

République Algérienne Démocratique et Populaire
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique



Université Kasdi Merbah Ouargla
Faculté des Sciences appliquées
Département du génie Mécanique



MEMOIRE DE FIN D'ETUDE

Présenté par :

Rougui Oussama

Sayah Belkhir

Pour obtention du diplôme de MASTER

Domaine : Sciences et Technologies

Filière : Electromécanique

Spécialité : Maintenance Industrielle

Intitulé du mémoire

Analyse vibratoire des Machines Tournantes (cas : pompe)

Présenté devant le jury composé de :

Guebailia Moussa

M.C. A

Encadreur

Ouargla

Noureddine Cherrad

M.C. A

Président

Ouargla

Belakroum Rassim

M.C. A

Examineur

Ouargla

Année Universitaire : 2024 / 2025

Remerciements

Nous remercions avant tout Dieu, le Tout-Puissant et le Miséricordieux, qui nous a accordé la force, la patience et la persévérance nécessaires pour mener à bien ce modeste travail.

Nous exprimons notre profonde gratitude à notre encadrant, Monsieur M. Guebailia, pour son accompagnement, ses précieux conseils, sa disponibilité et les efforts qu'il a déployés tout au long de ce travail.

Nos remerciements les plus sincères vont également aux membres du jury, pour l'intérêt qu'ils ont porté à notre mémoire en acceptant de l'évaluer.

Nous tenons enfin à remercier l'ensemble du corps enseignant et administratif de notre établissement, pour la qualité de l'enseignement dispensé et leur contribution à notre parcours universitaire.

Dédicace

Je dédie ce modeste travail

*À toute ma famille, en priant Dieu de les préserver et
les protéger, pour leur soutien moral constant, leurs
encouragements sincères et les nombreux sacrifices qu'ils
ont consentis.*

À mes frères et mes sœurs.

À mes amis et mes collègues

*À mes professeurs, pour leur encadrement, leur patience et leurs
précieux enseignements.*

Rougui Oussâma

Dédicace

Je dédie ce modeste travail

*à toute ma famille, en priant Dieu de les préserver et
les protéger, pour leur soutien moral constant, leurs
encouragements sincères et les nombreux sacrifices qu'ils
ont consentis.*

À mes frères et mes sœurs.

À mes amis et mes collègues

*À mes professeurs, pour leur encadrement, leur patience et leurs
précieux enseignements.*

Sayah Belkhir

Sommaire

Introduction générale.....	1
Chapitre I : Recherche bibliographique (Maintenance conditionnelle et Analyse vibratoire)	3
I.1 Maintenance conditionnelle	4
I.1.1 Introduction.....	4
I.1.2 Définition (AFNOR X60-010).....	4
I.1.3 Les différentes formes de maintenance : (Selon AFNOR X600)	4
I.1.3.1 La maintenance corrective	5
I.1.3.2 Maintenance préventive	5
a- La maintenance systématique.....	5
b-La maintenance conditionnelle	6
I.1.4 Principes de la maintenance conditionnelle	7
- Avantages de la maintenance conditionnelle	7
I.1.5 Les outils de la maintenance conditionnelle	8
I.1.6 La mise en place du suivi vibratoire	9
- Les niveaux d'analyse.....	9
I.1.7 Conclusion	10
I.2 Analyse vibratoire.....	11
I.2.1 Introduction.....	11
I.2.2 Généralités	11
I.2.3 Les différentes formes de vibration.....	12
a-Vibrations harmoniques	12
b- Vibrations périodiques	12
C- Vibrations apériodiques.....	13
I.2.4 Méthodes d'étude des vibrations	14
a- Mesure de la valeur globale	14
b-Technique de résonance	15
c- Analyse spectrale (ou analyse en fréquence)	15
I.2.5 Le grandeurs mesurées.....	16

I.2.6 Origines des vibrations des machines	17
- Vibrations des machines voisines	17
-Vibrations d'origine électrique	17
-Résonance de la structure ou du rotor	17
I.2.7 Les différentes représentations du signal	17
- Représentation temporelle	17
- Représentation spectrale (ou fréquentielle)	18
I.2.8 Le matériel utilisé (Chaîne de mesure)	19
I.2.8.1 Les capteurs	19
a- Les capteurs de déplacement (Proximètres)	20
b- Les capteurs de vitesse (Vélocimètres)	21
c- Les capteurs d'accélération (Accéléromètre)	22
I.2.8.2 Les enregistreurs	23
I.2.8.3 Les analyseurs	23
a- Appareils de mesure globale	23
b- Appareils à filtre accordable	24
c- Filtre à pourcentage constant... ..	24
d- Filtre à largeur de bande constante... ..	24
I.2.9 Les points de mesure	24
1- Mesure sur palier	25
2- Mesure sur l'arbre	26
I.2.10 Consigne pour la fixation des capteurs	26
I.2.11 Conclusion	28
Chapitre II : Entreprise visite	29
II.1 Introduction	30
II.2 Rôle du CPF	30
II.3 Le traitement du gaz naturel	31
a- L 'élimination du mercure (Hg)	31
b- L 'élimination de l'hydrogène sulfuré (H ₂ S)	31
c- L 'élimination du CO ₂	31

d- L'élimination de l'eau	32
II.4 Capacité	32
- Capacité de production des puits	32
II.4 Les différentes unités	32
II.5 Organigramme du Département Maintenance	33
II.6 Rôle du Service Mécanique	33
-Activités principales.....	33
1-Maintenance préventive et corrective	33
2-Surveillance des équipements	33
3-Installation et mise en service	33
4-Amélioration continue	34
5-Sécurité et conformité	34
II.7 Exemples de machines tournantes utilisé au niveau du CPF.....	34
II.8 Conclusion	35
Chapitre III : Surveillance et diagnostic des défauts	36
III-1 Introduction	37
III-2 Déséquilibre : défaut de balourd	37
III-2-1 Définition	37
III.2.2 Mesure.....	38
III.2.3. Signature vibratoire	39
III.2.4 Balourds statique et dynamique	40
III.3 Défaut d'alignement	41
III.3.1 Définition	41
III.3.2 Désalignement d'arbres accouplés	41
a. Désalignement parallèle	41
b. Désalignement angulaire	42

