la ferrographie analytique.

b. 1. Analyse ferrographique quantitative (ou à lecture directe) :

Permet de déterminer des quantités relatives de petites et grosses particules ferreuses pour indiquer tout changement dans le taux et la sévérité de l'usure dans les roulements à éléments rotatifs et les réducteurs à engrenages. [15]

b. 2. Analyse ferrographique analytique :

Procédure de diagnostic très avancé pour détecter les grosses particules jusqu'à $100\mu\text{m}$. L'examen microscopique des particules d'usure, des contaminants et des produits de dégradation par oxydation en suspension dans un échantillon d'huile usée, informe sur l'évolution du mode d'usure. Elle est utilisée pour effectuer une étude approfondie des particules contaminants lorsque la ferrographie à lecture directe indique une usure importante ou anormale. Elle est également utilisée pour les systèmes hydrauliques complexes. [15]

c. Le comptage des particules :

Les techniques de comptage des particules sont principalement utilisées pour contrôler le niveau de contamination des fluides hydrauliques, en service dans des installations à haut niveau de propreté. Les deux techniques de comptage de particules utilisent le microscope optique et les systèmes de comptage automatique, utilisant les méthodes de transmission de lumière. [23]

N.B : Si l'échantillon contient plus de 300 ppm d'eau (c'est-à-dire l'équivalent de 0,3 % d'eau présent dans l'échantillon), ce test ne peut être effectué. Les méthodes employées (en laboratoire) sont des comptages au microscope et automatique

c. 1. Mesure des particules par comptage :

On filtre un échantillon d'huile sur un filtre très fin (0,8 à 1,2 μm par exemple) puis on compte les particules insolubles qui ont été arrêtées, suivant leur taille.

L'observation du filtre permet de compter les particules par tailles normalisées. Le nombre de particules dans chaque taille est ensuite ramené à un échantillon de 100 cm^3 . On détermine ensuite une classe de pollution pour chaque taille. L'ensemble de ces classes forme le code de pollution de l'huile.

Le nombre le plus grand de ce code est la classe de pollution de l'huile (plus le nombre de la classe est élevé et plus l'huile est polluée). [15]

-Le tableau ci-dessous illustre les classes de pollution définies par la norme NF E 48-655 :

Tableau III.1 : Les classes de pollution définies par la norme NF E 48-655. [18]

Taille (μm)	Classes de pollution											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
[2-5[	2500	5000	10000	20000	40000	80000	160000	320000	640000	1280000	2560000	5120000
[5-15[	500	1000	2000	4000	8000	16000	32000	64000	128000	256000	512000	1024000
[15-25[	89	178	356	712	1425	2850	5700	11400	22800	45600	91200	182400
[25-50[	16	32	63	126	253	506	1012	2025	4050	8100	16200	32400
[50-100[	3	6	11	22	45	90	180	360	720	1440	2880	5760
≥ 100	1	1	2	4	8	16	32	64	128	256	512	1024
Nombres maximaux de particules, par tailles, rapportés à 100 ml de fluide analysé												

c. L'analyse spectrométrique :

Est une technique dans lequel les nouvelles molécules présentes dans l'huile sont condensées et classées selon leur source, elles sont divisées en deux parties .

d. 1. Analyse spectrométrique à émission optique :

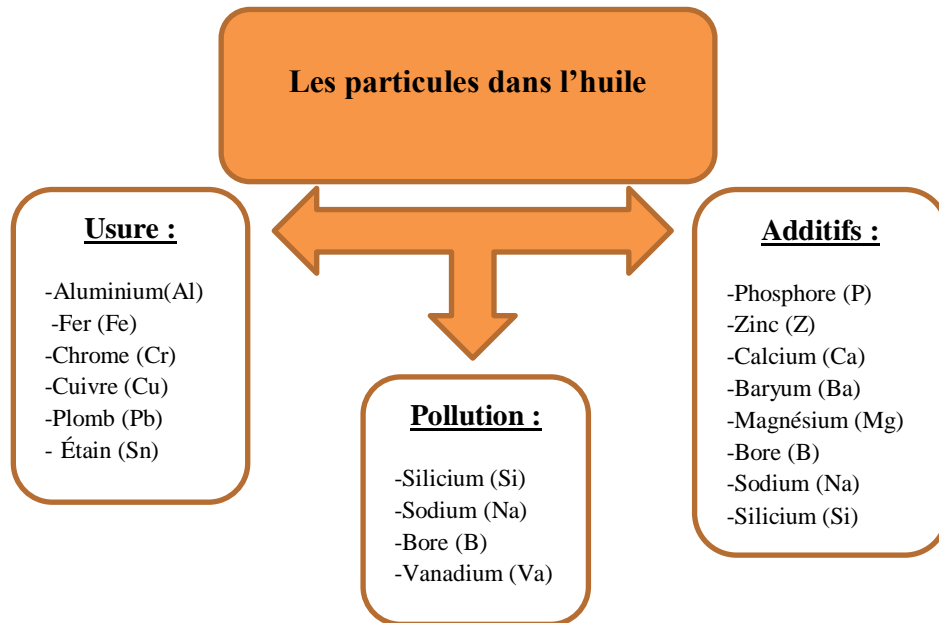
Permet de déterminer de manière rapide (Analyse la lumière émise par la combustion « plasma » à très haute température d'un échantillon d'huile) les concentrations, exprimées en ppm (particules par million) en masse, des différents éléments présents dans les huiles sous forme d'additifs (calcium, magnésium...), de particules d'usure métalliques (fer, nickel, chrome, étain, cuivre, aluminium...), ou de contaminants solides divers (poussières atmosphériques, silicone...). [15]

d. 2. Analyse spectrométrique à absorption :

Permet de déterminer la structure chimique générale d'un corps ou d'un mélange de corps ainsi que la concentration dans le mélange des composés à l'aide d'un rayonnement infrarouge. La spectrométrie d'absorption permet d'identifier la nature des hydrocarbures de

l'huile de base, la nature des additifs et de suivre leur état par une analyse différentielle huile neuve / huile en service. [15]

- Ce graphique montre la classification des molécules à l'aide de cette technique : [18]



III.3. L'analyse vibratoire :

L'analyse vibratoire est un des moyens utilisés pour suivre la fiabilité des machines tournantes en fonctionnement. Cela s'inscrit dans le cadre d'une politique de maintenance prévisionnelle de l'outil de production industrielle.

III.3.1. Types et matériels de mesure :

La première méthode de mesure des vibrations est l'homme, c'est à cause de la précision de nos sens, mais ces sens ont des limites. C'est pourquoi nous préférons utiliser un capteur, et le but de ce capteur est de convertir les vibrations en un signal exploitable que nous pourrions traiter.

III.3.1.1. Les types surveillance par l'analyse vibratoire :

Les signaux sortant des capteurs doivent être enregistrés et traités par un collecteur et un analyseur de vibration. On distingue alors deux types de surveillance : la surveillance on line et la surveillance off line.

- En <<On line>>, la machine est surveillée en permanence par un moniteur de vibrations.
- En <<Off line>>, les mesures sont effectuées lors de rondes à intervalles réguliers. On utilise alors un collecteur de données. Les collecteurs modernes permettent également d'analyser les mesures.

- On peut également analyser les mesures sur des ordinateurs équipés de logiciels spécifiques en y transférant les mesures effectuées. [7]

III.3.2. Diagnostic des défauts par l'analyse vibratoire :

III.3.2.1. Défaut de balourd :

Si on mesure l'amplitude du signal vibratoire délivré par un capteur placé sur le palier supportant un rotor déséquilibré (figure III.6), on remarque que l'amplitude sera maximale lorsque la masse sera en haut du rotor et elle sera minimale lorsqu'elle sera en bas, et ainsi de

suite, à chaque tour du rotor. Le signal vibratoire est périodique de période 1 tour, donc de fréquence égale à la fréquence de rotation du rotor.

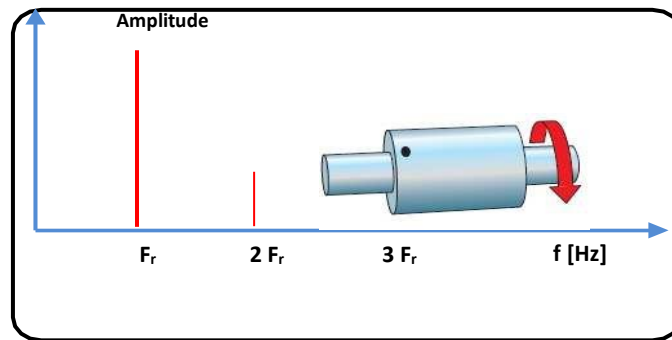


Figure III.6 : spectre théorique d'un défaut de balourd. [5]

Le balourd va induire, dans un plan radial, une vibration dont le spectre présente une composante dont la fréquence de base correspond à la fréquence de rotation F_r . Elle représente alors le pic le plus élevé avec des pics d'amplitudes plus faibles sur les harmoniques de F . La bande de mesure est conçue de façon à prendre en compte de légères variations autour de la vitesse de rotation affichée par le constructeur. [5]

-La figure III.7 représente un spectre mesuré sur un moteur tournant à 1502 tr/mn soit 25,03 Hz. On remarque bien le pic à 25,03 Hz qui correspond bien à un balourd.

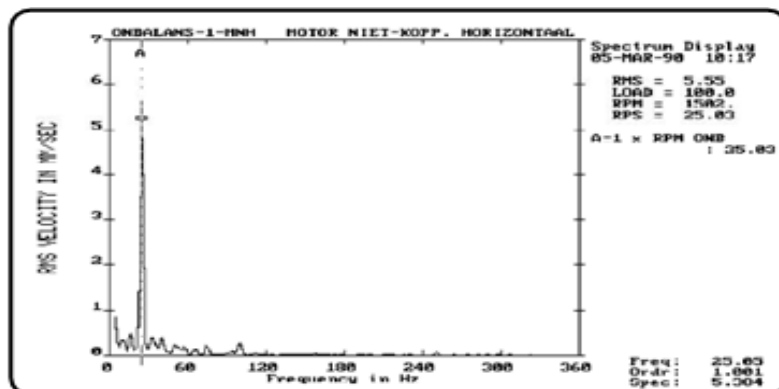


Figure III.7 : Spectre réel d'un moteur tournant à 1502 tr/mn (25,03 Hz) traduisant la présence d'un balourd. [5]

III.3.2.2. Défaut d'alignement :

Le signal temporel d'un défaut d'alignement sera de la forme suivante :

-On retrouve un phénomène périodique à la fréquence de rotation (période = 1 tour), mais également des phénomènes se répétant chaque 1/2 tour et 1/3 tour. Cela se traduira le plus souvent par la présence des composantes de l'ordre 2, 3 ou même 4 fois la fréquence de rotation avec des amplitudes supérieures à celles de la composante d'ordre 1. [5]

-Un défaut d'alignement est révélé par un pic d'amplitude prépondérante à, généralement, 2 fois la fréquence de rotation (parfois 3 ou 4 fois).

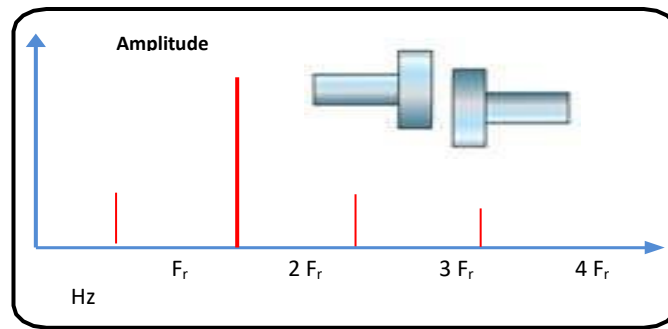


Figure III.8 : Image vibratoire d'un défaut d'alignement radial. [5]

III.3.2.3. Défauts d'engrenage :

Observons un engrenage, composé de deux roues dentées 1 et 2, présentant $Z1$ et $Z2$ dents et tournant aux fréquences $F1$ et $F2$. Chaque fois qu'une dent de la roue menante 1 s'engage dans la roue menée 2, il se produit une prise de charge périodique au rythme d'engagement des dents selon une fréquence d'engrènement Fe égale à la fréquence de rotation de la roue multipliée par son nombre de dents. $Fe = F1 \cdot Z1 = F2 \cdot Z2$ [5]

Fe : Fréquence d'engrènement.