III.3.3 Désalignement des paliers	43
III.4 Frottement, desserrage, fissuration et jeux	43
III.5 Les défauts des engrenages	44
III.5.1 Définition	44
III.5.2 Fréquence d'engrènement	45
III.5.3 Signatures vibratoires des défauts d'engrènement	46
a- Détérioration d'une dent	46
b- Détérioration de l'ensemble de dentures.....	47
c- Entraxe insuffisant (jeu insuffisant au fond de denture)	47
III.6 Les défauts de roulements	48
III.7 Conclusion.....	49
Chapitre IV : Etude de cas	50
IV.1 Introduction.....	51
IV.2 Matériels utilisés	51
IV.2.1 Appareil (ONEPROD FALCON)	51
a-Introduction	51
b-points de mesure au niveau de l'appareil.....	52
IV.2.2 capteur type (WLS).....	52
IV.2.3 Logiciel d'analyse de diagnostic vibratoire (NESTi4.0)	53
a- Introduction.....	53
b- Fonctionnalités principales	53
IV.3 Suivi de mesure de vibrations de la pompe.....	54
IV.3.1 Principe de fonctionnement de la pompe.....	54
IV.3.2 Caractéristiques	55
a- Fiche de données de la pompe (API 610-10th / ISO 13709)	55
b-Fiche de données de moteur.....	56
IV.3.3 Les points de mesure au niveau de la pompe et le moteur.....	57
- Explique points des mesures.....	58
IV.3.4 Résultats du contrôle vibratoire (durant défaut)	60
IV.3.5 Interprétation des résultats	61

- Représentation spectrale durant défaut (coté pompe)	61
IV.4 Recommandation.....	62
IV.5 Résultats du contrôle vibratoire (Après réparation)	62
- Représentation spectrale Après réparation (coté pompe)	64
IV.6 Conclusion	64
Conclusion générale	65
Références bibliographique	66

Listes des figures

Chapitre I :

Figure I.1.1: Organigramme de différentes formes de maintenance	4
Figure I.1.2 : Limites de la maintenance systématique	6
Figure I.1.3 : évolution des paramètres significatifs dans le temps	7
Figure I.1.4 : Avantages de la maintenance conditionnelle.....	7
Figure I.1.5: Différentes méthodes d'analyse	8
Figure I.1.6: Identification du parc machines.....	9
Figure I.2.1 : Vibration harmonique.....	12
Figure I.2.2: Vibrations périodiques.....	13
Figure I.2.3: Vibration Aléatoire.....	13
Figure I.2.4: Les modes de détection	14
Figure I.2.5: Les grandeurs de mesure	16
Figure I.2.6: Représentation temporelle	18
Figure I.2.7: Représentation fréquentielle	18
Figure I.2.8: Chaîne de mesure	19
Figure I.2.9 : Proximètres.....	20
Figure I.2.10 : Schémas de chaîne de mesure à courant de Foucault.....	21
Figure I.2.11 : Vélocimètre fonctionnant selon le principe électrodynamique	22
Figure I.2.12: Accéléromètre (principe piézoélectrique).....	22
Figure I.2.13 : Enregistreur de données de vibration	23
Figure I.2.14 : Points de mesure d'un ensemble moteur + pompe.....	25
Figure I.2.15: Points de mesure sur un palier.....	25
Figure I.2.16: Points de mesure sur un arbre.....	26
Figure I.2.17: Choix de l'emplacement de capteur	27

Figure I.2.18: Les surfaces de contact avec les capteurs Doivent être lisses et planes.....	27
---	----

Chapitre II :

Figure II.1: localisation site TOUATGAZ.....	30
Figure II.2: Étapes de traitement	31
Figure II.3: Capacité de production des puits.....	32
Figure II.4: pompe anti incendie 402-PA-002A.....	34
Figure II.5: pompe centrifuge 103-PA-023B	34
Figure II.6: Turbine électrique 300-EG-00046	35
Figure II.7: turbo Expandre 105-UK-010.....	35

Chapitre III :

Figure III.1 : Tolérance d'usinage sur un rotor.....	37
Figure III.2 exemples de défauts induisant un balourd	38
Figure III.3 points de mesure pour Un défaut de balourd	38
Figure III.4 points de mesure pour un défaut de balourd sur rotor en Porte-à-faux.....	38
Figure III.5 signal généré par un balourd	39
Figure III.6 Spectre d'un défaut de balourd	39
Figure III.7 balourd statique.....	40
Figure III.8 balourd dynamique	40
Figure III.9 défauts d'alignement d'arbres.....	41
Figure III.10 : image vibratoire d'un défaut d'alignement parallèle	42
Figure III.11 images vibratoires d'un défaut d'alignement angulaire.....	42
Figure III.12 désalignements de paliers se traduisant par une flexion de l'arbre.....	43
Figure III.13 Images vibratoires d'un phénomène de jeu.....	44
Figure III.14 différents types d'engrenage	45
Figure III.15 efforts sur les dents d'engrenage selon le type de denture.....	45
Figure III.16 : image vibratoire d'un engrenage sain.....	46
Figure III.17 : image vibratoire théorique d'un engrenage présentant une dent détériorée	46
Figure III.18 : image vibratoire théorique d'une denture	47

Figure III.19 : image théorique et spectre réel d'un engrènement en fond de denture sur un réducteur.....	48
Figure III.20 : caractéristiques géométriques d'un roulement.....	49

Chapitre IV :

Figure IV.1 : Appareil de mesure (ONEPROD FALCON)	51
Figure IV.2 : points de mesure au niveau de l'appareil	52
Figure IV.3 Capteur accéléromètre type (WLS)	52
Figure IV.4 : Logiciel (NESTi4.0)	53
Figure IV.5 : Pompe Booster 103-PA-020.....	54
Figure IV.6 : Fiche de données de la pompe 103-PA-020.....	55
Figure IV.7 : Fiche de données de moteur électrique.....	56
Figure IV.8 : Plan des points de mesure de Vibration.....	57
Figure IV.9 Palier 1 : 1RV	58
Figure IV.10 Palier 1 : 1RH	58
Figure IV.11 Palier 2 : 2RV	58
Figure IV.12 Palier 2 : 2RH	58
Figure IV.13 Palier 3 : 3RV	59
Figure IV.14 Palier 3 : 3RH	59
Figure IV.15 Palier 4 : 4RV	59
Figure IV.16 Palier 4 : 4RH	59
Figure IV.17 Point axiale 2AX (coté moteur).....	60
Figure IV.18 Point axiale 3AX (coté pompe)	60
Figure IV.19 : Image spectrale superposée horizontale (durant défaut)	61
Figure IV. 20 : Image spectrale superposée horizontale (Après réparation).....	64

Liste des tableaux

Chapitre IV :

1-Tableau de mesure de vibrations (coté moteur)	60
2-Tableau mesure vibration (coté pompe)	61
1-Tableau Après réparation de la vibration (coté Moteur).....	63
2-Tableau Après réparation de la vibration (coté pompe).....	63

Introduction générale :

Dans de nombreux secteurs industriels, la disponibilité des équipements et la maîtrise des coûts sont des facteurs essentiels pour garantir une continuité optimale de la production. Tout arrêt imprévu ou toute défaillance non anticipée peut engendrer des pertes économiques importantes. C'est pourquoi il est indispensable de mettre en place des systèmes de surveillance performants, capables de détecter précocement tout défaut ou anomalie avant qu'une défaillance majeure ne survienne.

Parmi les différentes techniques de surveillance, l'analyse vibratoire s'impose comme l'une des méthodes les plus fiables et les plus répandues pour le diagnostic des machines tournantes. Elle permet de détecter, de manière non intrusive, l'apparition et l'évolution de nombreux défauts, qu'ils soient d'origine mécanique, électrique, hydraulique, ou autre. L'objectif de ce travail est d'étudier le comportement vibratoire des machines tournantes, dans le but de diagnostiquer les défauts mécaniques et d'évaluer leur état de fonctionnement. Pour cela, nous avons mis en œuvre une méthode d'acquisition ponctuelle des données, basée sur la mesure de la vitesse vibratoire à l'aide d'un vibromètre portable.

Notre démarche expérimentale s'est articulée en trois étapes principales :

- ✓ Premièrement, la mesure des vitesses de vibrations aux différents points critiques de la machine.
- ✓ Deuxièmement, la comparaison des valeurs mesurées aux seuils de référence afin de détecter toute anomalie potentielle.
- ✓ Enfin, l'analyse spectrale des signaux mesurés, visant à localiser et à caractériser précisément les défauts.

Le principe fondamental de l'analyse vibratoire repose sur le fait que toute machine tournante (moteurs électriques, pompes, compresseurs, turbines, etc.) génère des vibrations caractéristiques en fonctionnement. Ces vibrations, induites par des défauts tels que le balourd, le désalignement, les usures de paliers ou les anomalies d'engrenages, se traduisent par des signaux vibratoires complexes. Pour leur traitement, nous avons utilisé l'analyseur VIBXPERT EX, un outil performant permettant l'acquisition des données, leur analyse, et même l'équilibrage dynamique.

En somme, ce travail vise à démontrer l'intérêt de l'analyse vibratoire dans le diagnostic des défauts des machines tournantes, dans une optique de maintenance préventive optimisée. Il permet également de mieux planifier les opérations de maintenance, de gérer efficacement les stocks de pièces détachées et de mobiliser les ressources humaines en fonction des besoins réels.

Chapitre I :
Recherche bibliographique
(Maintenance conditionnelle et
Analyse vibratoire)

I.1 Maintenance conditionnelle :

I.1.1 Introduction :

Il est admis de nos jours par tout le monde que le problème de production dans les entreprises est en relation directe avec la maintenance.

L'existence d'un service maintenance se justifie par la nécessité d'assurer la disponibilité permanente des équipements, pour que le service puisse accomplir sa tâche en obtenant le rendement optimal. Son coût constitue une partie de plus en plus grande de coût total de fabrication à tel point que le service de maintenance est devenu un organe capital dans les entreprises.

I.1.2 Définition (AFNOR X60-010) :

La maintenance est l'ensemble des actions permettant de maintenir ou de rétablir un bien dans un état spécifié, ou dans un état où il est en mesure d'assurer un service déterminé [3].

I.1.3 Les différentes formes de maintenance : (Selon AFNOR X600) :