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

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

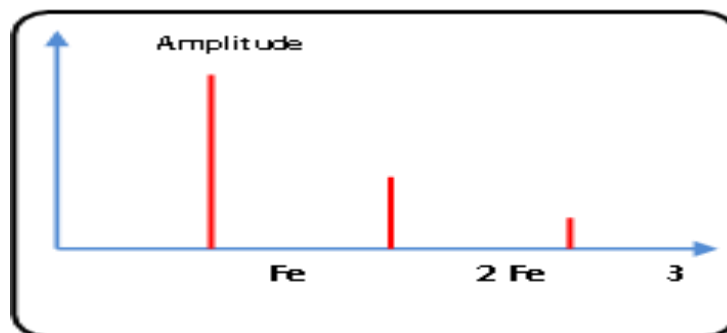


Figure III.9 : Image vibratoire d'un engrenage sain. [5]

-Si la denture est correcte, le spectre (figure III.9), est constitué de composantes dont les fréquences correspondent à la fréquence d'engrènement ou à ses harmoniques.

-Quelques défauts d'engrenage :

a. Entraxe insuffisant (jeu insuffisant au fond de denture)

En analyse spectrale ce phénomène se traduit par l'apparition d'une raie d'amplitude prépondérante à deux fois la fréquence d'engrènement Fe et la disparition partielle, voire totale de l'amplitude à cette fréquence (figure III.10). [5]

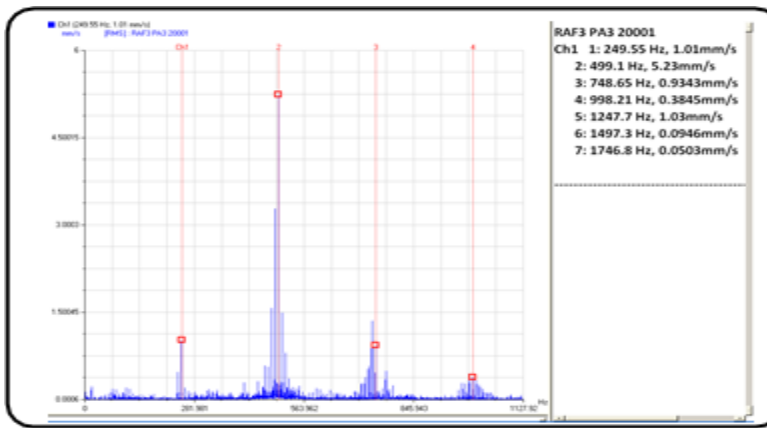


Figure III.10 : Image théorique et spectre réel d'un engrenement en fond de denture sur un réducteur (La fréquence d'engrènement calculée est $F_e = 249,48$ Hz). [5]

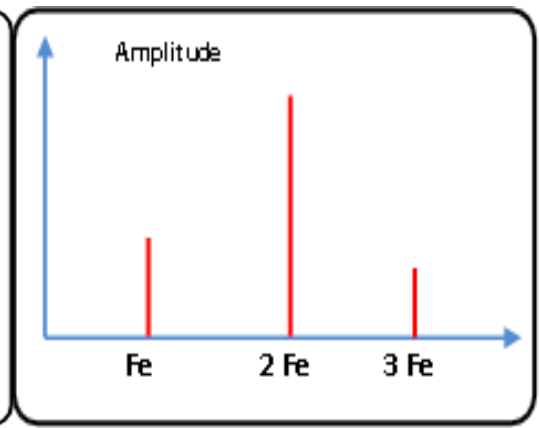


Figure III.11 : Image vibratoire d'un engrenage entraxe insuffisant. [5]

b. Jeu de fond de denture trop grand :

On obtient un spectre de choc dur, périodique, à la fréquence d'engrènement (présence de nombreuses harmoniques de niveau du même ordre de grandeur (figure III.12)). [5]

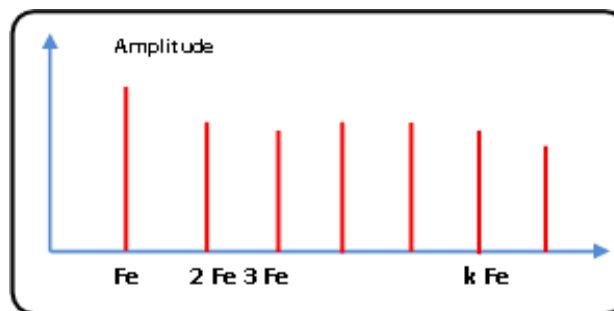


Figure III.12 : image vibratoire théorique d'un engrenage présentant une dent détériorée. [5]

III.3.2.4. Défauts des roulements :

Comme tous les organes mécaniques, les causes de dysfonctionnement des roulements sont très nombreuses. Le plus souvent ce sont l'écaillage, le grippage et la corrosion. Tous ces défauts ont en commun le fait qu'ils se traduisent tôt ou tard par une perte de fragments de métal, qu'on appelle l'écaillage [30]. Il se traduit par des chocs répétés des billes sur la cage de roulement. [5]

-Les fréquences caractéristiques des défauts de chaque élément du roulement sont données par les formules:

a. Ecaillage sur un élément roulant :

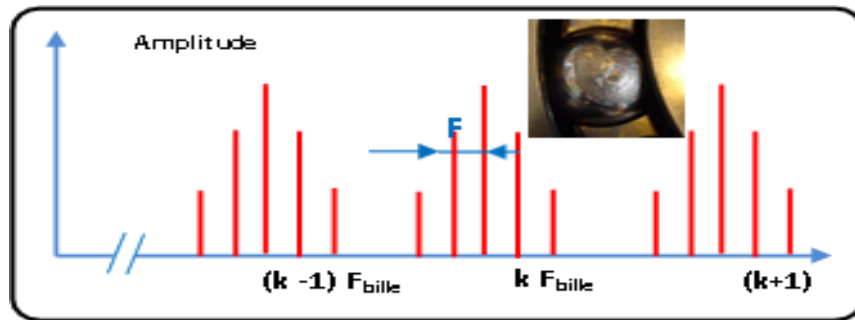


Figure III.13 : Image vibratoire théorique d'un défaut de type écaillage sur un élément roulant. [5]

b. Ecaillage affectant la bague externe et interne :

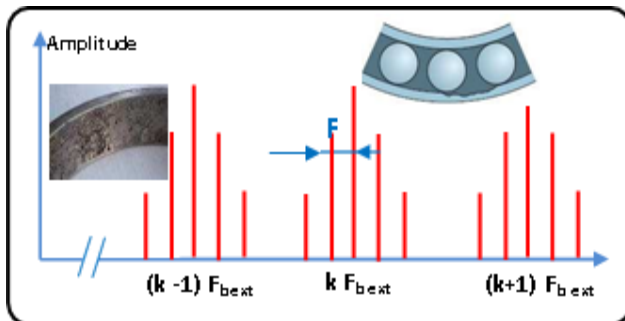


Figure III.14 : Image vibratoire théorique d'un défaut de type écaillage sur bague extérieure. [5]

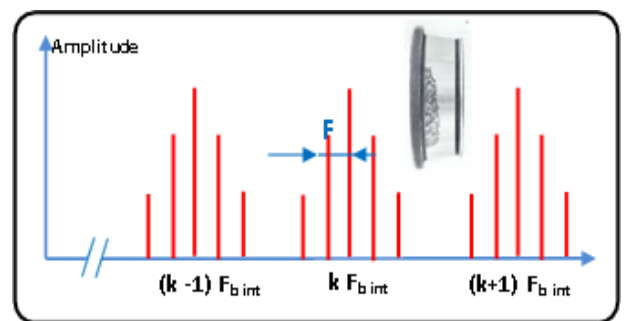


Figure III.15 : Image vibratoire théorique d'un défaut de type écaillage sur bague intérieure. [5]

III.3.2.5. Transmission par courroie :

L'image vibratoire donne un pic d'amplitude importante à la fréquence de passage des courroies, et ses harmoniques (figure III.16).

-La figure 5.19 montre le spectre réel mesuré sur une transmission par poulies courroies. On voit bien la présence d'un pic à la $2 F_c$, $3F_c$, $4F_c$ (La fréquence F_c est de 8,17 Hz). [5]

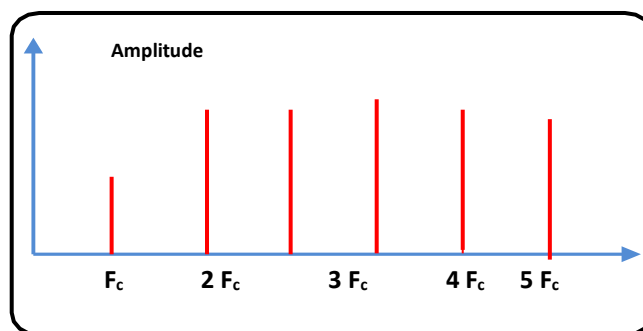


Figure III.16 : Image vibratoire théorique d'un défaut de transmission par courroie. [5]

-La figure III.17 montre le spectre réel mesuré sur une transmission par poulies courroies. On voit bien la présence d'un pic à la $2 F_c$, $3F_c$, $4F_c$ (La fréquence F_c est de 8,17 Hz).

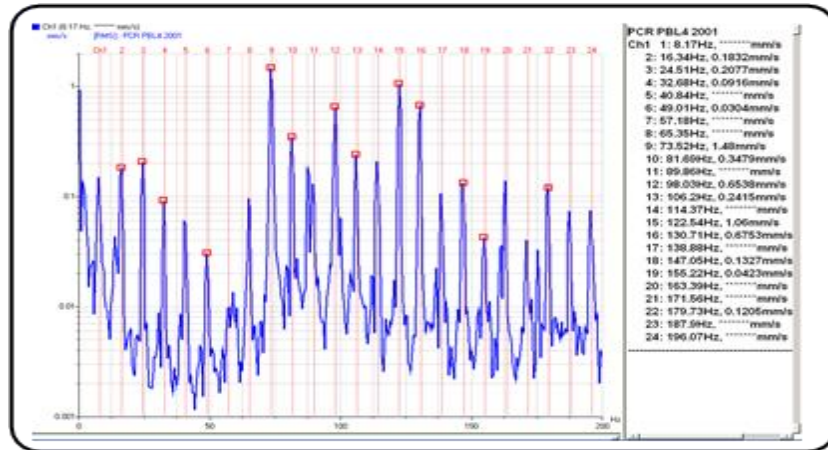


Figure III.17 : spectre réel d'un défaut de transmission par courroies (la fréquence de passage est de 8,17 Hz). [5]

III.4. Conclusion :

Après notre étude de ce chapitre, nous avons obtenu beaucoup d'informations dans le domaine de l'analyse d'huile et l'analyse vibratoire, où nous avons trouvé des informations importantes et nouvelles dans les deux domaines. Concernant l'analyse des huiles, nous nous sommes familiarisés avec les méthodes et les règles utilisées pour prélever des échantillons, comment les séparer et les analyser avec différentes techniques. Et concernant l'analyse vibratoire, nous avons appris à connaître les différentes méthodes de suivre ces machines à travers cette technique, et les conseils les plus importants suivis pour installer les capteurs sur les machines. Nous avons également eu une idée sur le diagnostic des défauts par les spectres vibrations.

Chapitre IV : Exemples des défaillances

IV.1. Introduction :

Nous aurions consacré ce chapitre au côté applicatif des deux technologies, mais malheureusement, nous n'avons pas pu faire le stage dans une entreprise en raison des conditions de santé que traverse le pays. Par conséquent, après avoir consulté l'encadreur, nous avons décidé de prendre certaines données et résultats d'un autre mémoire et nous travaillerions dessus, les étudierions et les analyser à notre manière.

Dans ce dernier chapitre, nous étudierons des exemples des cas de défaillance par les deux technologies l'analyse d'huile et l'analyse vibratoire. Pour l'exemple de l'analyse d'huile nous la diviserons en deux parties :

La première partie qui est généralement sur site, consiste à analyser l'huile d'une nouvelle machine ou un transfert d'un endroit à un autre, pour assurer la sécurité de l'huile avant de la réutiliser.

La deuxième partie est souvent en laboratoire, qui analyse les huiles pour un certain nombre d'échantillons d'huile des machines Dans le cas d'un travail continu afin d'assurer sa santé et de détecter les défauts et problèmes à laquelle les machines ont été exposées.