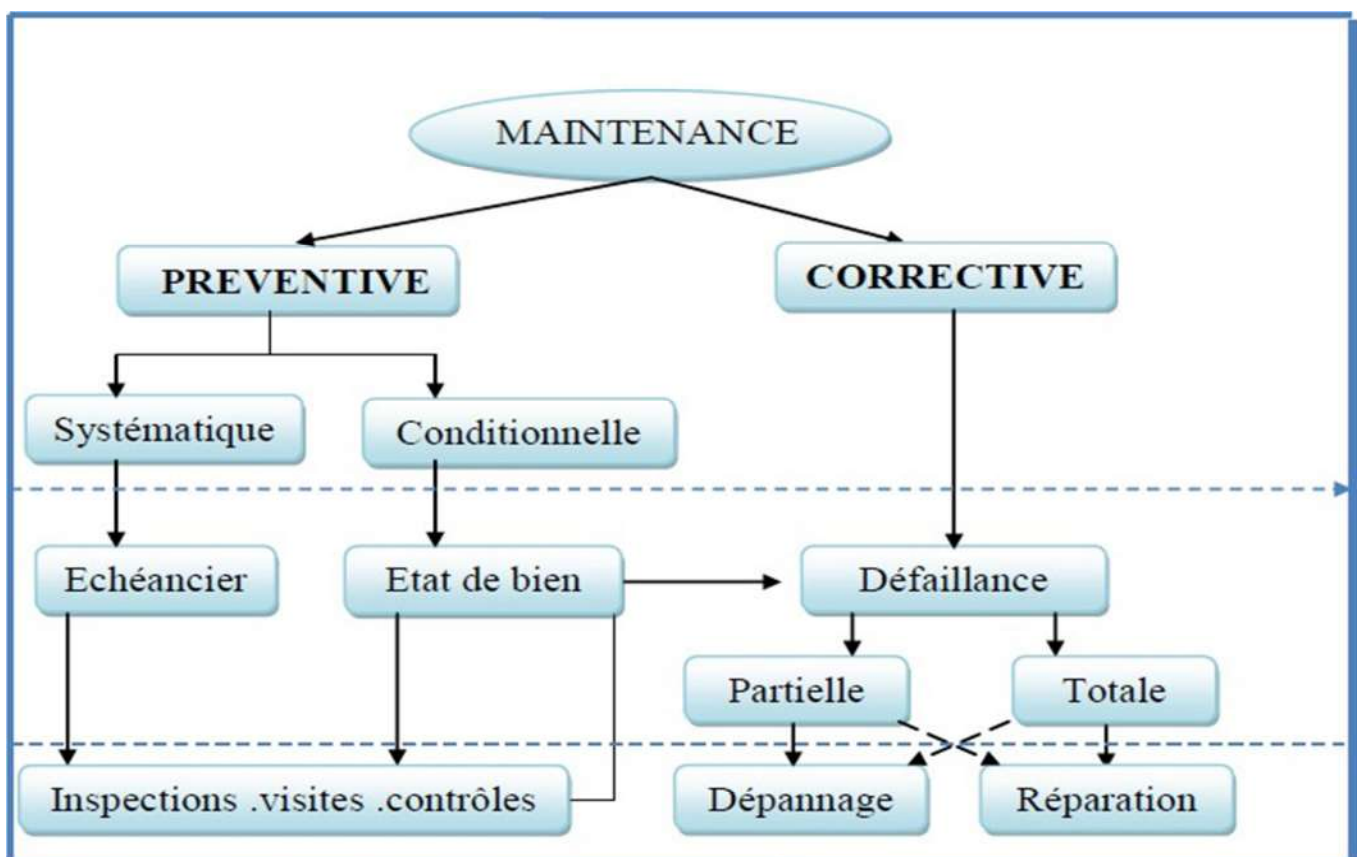


Figure I.1.1: Organigramme de différentes formes de maintenance[3]

I.1.3.1 La maintenance corrective :

Selon la norme AFNOR X 60-010 : "maintenance effectuée après défaillance".

C'est une politique de maintenance (dépannage ou réparation) qui correspond à une attitude de réaction à des événements plus ou moins aléatoires et qui s'applique après la panne. Ce qui ne veut pas dire obligatoirement que celle-ci n'a pas été « pensée ». C'est un choix politique de l'entreprise qui malgré tout, nécessite la mise en place d'un certain nombre des méthodes qui permettent d'en diminuer les conséquences :

- Analyse des modes de défaillance, de leurs effets et de leur criticité (**AMDEC**), méthode qui permet de mettre en évidence de façon prospective un certain nombre d'organes ou de machines critiques pour la sécurité ou la fiabilité d'un système après inventaire des défaillances élémentaires possibles.
- Installation d'éléments de secours (redondance de matériels).
- Utilisation de technologies plus fiables.

La maintenance corrective devra s'appliquer automatiquement aux défaillances complètes et soudaines (défaillances catalectiques), comme par exemple la rupture brusque d'une pièce mécanique [3].

I.1.3.2 Maintenance préventive :

La maintenance préventive est une maintenance effectuée selon des critères prédéterminés, dans l'intention de réduire la probabilité de défaillance d'un bien ou la dégradation d'un service rendu.

La maintenance préventive consiste donc à intervenir sur un équipement avant qu'il ne soit en panne, cette intervention peut rendre la forme d'une inspection, d'un contrôle, d'une visite et inclure certains travaux de type réglage ou remplacement de pièce.

Il existe deux types de maintenance préventive [3].

a- La maintenance systématique :

C'est la maintenance qui est effectuée selon un échancier établi en fonction du temps, ou du nombre d'unités d'usage, cette maintenance se pratique quand on souhaite procurer à un équipement une sécurité de fonctionnement [3].

Ce type de maintenance concerne plutôt :

- Des équipements dont une défaillance met en cause la sécurité des biens et des personnes.
- Des équipements à coûts de défaillance élevés.
- Des équipements dont l'arrêt (ou le redémarrage) est long.
- Des équipements soumis à des obligations réglementaires

Limites de la maintenance systématique :

Exemple : Remplacement des roulements :