L'huile que nous utilisons dans cet aspect d'application est l'huile **Shell Turbo T 68**, Cette huile est largement utilisée dans les grandes turbines, en particulier les turbines à gaz, elle est utilisée aussi dans les turbocompresseurs centrifuge et axial.

Pour l'exemple de l'analyse vibratoire nous étudierons deux types de défauts sur deux paliers à partir de cette technique ils sont le défaut de roulement et le défaut de balourd où nous mesurerons les vibrations de différentes méthodes et les comparerons avec le seuil d'alarme de norme ISO et nous les analyserons les résultats.

IV.2. Exemple sur l'analyse d'huile :

IV.2.1. Analyses d'huile avant d'utiliser les machines en service :

Avant d'utiliser la machine et la mise en service, en particulier les nouvelles machines importées, il est toujours conseillé d'analyser l'huile à l'intérieur, pour assurer la santé et la sécurité de l'huile, étant donné que tout défaut survenant lors du déplacement de machines d'un endroit à un autre peut entraîner une contamination de l'huile ou la perte d'une quantité de celle-ci, et ainsi l'huile perdre ses caractéristiques, ce qui entraîne une détérioration de la santé de la machine et une réduction de son rendement. [24]

- L'équipe de maintenance effectue une analyse sur site (chapitre III) et compare les résultats avec les propriétés d'huile recommandées chez le constructeur.

-Ce tableau présente la fiche des caractéristiques d'huile **Shell Turbo T 68** recommandées par le constructeur :

Tableau IV.1 : la fiche de caractéristiques d'huile. [25]

Mesures	Seuils
La viscosité A 40°C (cSt)	63.6 < ν = 68 < 72,6
La masse volumique (Kg/m ³)	$\rho \leq 871$
La teneur en eau (ppm)	< 200
Indice d'acidité d'huile (mg KOH/g)	< 0,10
Le point d'éclair (°C)	≤ 240

-Après analyse de l'huile **Shell Turbo T 68** de turbine à gaz, les résultats sont les suivants :

Tableau IV.2 : les résultats d'analyse de l'huile Shell Turbo T 68.

Mesures	Résultats	Remarques
La viscosité (cSt)	66	Acceptable
La masse volumique (Kg/m ³)	864	Acceptable
La teneur en eau (ppm)	183	Acceptable
Indice d'acidité d'huile (mg KOH/g)	0,08	Acceptable
Le point d'éclair (°C)	223	Acceptable

-Après avoir comparé les résultats de l'analyse du tableau 1 avec la fiche d'huile recommandée chez le constructeur (Tableau IV.2), on peut dire que l'huile est en bon état et que la machine peut entrer en service.

IV.2.2. Analyse d'huile pour les machines en service :

Afin d'assurer la santé des machines et l'état de l'huile, nous prélevons plusieurs échantillons d'huile **Shell Turbo T 68** et les envoyons au laboratoire pour analyse, les méthodes et les moyens d'analyse (chapitre III). [24]

-Les résultats sont présentés comme suit:

IV.2.2.1. La viscosité à 40°C :

Dans cette analyse, le rapport de viscosité est mesuré dans les échantillons prélevés sur les machines en cas de service.

-Les résultats obtenus sont présentés dans ce diagramme :

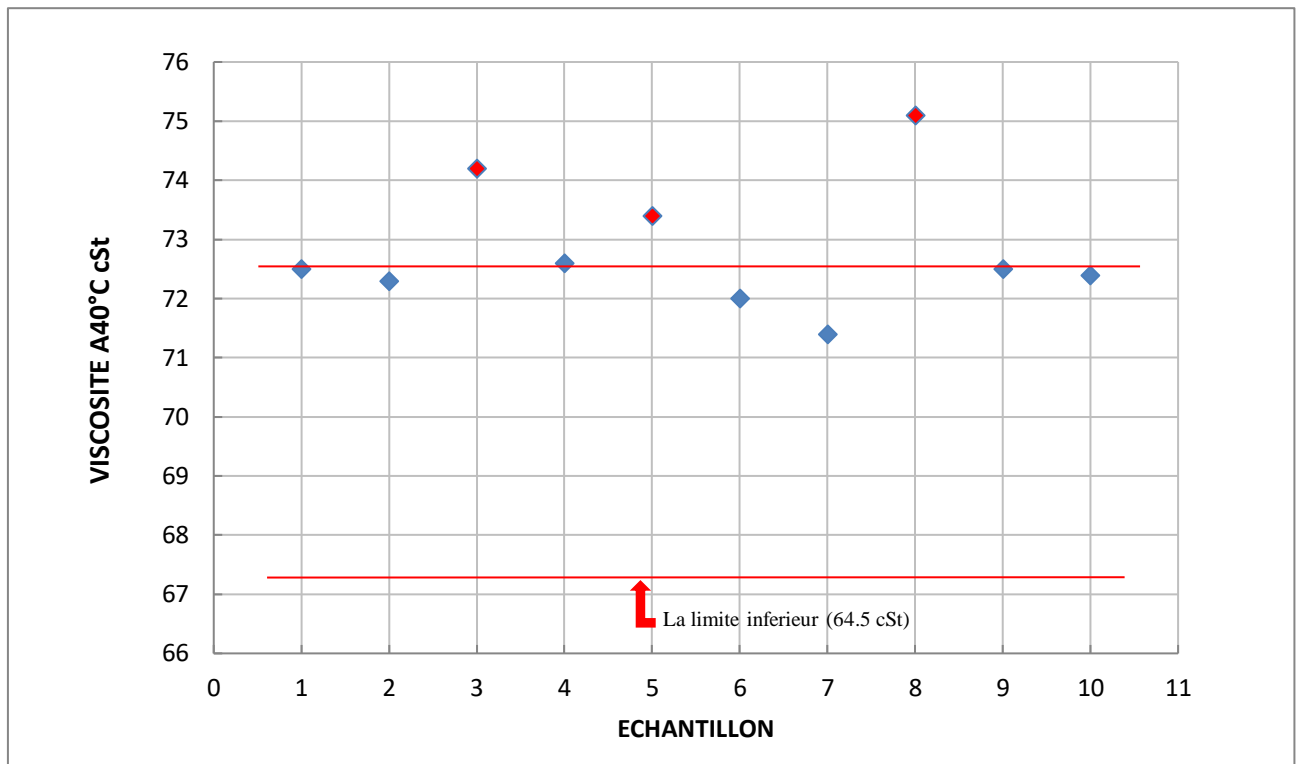


Diagramme IV.1 : Analyse de viscosité d'huile à 40°C.

IV.2.2.1.1. Discussions et commentaires :

-À travers les résultats de la courbe qui montre le degré de viscosité à 40°C de chaque échantillon, nous remarquons clairement que chacun des échantillons [3, 5 et 8] a dépassé le degré de viscosité à 40°C maximum qui recommandé chez le constructeur, cette augmentation apparaît de manière significative dans l'échantillon [8] par rapport aux échantillons [3 et 5], Cela indique que la teneur en huile des échantillons [3, 5 et 8] a perdu sa -Propriété de viscosité à 40°C. Pour les autres échantillons, sa viscosité à 40°C est bonne et selon les normes recommandées.

IV.2.2.2. Analyse des métaux dans l'huile:

Mesurer les masses des métaux dans l'huile, est pour connaître le degré et le type de contamination dans l'huile, et l'usure qui s'est produite dans les pièces interne de la machine

Les principaux métaux couramment représentatifs de l'usure sont, le plomb (Pb), le fer (Fe), le chrome (Cr), l'aluminium (Al), le cuivre (Cu), l'étain (Sn), et pour le silicium (Si), elle est parmi les métaux les plus expriment la contamination d'huile (Le schéma explicatifs chapitres III).

-Étain (Sn) : En provenance de paliers, de coussinets, de butées.

-Plomb (Pb) : En provenance de paliers, de coussinets, de butées.

-Fer (Fe) : En provenance soit des arbres, des embiellages, des palettes, des engrenages, en fonction des matériels lubrifiés.

-Chrome(Cr) : En provenance des vérins et des pompes lorsqu'il s'agit de circuit hydraulique.

-Aluminium (Al) : En provenance de coussinets, pistons

-**Cuivre (Cu)** : En provenance de paliers, de coussinets, de butées, de bagues de poussée, d'entretoises, du réfrigérant d'huile.

.**Silicium (Si)** : Abrasif, provenance de l'air ambiant (mauvaise étanchéité du reniflard, ou reniflard inefficace).

-Les résultats obtenus sont présentés dans ce diagramme :

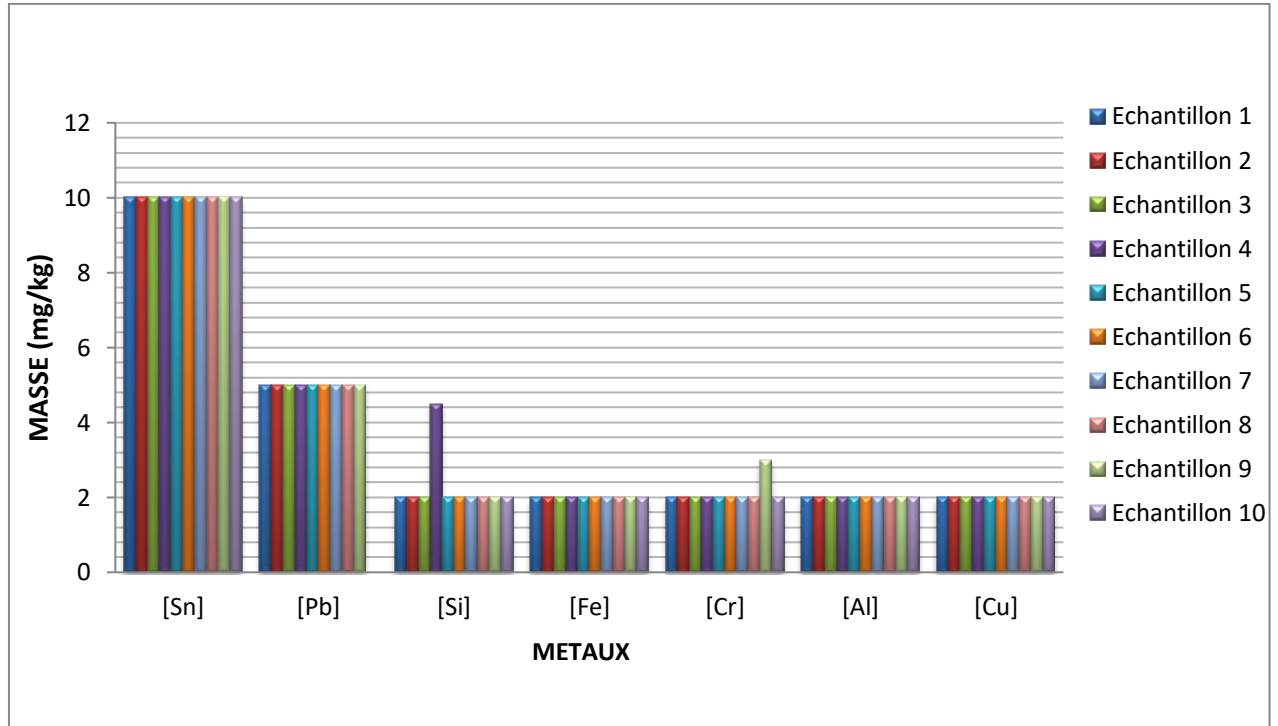


Diagramme IV.2 : Analyse des masses des métaux.

IV.2.2.2.1. Discussions et commentaires :

-Grâce au schéma obtenu, on remarque que la masse d'Étain (Sn) et le Plomb (Pb) est fixée dans tous les échantillons par [10 mg/kg] et [5 mg/kg], et pour la masse de Fer (Fe), Aluminium (Al) et le Cuivre (Cu), est fixée dans tous les échantillons par [2 mg/kg].

-Mais pour la masse de Silicium (Si), on remarque que la masse de Silicium (Si) dans l'échantillon [4] est de [4.5 mg/kg] par rapport au reste des échantillons dans lesquels la masse reste stable à [2 mg/kg]. C'est la même note que nous observons dans le métal de Chrome (Cr), alors que la masse de Chrome (Cr) dans l'échantillon [9] est de [3 mg/kg] par rapport au reste de l'échantillon dans lequel la masse reste stable à [2 mg/kg].

-D'après ces observations, nous pouvons dire que l'huile de l'échantillon [4] a été exposée à une contamination par le Silicium (Si). Et l'huile de l'échantillon [9] contient un pourcentage d'usure causée par l'apparition de Chrome (Cr) (En provenance des vérins et des pompes).

IV.2.2.3. L'indice d'acidité :

Dans ce test, les échantillons d'huile prélevés sur les machines dans le cas d'un service sont analysés pour connaître l'indice d'acidité.

-Les résultats obtenus dans ce graphique diagramme :

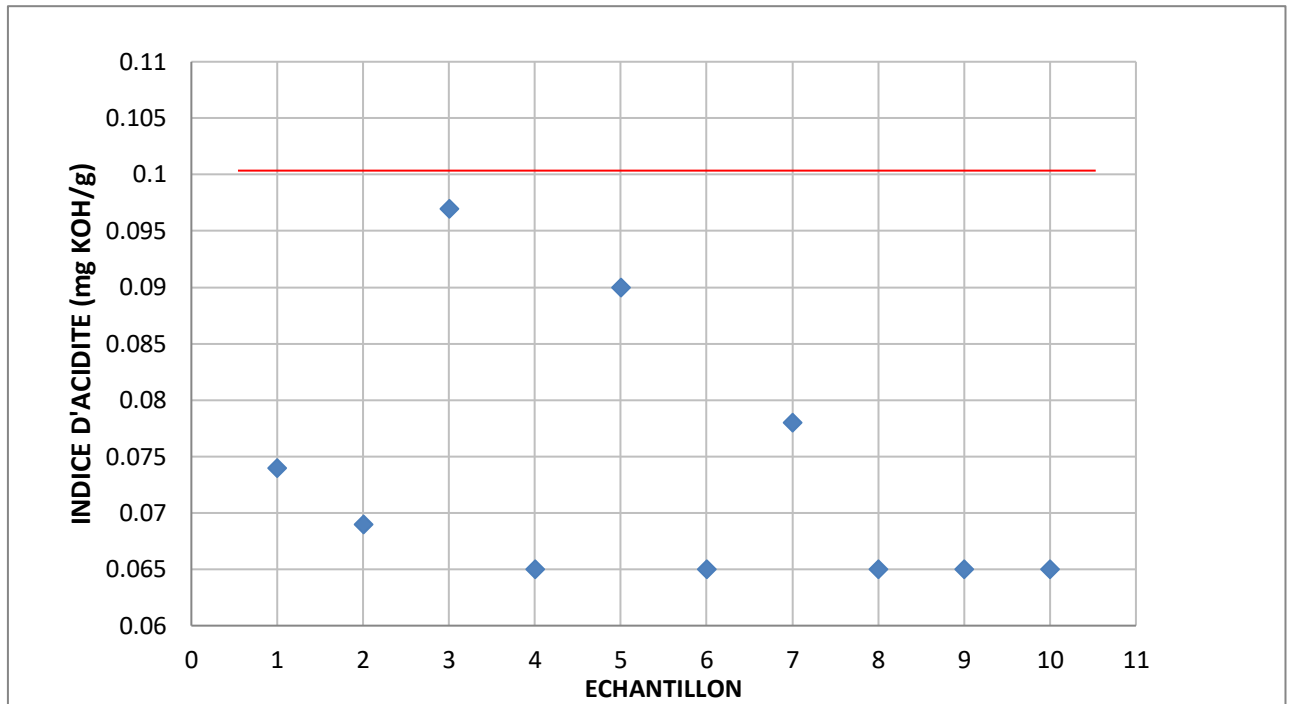


Diagramme IV.3 : Analyse d'indice d'acidité d'huile.

IV.2.2.3.1. Discussions et commentaires :

On note que tous les échantillons n'ont pas dépassé l'acidité maximale [0.10 mg KOH/g] recommandée chez le constructeur, mais il y a quelques échantillons [3] et [5] à valeur [0.097 mg KOH/g] et [0.090 mg KOH/g] approché de seuil d'acidité, ce qui traduit l'effet d'oxydation causé le fonctionnement du lubrifiant à une température anormalement élevée.

IV.2.2.4. Teneur en eau :

Toutes les analyses effectuées sur un échantillon d'huile en service ne dépassent pas la limite de présence d'eau (voir annexe I), ce qui indique que les échantillons sont exempts de contamination par l'eau. [24]

IV.3. Exemples d'analyse vibratoire :

La machine utilisée dans notre cas d'étude est une machine constituée d'un moteur asynchrone monophasé avec un arbre sur deux paliers à roulements (annexe IV), Selon le classement ISO (annexe II) des machines tournantes, notre machine se situe dans le groupe **K**. Cette machine à fonctionné durant plus de 20 ans à des intervalles de temps un peu espacés.

Dans notre étude nous avons travaillé avec des roulements coniques à rotules ayant deux ranges de billes. [20]

-Ces roulements sont identifiés par le constructeur (SKF) par le code suivant : **1207 EK**, et leurs fréquences caractéristiques sont données dans le tableau suivant :

Tableau IV.3 : Les fréquences du roulement 1207EK en Hz. [20]

Élément	Fréquence en Élément hertz "Hz"
Cage	21
Bague extérieure	435,7
Bague intérieure	314,3
Bille	148,6

IV.3.1. Matériels utilisés :

- Vibromètre (**VB 8202**) pour mesurer le niveau global des amplitudes vibrations.
- Accéléromètre à embase à aimant (**KS 51**).
- Oscilloscope digital : **Tektronix TDS 1012.**;
- Ordinateur et le logiciel acquis de l'oscilloscope (**Open Choice Ver. 1. 10**). [20]

IV.3.2. Points de mesures :

On a pris deux points de mesure sur paliers (figure IV.1):

- Point **Pa** : palier gauche.
- Point **Pb** : palier droits. [27]

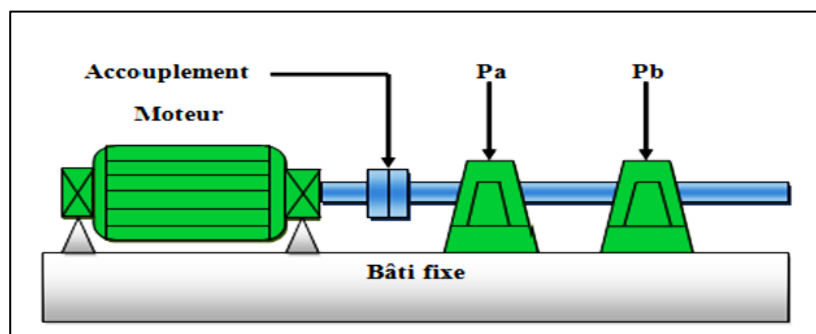


Figure IV.1 : Banc d'essai. [20]

NB : les mesures sont prises selon les deux directions radiales : **Vertical et Horizontale**.

IV.3.3. Méthodes utilisées pour le dépistage et le diagnostic :

Les deux méthodes utilisées dans tout ce qui suit sont les suivantes :

a. La méthode du niveau global : C'est une méthode pour le dépistage. On mesure la vitesse efficace V_{eff} [10, 1 KHz] des vibrations avec le vibromètre puis on les compare aux valeurs seuils données par la norme **ISO 2372** (Annexe II).

-Une fois que les vibrations néfastes sont avérées, on passe au second niveau (le spectre RC) qui va nous permettre de localiser et de caractériser la vibration.

b. La méthode du spectre RC : C'est une méthode pour le diagnostic. On relève les spectres FFT de l'accélération des vibrations à l'aide d'un logiciel « Matlab » après avoir récupéré les données par l'oscilloscope digital et son logiciel PC (OpenChoice).

➤ Nous avons pris :

Les plages de fréquences :

-Pour les roulements : [1, 2.5KHz]

-Pour les balourds : [1, 1000Hz]

-L'échelle d'amplitude : **0.01g/DIV. [20]**

IV.3.4. Méthodologie:

1. Mesure sur les deux paliers :

➤ Avec des roulements neufs : pour avoir les images des vibrations sur les paliers.

2. Mesure lors de présence d'un déséquilibre (balourd). [20]

IV.3.5. Résultats et commentaires :

IV.3.5.1. Mesures sur les deux paliers avec des roulements neufs :

a. Mesure de niveau global V_{eff} [10, 1 KHz] :

Les niveaux globaux de la vitesse V_{eff} [10, 1 KHz] sont mesurés à l'aide du vibromètre.

-Ces résultats sont reportés sur les tableaux suivants :

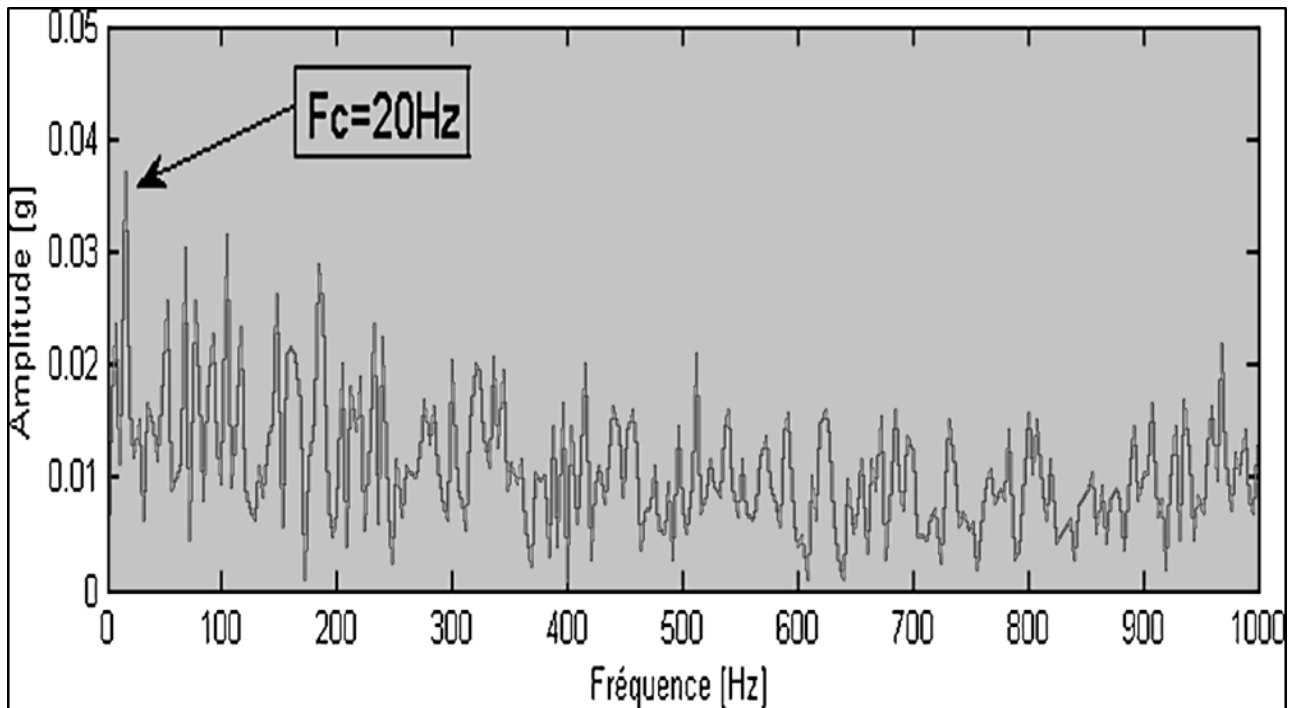
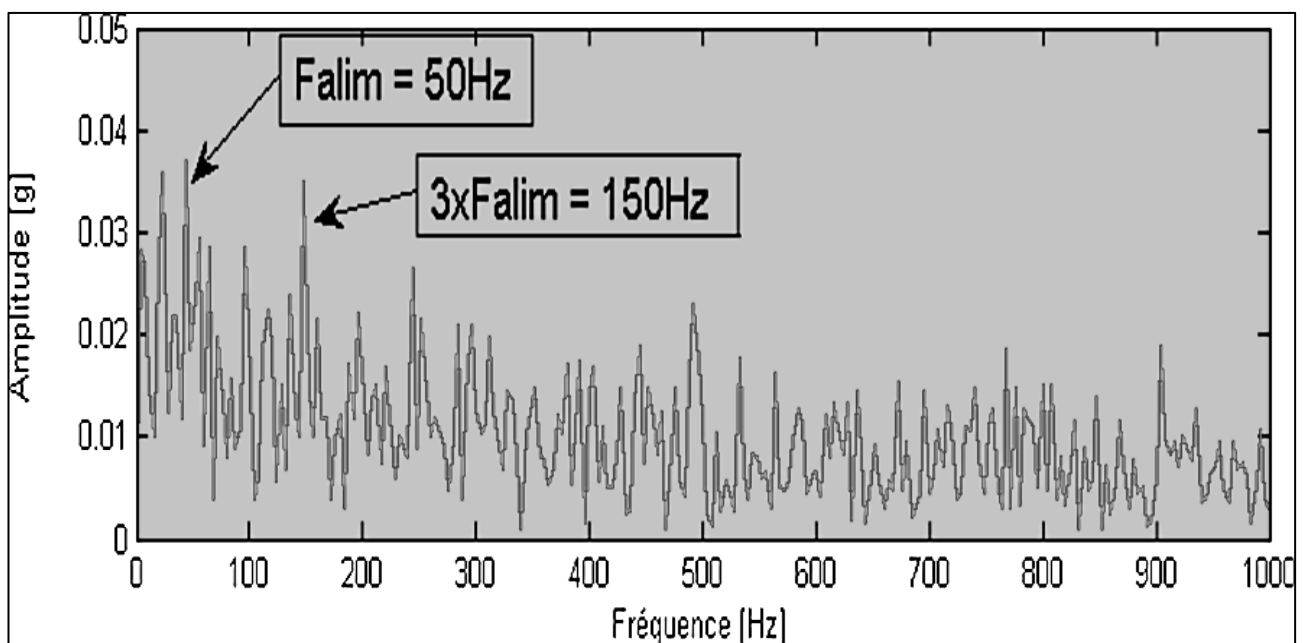
Tableau IV.4 : Mesure de niveau global sur les deux Paliers. [20]