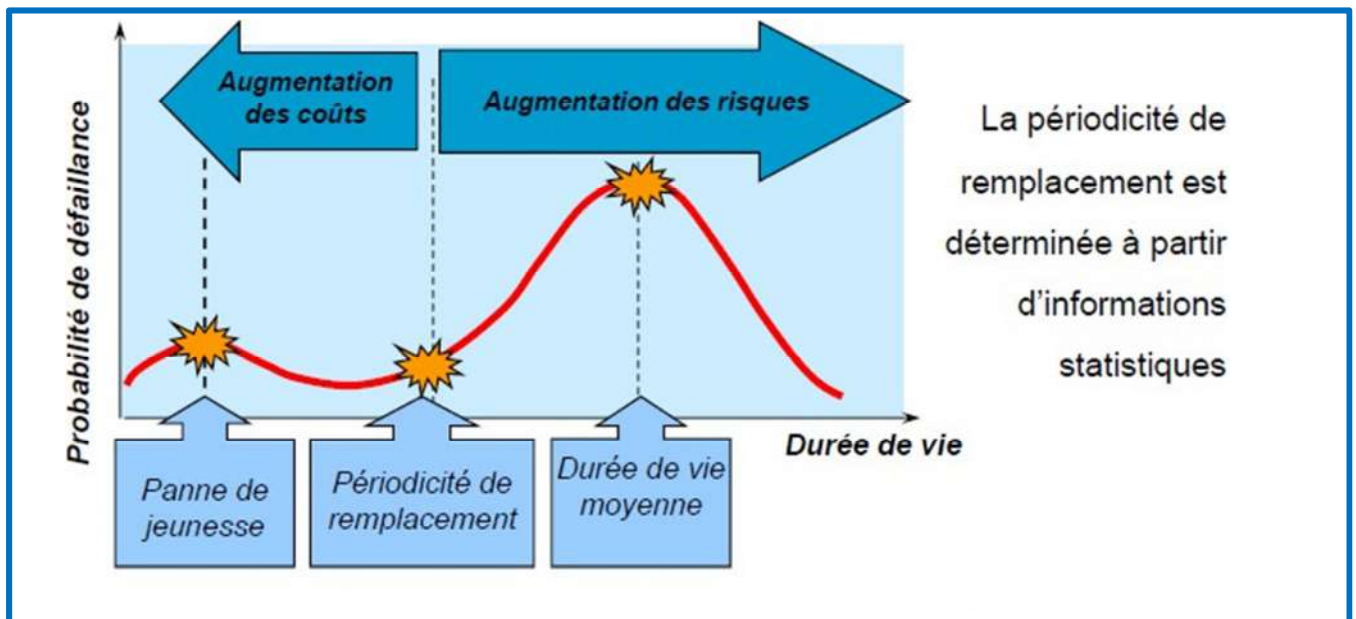


Figure I.1.2 : Limites de la maintenance systématique [4]

b-La maintenance conditionnelle :

C'est une maintenance subordonnée à un type d'événement prédéterminé révélateur de l'état de dégradation du bien (AFNOR X60-010). Cette forme de maintenance permet d'assurer une surveillance continue des points sensibles de l'équipement au cours des visites préventives dont le rôle est d'éliminer les pannes accidentelles ou de les réduire à un niveau acceptable [3].

Le rôle de la maintenance conditionnelle, c'est tendre vers le *ZERO PANNE* ce qui implique la minimisation des quatre pertes suivantes :

- Diminution de la disponibilité
- Diminution du volume de production
- Diminution de la sécurité
- Augmentation des coûts

I.1.4 Principes de la maintenance conditionnelle :

La maintenance conditionnelle est basée sur l'analyse de l'évolution dans le temps de paramètres significatifs.

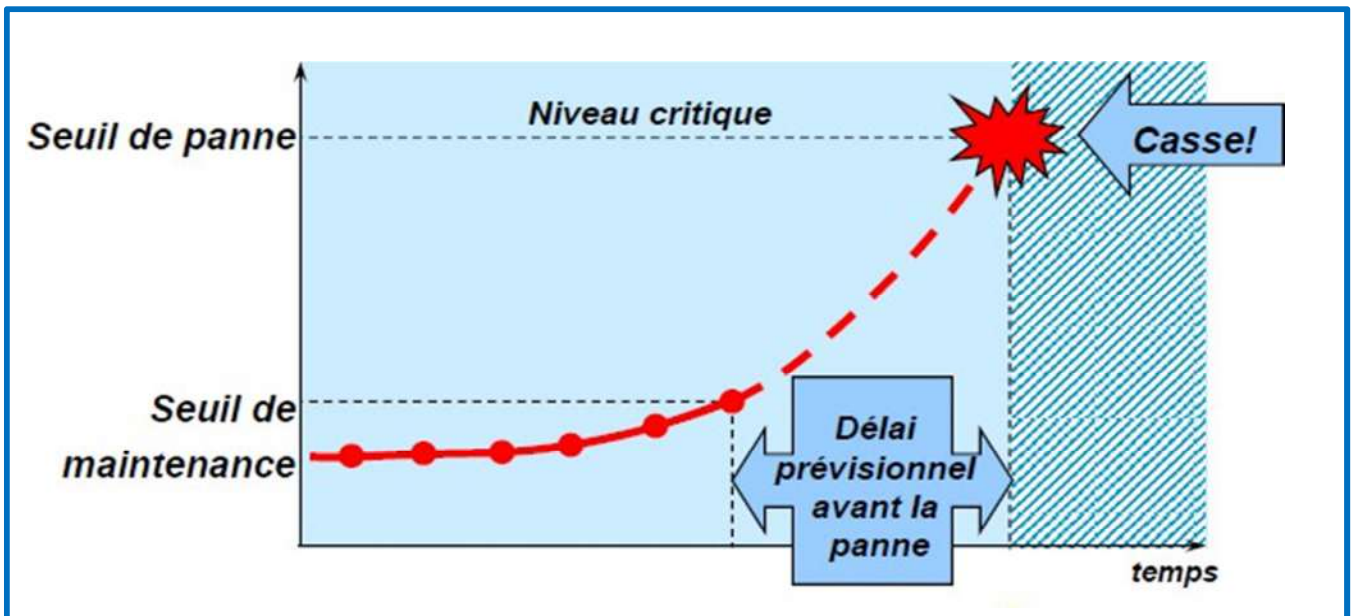


Figure I.1.3 : évolution des paramètres significatifs dans le temps [4]

-Avantages de la maintenance conditionnelle :