Paliers	Direction	Vitesse efficace (mm/s)	Interprétation
A	H	4.8	Inadmissible
	V	1.14	Admissible
B	H	5.1	Inadmissible
	V	1.2	Admissible

a. 1. Discussions et commentaires :

-D'après les résultats obtenu et par rapport à la norme ISO 2372, on constate que les valeurs horizontale sur les deux paliers [4.8 et 5.1 mm/s] se situent dans le domaine Inadmissible, donc cela veut dire que l'existence d'une ou plusieurs anomalies est possible, par contre on remarque que les résultats sur le plant verticales pour les deux paliers est admissible.

-Un diagnostic plus poussé s'avère nécessaire pour les identifier. Les spectres FFT de ces vibrations ci-dessous sont obtenus à l'aide de l'oscilloscope digital.

b. Relevé des spectres dans le plan horizontal :**Figure IV.2 : Palier A en Horizontal. [20]****Figure IV.3 : Palier B en Horizontal. [20]**

b. 1. Discussions et commentaires :

-**Figure IV.2 :** on remarque l'existence d'un pic important de fréquence ($F_c = 20\text{Hz}$), ce qui correspond à un défaut de la cage du roulement du palier A ; cela revient au problème qu'on a rencontré lors du montage du roulement (les filets du manchon étaient abimés)

-**Figure IV.3 :** nous constatons l'existence d'une vibration dont l'amplitude est importante, sa fréquence est 50Hz et $3 \times 50\text{Hz}$. Cela signifie probablement l'apparition d'un défaut tournant, qu'est dû à un problème électrique : spires du rotor en court-circuit ou un entrefer dynamique c'est-à-dire une excentricité.

IV.3.5.2. Mesure lors de présence d'un déséquilibre (balourd) :

IV.3.5.2.1. Balourd en porte à faux :

Dans cet essai, nous allons identifier les conséquences sur les spectres de vibrations de la présence d'un balourd en porte à faux ; ce genre de défaut se retrouve principalement dans les turbomachines (compresseur, pompe, ventilateur... etc.). [20]

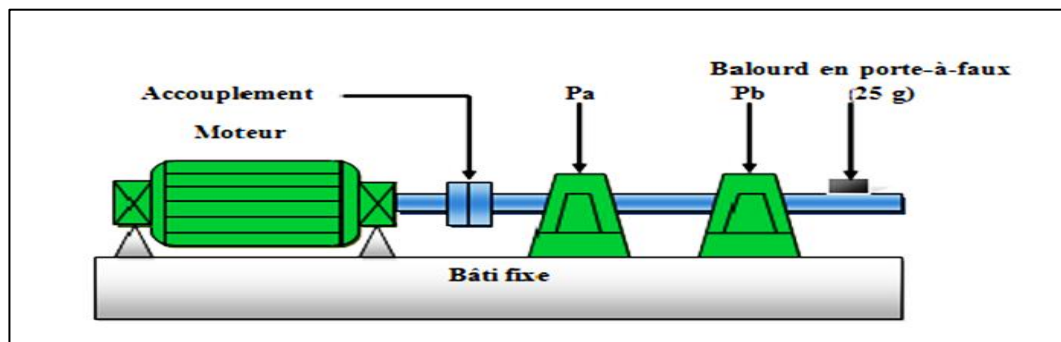


Figure IV.4 : Présence d'un défaut de balourd en porte à faux. [20]

a. Mesure de niveau global V_{eff} [10, 1 KHz] :

Tableau IV.5 : Mesure du niveau global en cas d'un déséquilibre (balourd en porte à faux).

Paliers	Direction	Vitesse efficace (mm/s)	Interprétation
A	H	32	Inadmissible
	V	24.5	Inadmissible
B	H	51.1	Inadmissible
	V	42.3	Inadmissible

a. 1. Discussions et commentaires :

-D'après les résultats, on constate que les valeurs du niveau global V_{eff} [10, 1 KHz] au palier extérieur proche du balourd, ont fortement augmenté dans les deux directions, ce qui explique l'effet centrifuge de ce défaut.

-Un diagnostic approfondi s'avère nécessaire et avec l'analyse des spectres FFT, présentés dans le paragraphe suivant.

b. Relevé des spectres dans le plan horizontal et vertical :

- Sur le palier A :

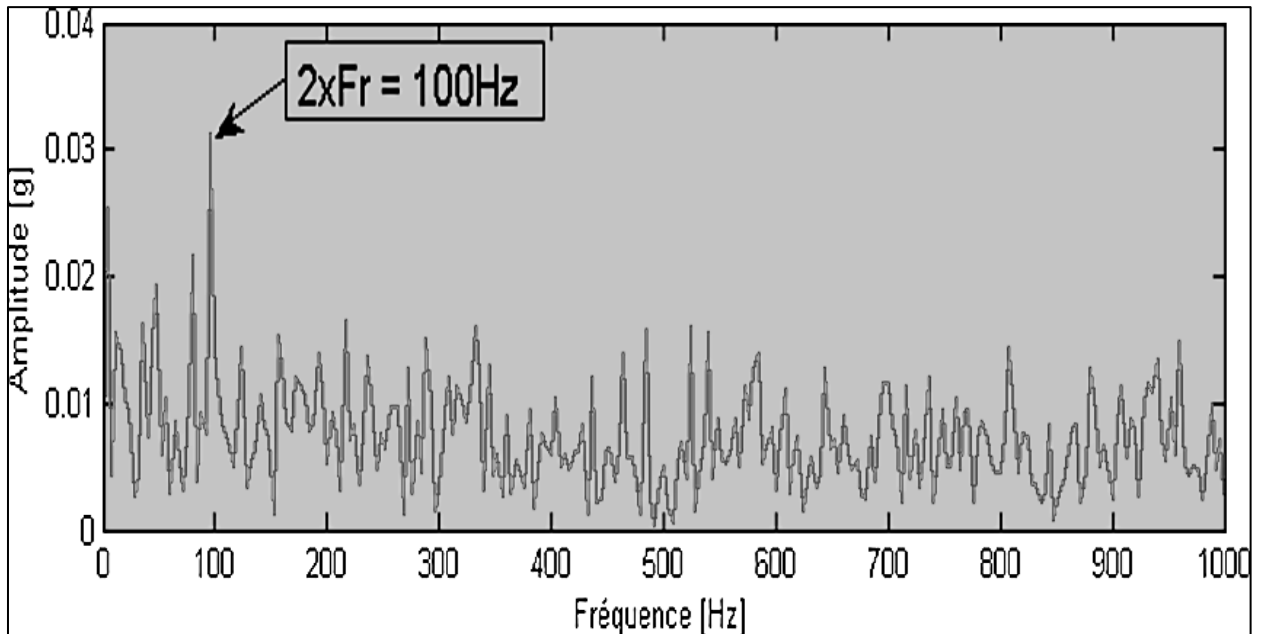


Figure IV.5 : Palier A en Horizontal. [20]

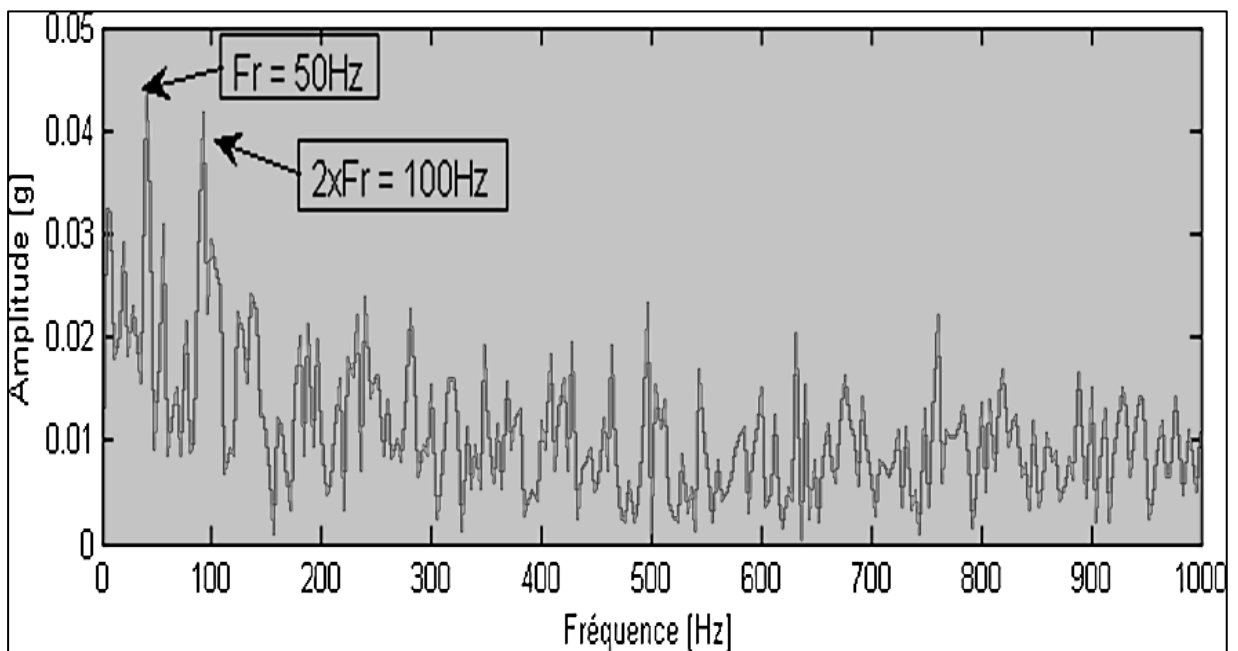


Figure IV.6 : Palier A en vertical. [20]

b. 1. Discussions et commentaires :

-Figure IV.5 et 6 : Nous remarquons que les fréquences qui présentent des pics importants à 50Hz pour le plan horizontal et 2x50Hz pour le plan vertical, qui sont indiqués de la présence d'un défaut dû à un balourd. (Chapitre III).

- Sur le palier B :

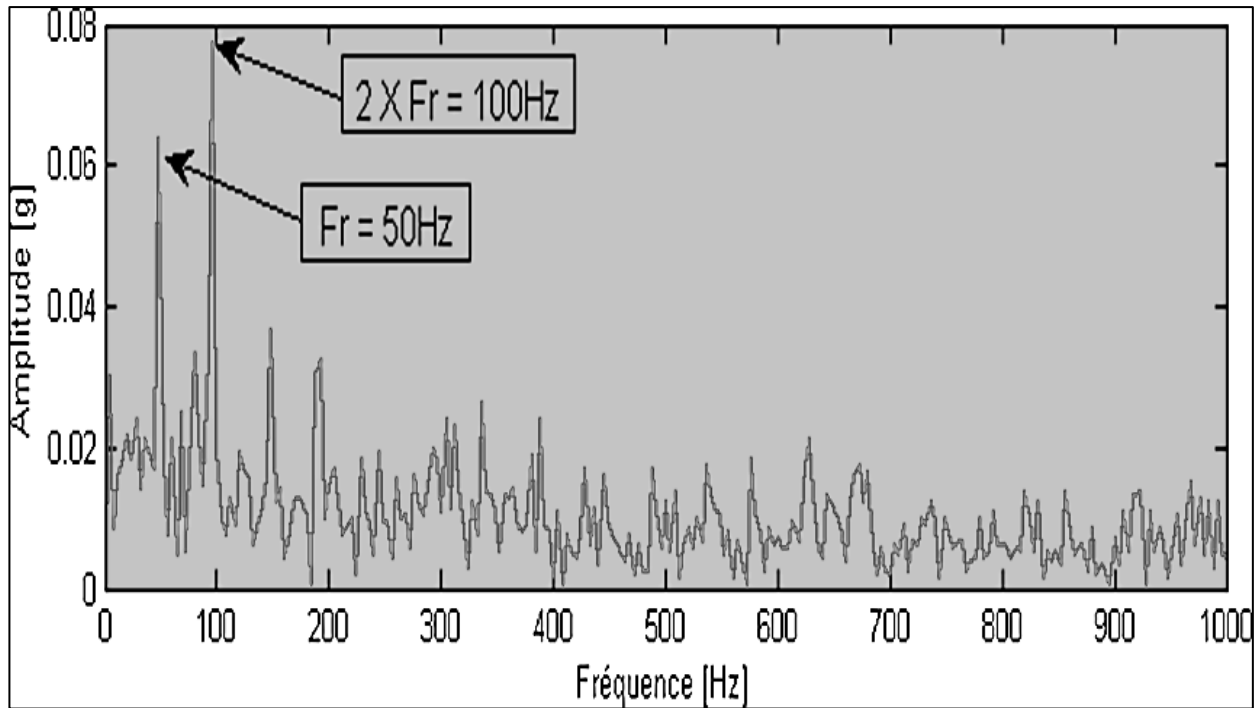


Figure IV.7 : Palier B en Horizontal. [20]

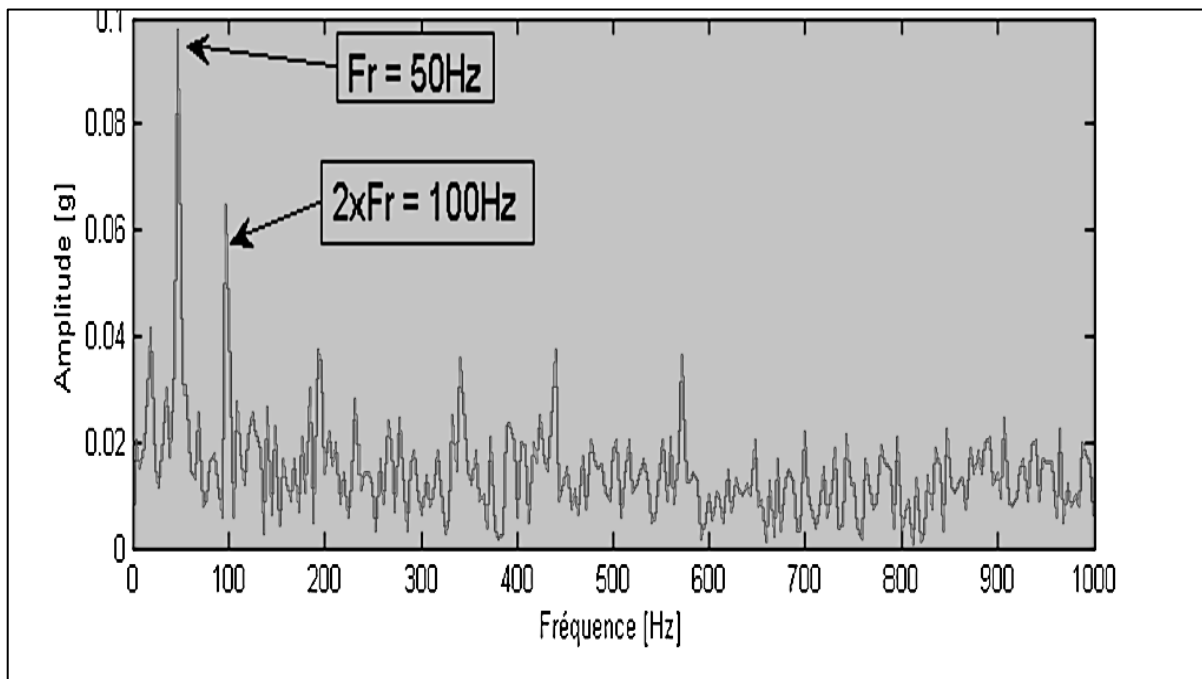


Figure IV.8 : Palier B en vertical. [20]

b. 2. Discussion et commentaires :

-Figure IV.7 et 8 : On remarque que les amplitudes des spectres sont plus importantes sur le palier B que sur le palier A ce qui confirme que le balourd est du côté de palier B.

IV.3.5.2.2. Balourd entre paliers :

Dans cet essai, nous allons identifier les conséquences sur les spectres de vibration de la présence d'un balourd entre palier ; ce cas de figure se retrouve dans la majorité de transmission de puissance entre un moteur et une machine réceptrice par exemple : accouplement, embrayage, machines possédants deux ou plusieurs paliers comme les turbines et compresseurs. [20]

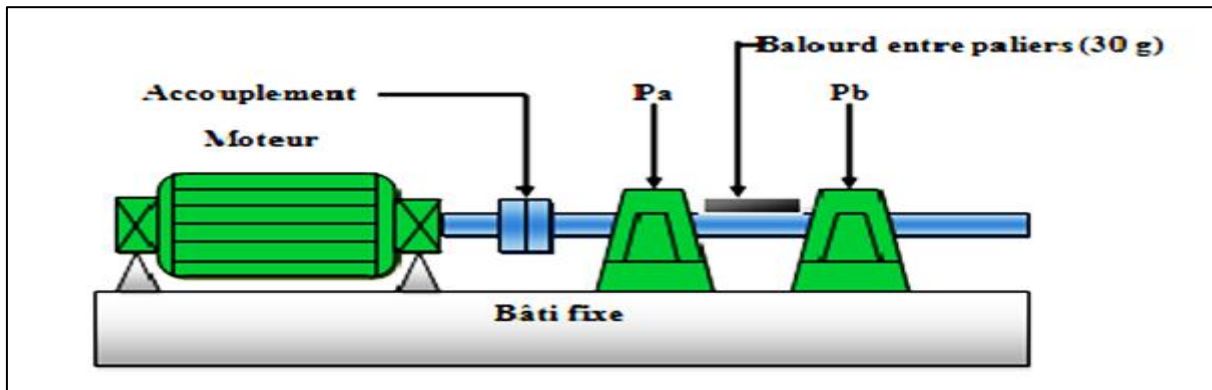


Figure IV.9 : Présence d'un défaut de balourd entre paliers. [20]

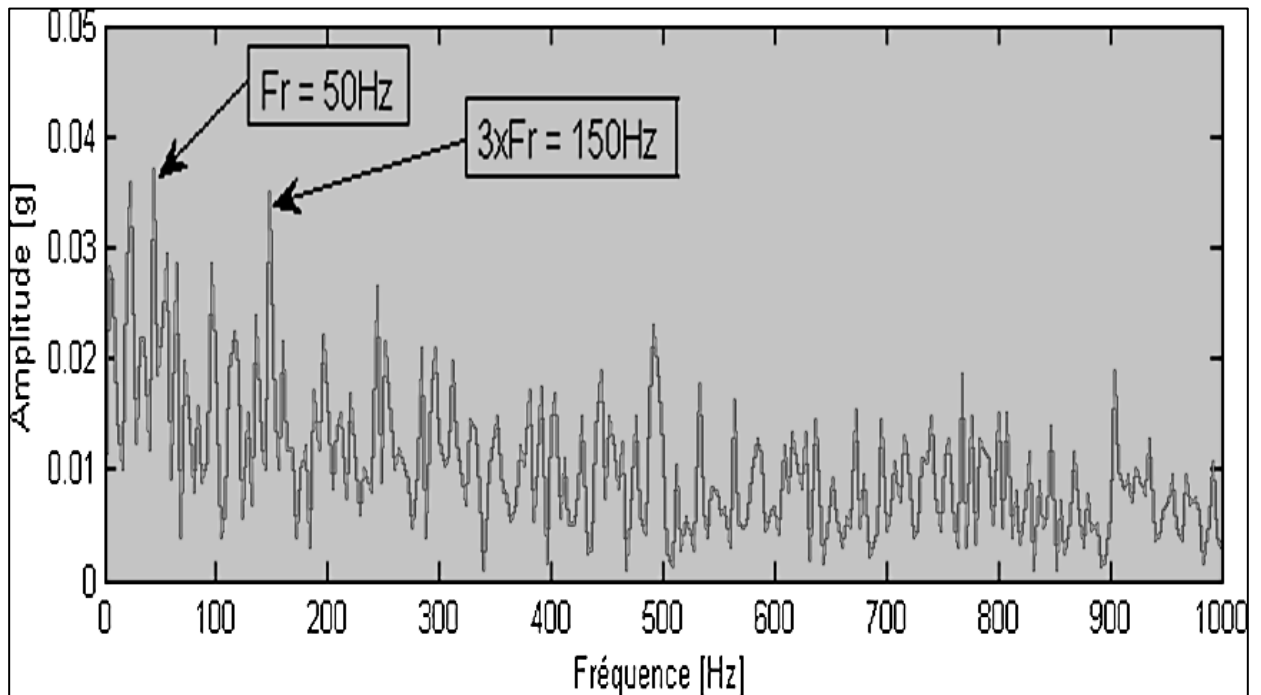
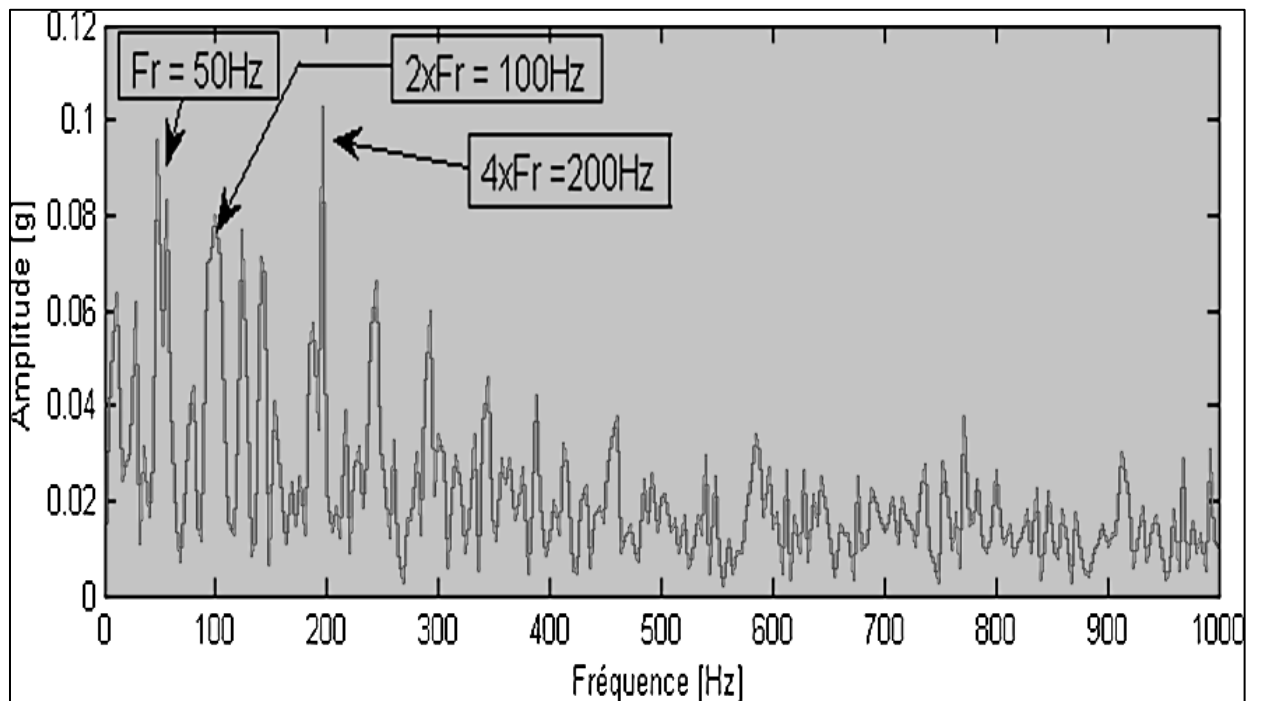
a. Mesure de niveau global V_{eff} [10, 1 KHz] :

Tableau IV.6 : Mesure du niveau global en cas d'un déséquilibre (balourd entre paliers).