Impact des arrêts de production :

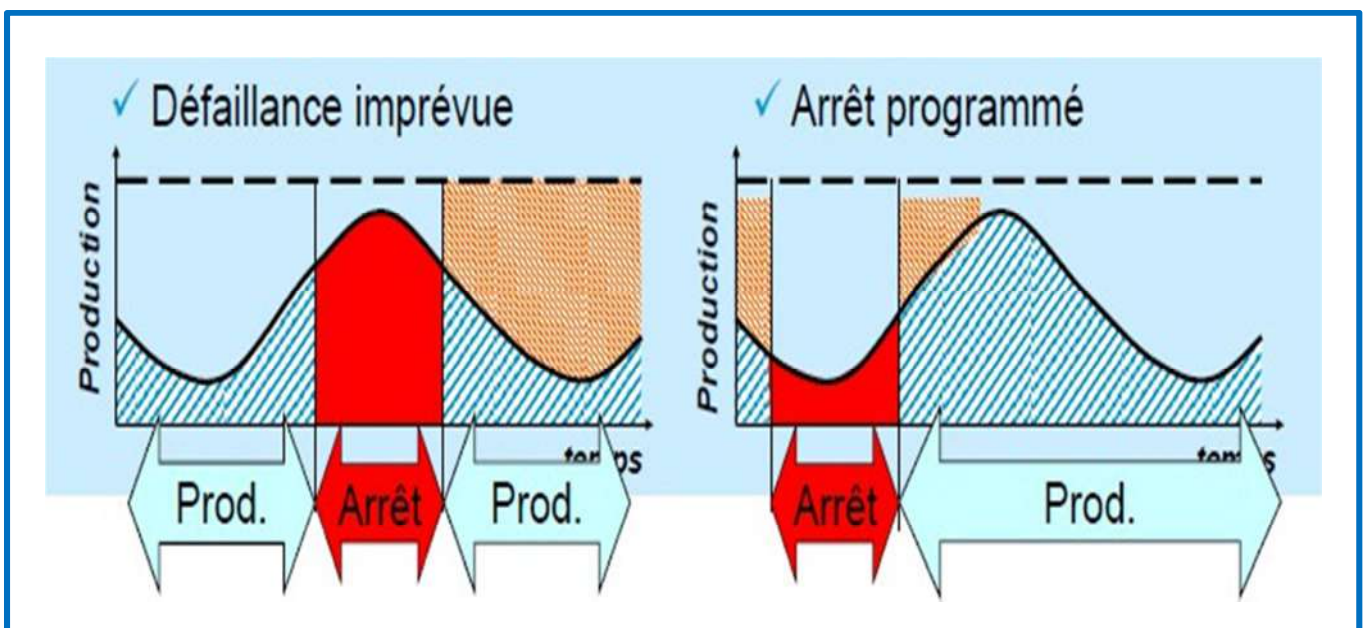


Figure I.1.4 : Avantages de la maintenance conditionnelle [4]

- Réduction des interventions non programmées.
- Réduction des coûts.
- Amélioration de la disponibilité.
- Amélioration de la sécurité.
- Diminution des arrêts de production.
- Diminution du nombre d'arrêts de production intempestifs.
- Augmentation de la disponibilité des équipements.
- Limitation de la gravité des réparations.
- Amélioration de la sécurité.

I.1.5 Les outils de la maintenance conditionnelle :

L'intégration des différentes technologies de la maintenance préventive prévisionnelle conduit à une optimisation de la disponibilité des équipements.

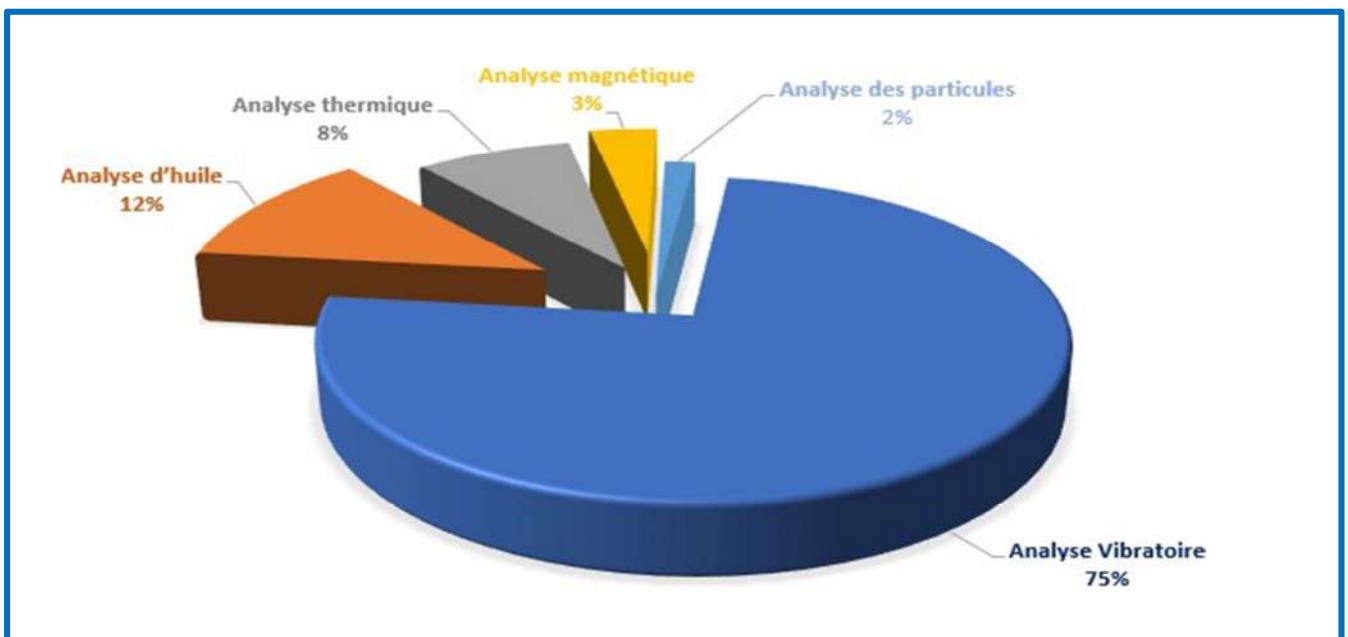


Figure I.1.5: Différentes méthodes d'analyse[11]

Le principe de l'analyse vibratoire se base sur l'idée que les structures des machines, excitées par des efforts dynamiques, donnent des signaux vibratoires dont la fréquence est identique à celle des efforts qui les ont provoqués ; et la mesure globale prise en un point est la somme des réponses vibratoires de la structure aux différents efforts excitateurs.