Paliers	Direction	Vitesse efficace (mm/s)	interprétation
A	H	37	Inadmissible
	V	20	Inadmissible
B	H	39	Inadmissible
	V	20	Inadmissible

a. 1. Discussion et commentaires :

-D'après la norme ISO 2372. On remarque que Les valeurs du niveau global V_{eff} [10, 1 KHz] des deux paliers de l'arbre sont dans le domaine non acceptable donc l'effet de balourd et existé. Les valeurs enregistrées sur les deux paliers sont approximativement égaux.

b. Relevé des spectres dans le plan horizontal et vertical :**a- Sur le palier A :****Figure IV.10 : Palier A en Horizontal. [20]****Figure IV.11 : Palier A en vertical. [20]**

- Sur le palier B :

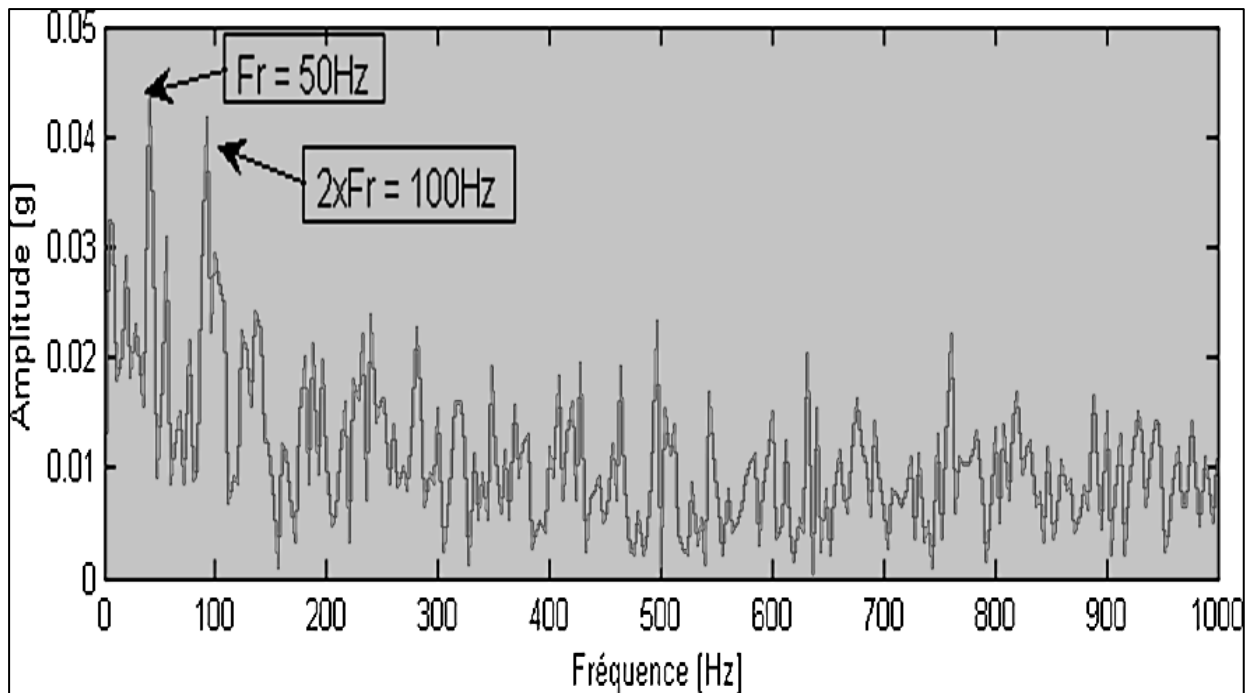


Figure IV.12 : Palier B en Horizontal. [20]

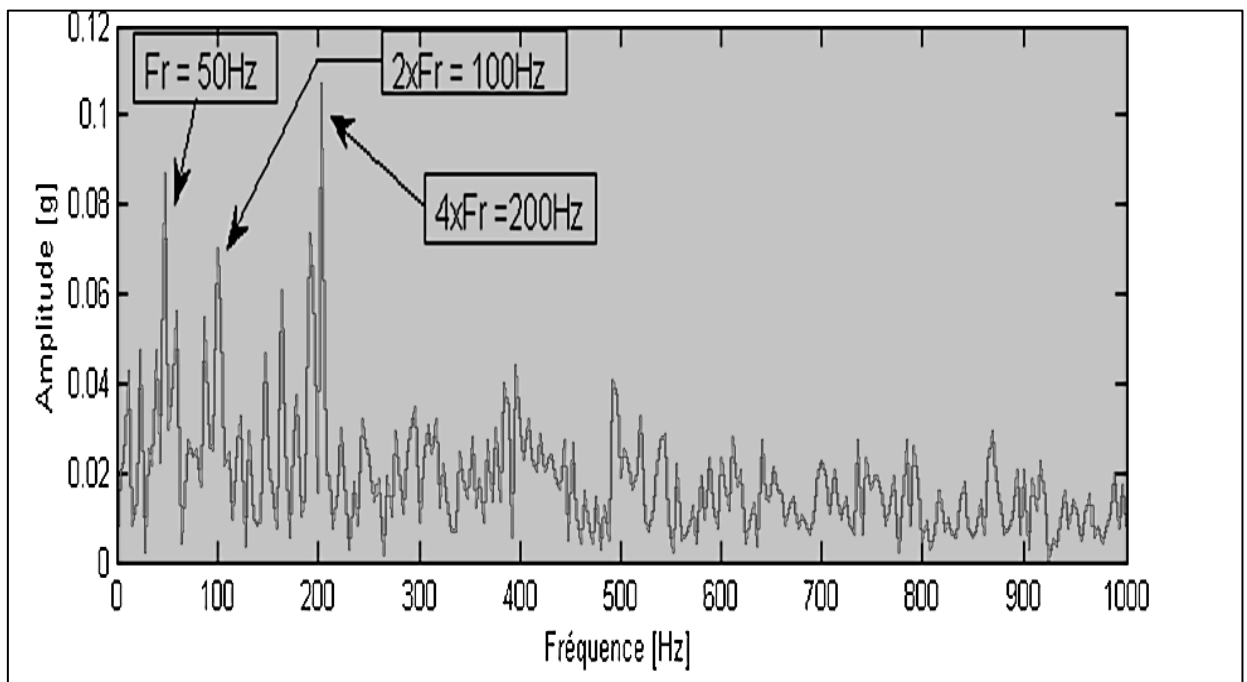


Figure IV.13 : Palier B en vertical. [20]

b.1. Discussions et commentaires :

-Figure IV.10, 11, 12 et 13 : On note que les amplitudes sont du même ordre de grandeur ce qui confirme que si le balourd se trouve entre les deux paliers, ceux sont sollicités de même manière.

IV.4. Conclusion :

À travers ce chapitre et à partir l'analyse d'huile, nous avons appris comment gérer de nouvelles machines, et les machines qui ont été déplacées d'un endroit à un autre, et comment analysées leurs huiles et les méthodes et les appareils utilisés à cet effet.

Nous avons également analysé les résultats des échantillons prélevés sur les machines en service et obtenu deux échantillons de l'huile endommagée, dont l'un est contaminé et l'autre contient d'usure.

La partie importante, c'est que nous avons analysé les résultats des huiles de machines en service et nous avons obtenu une idée pour analyser ces résultats et comment les traiter.

En ce qui concerne l'analyse des vibrations, nous avons appris à connaître les différents appareils utilisés pour la mesure en plus des points de mesure. Nous avons également mesuré les vibrations de deux méthodes, à savoir: **mesure de niveau global et la méthode du spectre RC.**

La première méthode permettant de mesurer les valeurs efficaces qui montrent l'état de la machine après avoir comparé les résultats avec le seuil d'alarme de norme ISO. Et la deuxième méthode à traduire les vibrations de la machine en spectres qui, en les analysants, nous ont permis d'identifier des défauts de roulement et de balourd.

Conclusion générale

L'objectif principal du travail présenté dans ce mémoire est de mieux comprendre les deux techniques de surveillance c'est l'analyse des huiles et l'analyse vibratoire. Le plan de la maintenance préventive conditionnelle s'est avéré nécessaire pour la santé et la continuité de toutes les machines tournantes.

La technique d'analyse des huiles est l'une des techniques les plus simples pour suivre l'état de santé de ces machines tournantes, et la moins coûteuse en termes d'équipement et en termes de méthodes qui les adoptent et de leur facilité d'utilisation au niveau de prélèvement d'échantillons ou de l'analyse sur site d'échantillon.

La technique d'analyse des huiles peut être utilisée périodiquement, et la partie expérimental (chapitre IV) a également prouvé qu'elle est également utilisée pour les machines neuves ou mobiles d'un endroit à un autre pour assurer leur état de santé et qu'elles ne sont soumises aucune défaillances avant la mise en service. Parmi les défauts principales détectés par la technique d'analyse des huiles, on trouve :

- Défauts de roulement.
- Défauts de palier lisse.
- Défaut d'engrènement.

C'est aussi la seule technique qui détecte la pollution à l'intérieur des machines et l'état de dégradation d'huile à travers les particules et les dépôts minéraux qui sont porté grâce à l'huile.

L'analyse sur site de l'huile par les détecteurs portables est la plus simple et la plus rapide, mais l'analyse en laboratoire, même si elle prend du temps pour tirer les résultats, reste l'analyse la plus complète et la plus précise.

Malgré l'importance de cette technique, mais la plupart de nos entreprises dépendent juste le changement périodique (vidange) d'huile et ne donnent pas d'importance à son analyse.

L'analyse vibratoires est la technique la plus précise et la plus utilisée dans des plusieurs domaines et machines différents, c'est la première technique utilisée dans la surveillance des machines tournantes car elle combine toutes les techniques en une seule technique.

La technique d'analyse vibratoires est la seule technique qui détecté tous les défaillances possibles dans des différentes parties de la machine et détermine avec précision son emplacement et son degré de gravité. La technologie d'analyse vibratoire peut détecter les défauts suivants :

- Défauts de balourd.
- Défauts d'alignement.
- Défauts de roulement.
- Défauts de palier lisse.
- Défauts d'engrènement.
- Jeux mécanique

- Transmission par courroie.
- Défauts électriques et hydrauliques.

Les capteurs principaux qui sont détectés les vibrations sont : le prosimètre, la vélocimétrie et l'accéléromètre

Les vibrations peuvent être aussi capturées et analysées on line (sur site), avec des appareils portables, mais l'analyse off line reste la plus précise.

malgré les avantages qu'offre cette technologie et malgré le degré élevé qu'elle garantit pour la sécurité et la santé des machines, elle est considérée comme la technique la plus compliquée grâce à la précision nécessaire dans l'analyse des spectres des vibrations, et la plus coûteuse grâce aux différents capteurs utilisés.

Enfin, on peut dire que la technique d'analyse des huiles et d'analyse vibratoires est l'une des techniques les plus efficaces et nécessaires pour surveiller les machines tournantes selon le plan de la maintenance préventive conditionnelle, grâce à la protection et la surveillance qu'elles garantissent aux machines tournantes.

Bibliographies

- [1] Fahssi Omar et Labchek Adnan, détection, étude et analyse de défaut d'une machine industrielle-cas pratique. Mémoire de fin d'étude, Université De Blida 1, 2016.
- [2] Hachemi Mohammed, Application de l'ODS à l'analyse des problèmes de vibration des machines tournantes. Mémoire de fin d'étude, Université Abou Bekr Belkaid-Tlemcen, Juillet 2012.
- [3] Krika Wafa, Etude de l'influence de la qualité du lubrifiant sur la vibration des machines tournantes lubrifiées. Mémoire de Magister, Université Mohamed Chérif Messaâdia-Souk-Ahras.
- [4] Bechkri Bouchra, analyse des défauts de denture et leurs influences sur les transmissions mécaniques par engrenages. Mémoire de Magister, Université Mentouri-Constantine. 2007. A.boukoucha et K.aici, Surveillance des machines tournantes par analyse vibratoire. Mémoire de fin d'étude, Université De Blida 1, 2015.
- [5] Landolsi Foued, étude des principaux défauts , surveillance des machines par analyse vibratoire, la thermographie infrarouge, analyse des ultraçon.
- [6] Diagnostic des défauts par analyse vibratoire.
<https://docplayer.fr/14770696-Diagnostic-des-defauts-par-analyse-vibratoire.html>
- [7] Analyse vibratoire des machines tournantes, Strategie de maintenance.
<https://hubertfaigner.pdf>
- [8] Tahar Belkhir Med Mohcen Ben saci , La maintenance des équipements par l'analyse vibratoire. Mémoire De Fin d'Etude, université kasdi merbah ouargla. 2016.
- [9] Cours «Strategie de maintenance». Eniet-Cameroun.
<https://leolein.com/wp-content/uploads/2019/03/1.pdf>
- [10] Cours les méthodes de maintenances.
<https://www.yumpu.com/fr/document/view/24070076/cours-prof-les-macthodes-de-maintenance>
- [11] A.Belhoumme, Cours « Strategie de maintenance». 2010/201 1,
<http://btsmiforges.free.fr/>
- [12] Mehala Kadda, Lubrification. Polycopies Lubrification Industrielle, Université des sciences et de la Technologie d'Oran « Mouhammed Budiaf ». 2016/2017.
- [13] Y.Benlalli, Modélisation numérique du comportement dynamique d'un film d'huile dans un roulement à billes.Thèse de doctorat, Université d'Annaba, 2008.
- [14] Le graissage moteur, la lubrification.
http://www4.acnancymetz.fr/autocompetences/2_ressources_pedagogiques/1_motorisati on/stockage le%E7ons technologie/graissage-lubrification.pdf

[15] Nader Ben salem, Contrôle, surveillance et analyse des huiles. Cours Lubrification et Graissage

<https://www.scribd.com/document/331656233/chapitre-4-contrôle-des-huiles-pdf>

[16] « La Fonction Technique de Base lubrification », Guide pour l'analyse de l'existant technique.

<https://perso.crans.org/mbertin/AE%20GM%20Lubrification%20light.pdf>

[17] Les types de lubrifications.

<https://www.wikip.fr/moteur-diesel/les-types-de-lubrifications>

[18] Les Outils du CND.

<http://sti.lycee-schwilgue.com/sjl-web/cnd/analysehuile.htm>

[19] Larba Weame, « Surveillance vibratoire et interventions pratiques sur le compresseur (SPIROS) ». Mémoire de fin d'étude, Université Baji Mokhtar-Annaba, 2018.

[20] Cherifi Farouk et Smail Yassine, «Application de l'analyse vibratoire à la maintenance préventive conditionnelle ». Mémoire de fin d'étude, Université A. Mira de Bejaia, 2014.

[21] Mohcen Ben Ammor, «Capteur et actionneur manuel de coure et exercice ».Edition TSET, Safax-Tunisie, 2005.

[22] conseils de prélèvement d'échantillon.

<https://www.youtube.com/watch?v=PT03mb8mdKM>.

[23] Chouchéne Mohamed, « les analyses des huiles industrielles ». Cours l'analyse des huiles, ISET Siliana.

[24] Oustani Mebrouk et Nedjaa Mohammed Mokhtar, «étude maintenance préventive d'un turbocompresseur par analyse des huiles». Mémoire De Fin d'Etude, Université Kasdi Merbah – Ouargla, 08-06-2014.

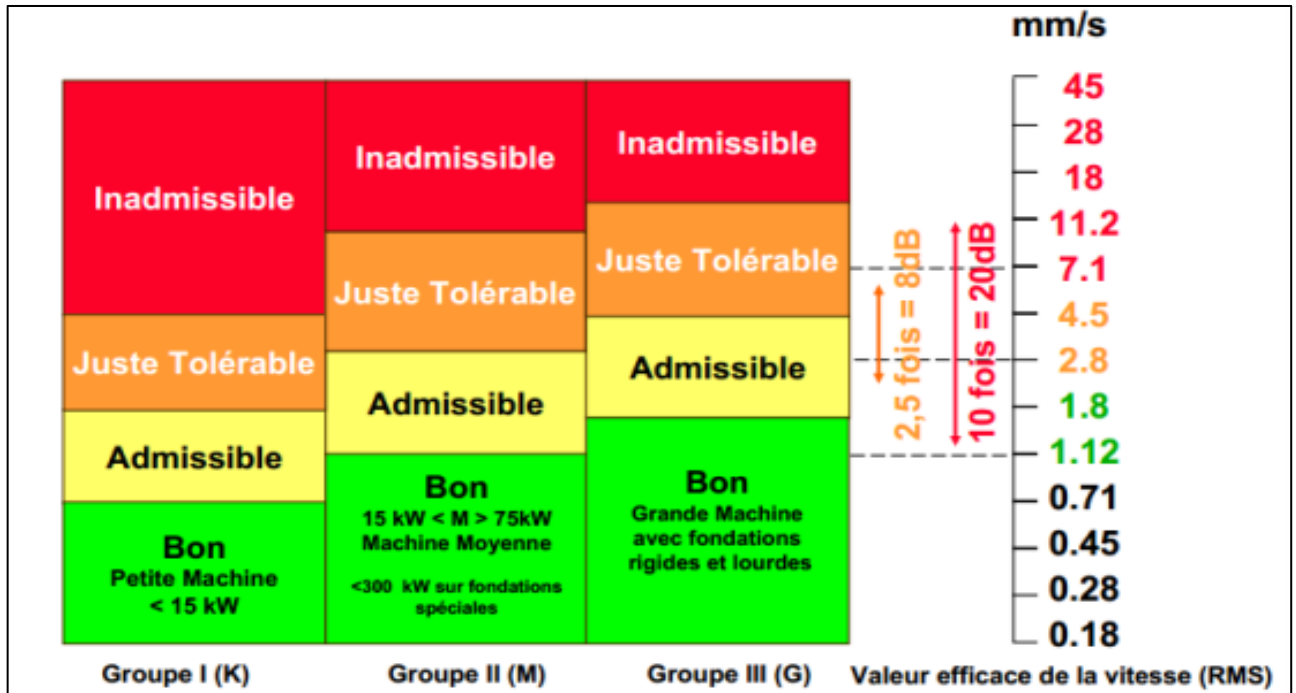
[25] « Shell Turbo Oil T68 ». Fiche technique.

<https://www.lubexcel.com/repo/docs/A17-3589-FT%20-%20TURBO%20OIL%20T%2068.pdf>.

Annexes

Annexe II

Seuils d'alarmes en basse et en moyenne fréquence



-Selon les normes ISO 2372 et AFNOR E90-30, en définit les seuils des vitesses efficaces selon les types de machines sont donnés dans le tableau ci-dessous (tableau 1) : Mesures dans la plage de fréquence de 10 à 1000 Hz. [2]

-**Groupe K** : petites machines jusqu'à 15 KW.

-**Groupe M** : machines moyenne entre 15 et 75 KW. Jusqu'à 300 spéciale ,KW sur fondation.

-**Groupe G** : machines lourdes sur fondation rigide et lourdes dont la fréquence naturelle dépasse la vitesse de la machine.

-**Groupe T** : machines lourdes fonctionnant à des vitesses supérieures à la fréquence naturelle de leurs fondations (cas des turbomachines).

Annexe III

Reconnaissance des principales anomalies [2]

Type d'anomalie	Vibration		Remarques
	Fréquence	Direction	
Tourbillon d'huile	De 0,42 à 0,48 x Fr	Radiale	Uniquement sur paliers lisses Hydrodynamiques à grande vitesse
Balourd	1,2,3, xFr	Radiale	Amplitude proportionnelle à la vitesse de Rotation
Défaut de Fixation	1,2,3,4 xFr	Radiale	
Défaut d'alignement	2xFr	Axiale et radiale	Vibration axiale en général plus importante si le défaut d'alignement comporte un écart angulaire
Excitation électrique	1,2,3,4 x50 Hz	Axiale et radiale	Disparaît dès la coupure de l'alimentation
Vitesse critique de rotation	Fréquence critique de rotor	Radiale	Apparaît en régime transitoire et s'atténue ensuite
Courroie en mauvais état	1,2,3,4 x Fp	Radiale	
Engrenages endommagés	Fréquence d'engrènement F : $F_e = N \text{ dent} \times Fr \text{ d'arbre}$	Radiale + axiale	Bande latérale autour de la fréquence d'engrènement
Faux rond pignon	$F \pm Fr \text{ pignon}$	Radiale + axiale	Bandes latérale autours la fréquence d'engrènements dus aux faux-ronds
Excitation hydrodynamique	Fréquence de passage des aubes	Radiale et axiale	
Détérioration de roulement	Hautes fréquences	Radiale et axiale	Ondes de chocs aux caillages aide possible par «détection d'enveloppe »

Avec :

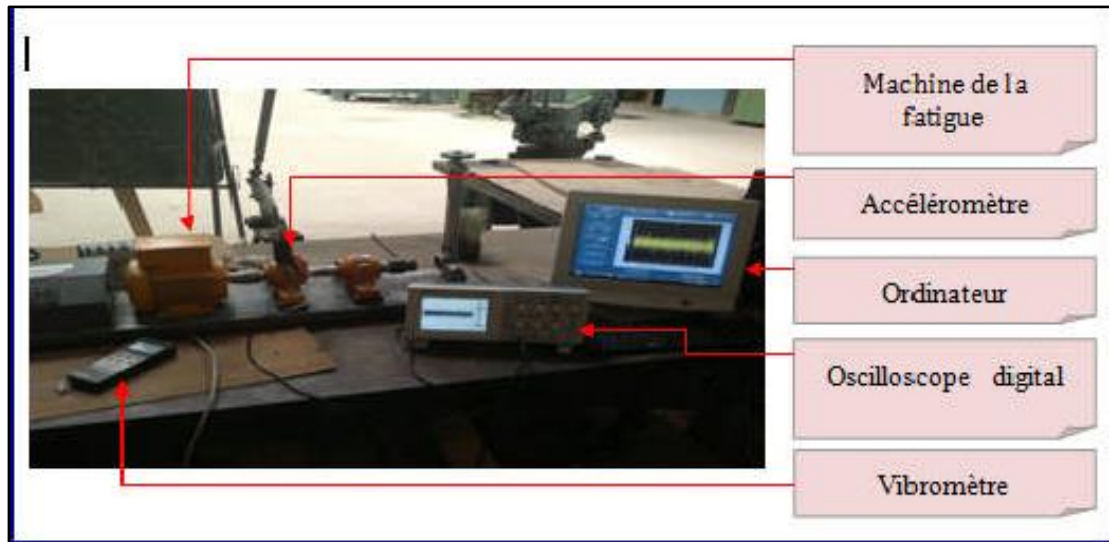
Fr : Fréquence de rotation.

Fp : Fréquence de passage de la courroie.

Fe : Fréquence d'engrènement.

Annexe IV

Machine de la fatigue et appareillage.



1. Caractéristiques du moteur

Moteur Asynchrone à Rotor Court Circuit (LEROY –SOMER)	
Type	LS 74 N° 506037
Année	1985
Puissance	0.37 kW (0.5 ch)
Fréquence d'alimentation	50 Hz
Vitesse de rotation	3000 tr/min
Facture de Puissance	0.77
Courant	3.3 A
Tension	220 V
Capacité	160 μ F
Temperature ambiante	40 °C
Number de Phase	1
IS	E
IP	55

Annexe V

Vibromètre 8202.



1. Traitement et caractéristiques du vibromètre VB 8202

FEATURE	
*Professional vibration meter supply with vibration sensor, full set.	*Seperate vibration probe, easy operation
	*RS 232 computer interface.
*Velocity range :200 mm/s.	*Optional data acquisition software for data record & datalogger
*Acceleration range: 200 m/s ² .	
*RMS & peak measurement, peak function to hold the peak value.	*Super larger LCD display.
	*Microcomputer circuit, high performance.
*Wide frequency range.	*Auto shut off saves battery life.
*Data hold button to freeze the desired reading.	*Built-in low battery life.
*Memory function to record maximum and minimum reading with recall;	*Heavy duty & compact housing case.
	*Complete set with the hard carrying case