Comme l'analyse vibratoire est la technique importante de la maintenance conditionnelle et qui permet d'obtenir une disponibilité accrue des équipements de l'industrie, on va la voir dans la suite de ce chapitre [3] .

I.1.6 La mise en place du suivi vibratoire :

Etape 1 : Identification du parc machines.

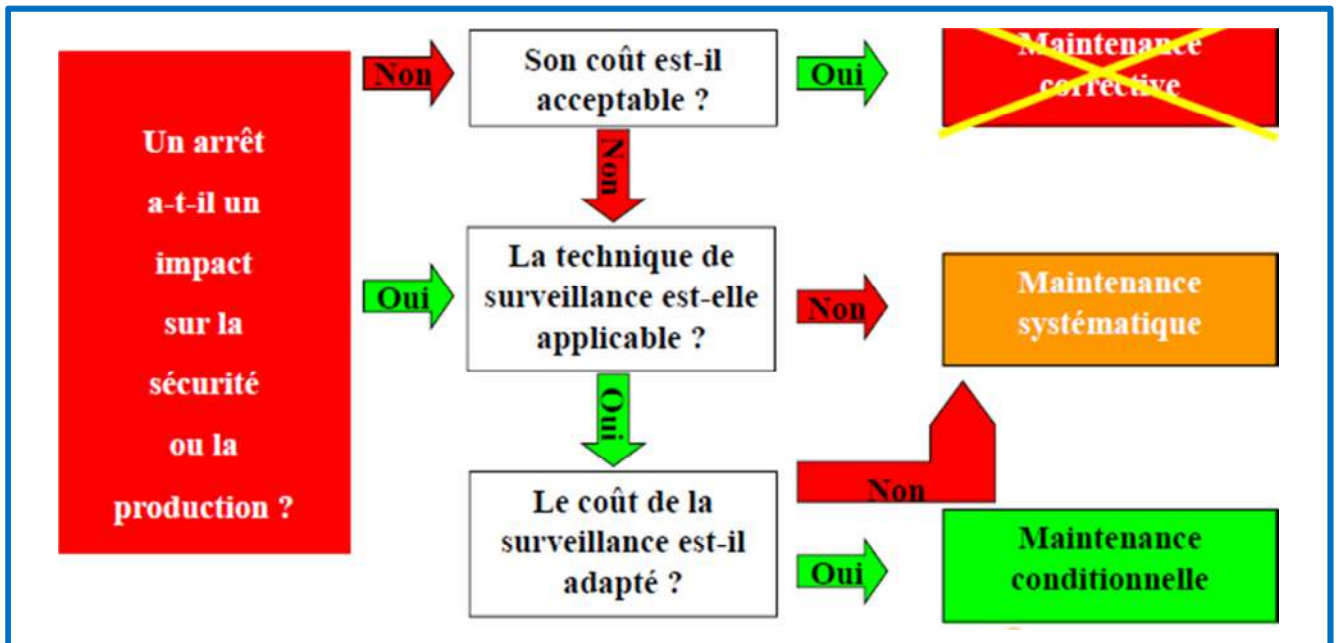


Figure I.1.6: Identification du parc machines[11]

Etape 2 :

Mise en place d'un système de surveillance adapté.

- Fonctions assignées au système : Maintenance et / ou sécurité
- Niveau d'analyse requis
- Type de surveillance : Continue ou périodique

En fonction de ces éléments, les choix en matériels, logiciels et formation

Pourront être réalisés.

- Les niveaux d'analyse :

-Niveau 1 : Maintenance niveau tendance.

-Niveau 2 : Maintenance niveau Diagnostic.

-Niveau 3 : Maintenance niveau Expertise

I.1.7 Conclusion :

La maintenance conditionnelle permet donc d'éviter les inconvénients de la maintenance systématique. Par le fait qu'elle permet de déterminer quel organe défaillant devra être remplacé et la date à laquelle s'impose l'intervention en se basant uniquement sur les analyses en temps réel de la machine et non sur des données statistiques.

Bien évidemment, pour faire de telles prédictions, il est nécessaire d'accéder à une bonne compréhension du rôle de la machine dans les processus et de son fonctionnement interne, car il n'est pas possible de prédire l'avenir d'un équipement sans connaître son état de santé au temps présent.

I.2 Analyse vibratoire :

I.2.1 Introduction :

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

Les objectifs d'une telle démarche sont de :

- Réduire le nombre d'arrêts sur casse.
- 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.

I.2.2 Généralités :

Le principe de l'analyse des vibrations est basé sur l'idée que les structures de machines, excitées par des efforts dynamiques, donnent des signaux vibratoires dont la fréquence est identique à celle des efforts qui les ont provoqués ; et la mesure globale prise en un point est la somme des réponses vibratoires de la structure aux différents efforts excitateurs. On peut donc, grâce à des capteurs placés en des points particuliers, enregistrer les vibrations transmises par la structure de la machine et, grâce à leur analyse, identifier l'origine des efforts auxquels elle est soumise.

De plus, si l'on possède la « signature » vibratoire de la machine lorsqu'elle était neuve, ou réputée en bon état de fonctionnement, on pourra, par comparaison, apprécier l'évolution de son état ou déceler l'apparition d'efforts dynamiques nouveaux consécutifs à une dégradation en cours de développement.

I.2.3 Les différentes formes de vibration :

On classe généralement les vibrations d'après l'évolution de la variable considérée dans le temps (périodicité).

On distingue ainsi les vibrations :

- ❖ Harmoniques
- ❖ Périodiques
- ❖ Apériodique

a-Vibrations harmoniques :

Une vibration harmonique est une vibration périodique particulière dont le diagramme amplitude temps est représenté par une sinusoïde. Le meilleur exemple d'une vibration harmonique est celle qui est générée par le balourd d'un rotor en mouvement [17].

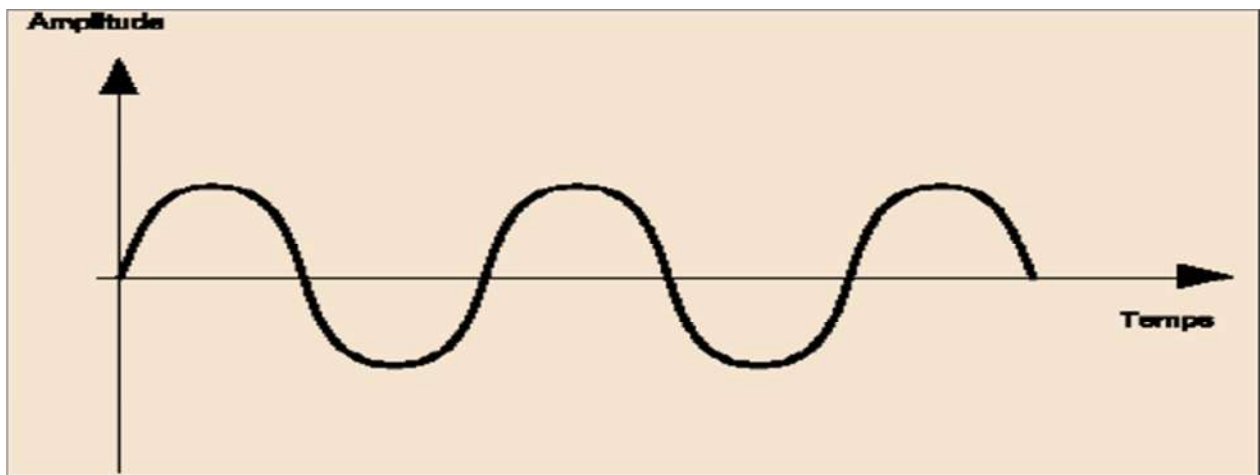


Figure I.2.1 : Vibration harmonique [17]

b- Vibrations périodiques :

Les vibrations périodiques sont des mouvements oscillatoires qui se répètent à intervalles réguliers dans le temps. Cela signifie que le motif du mouvement (amplitude, fréquence, direction) se reproduit de façon identique à chaque période.

En mécanique, on les rencontre fréquemment dans les machines tournantes (moteurs, pompes, compresseurs...), où elles peuvent être dues à des éléments en rotation, des déséquilibres, ou des sollicitations mécaniques régulières [17]

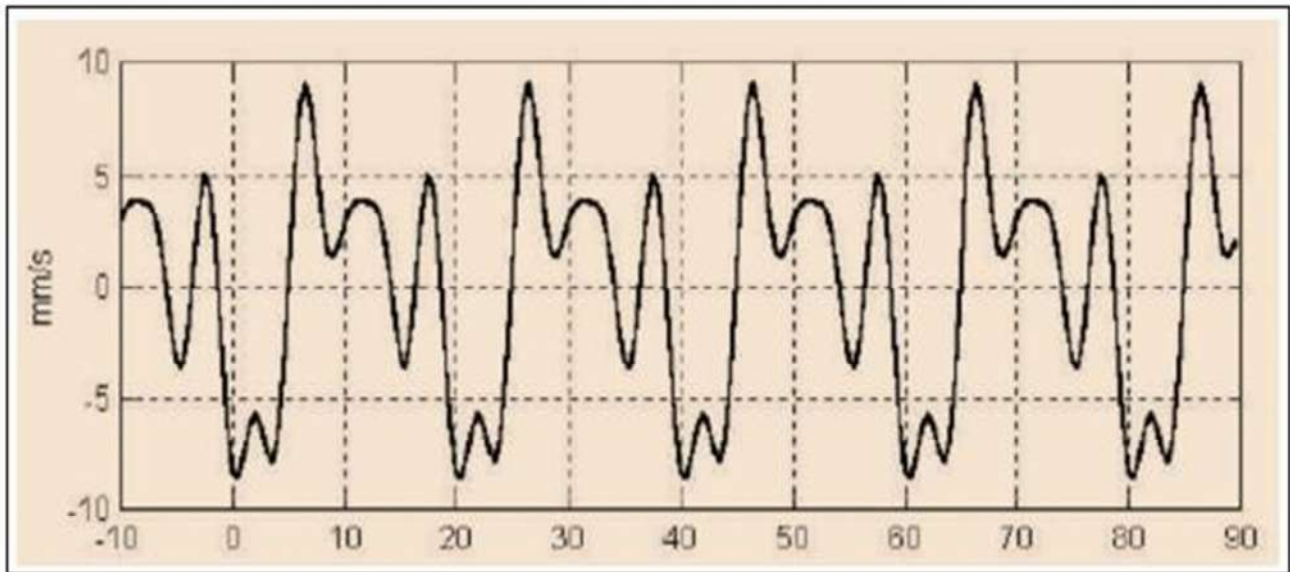


Figure I.2.2: Vibrations périodiques[17]

C- Vibrations apériodiques :

Une vibration apériodique est telle que son comportement temporel est quelconque, c'est à dire que l'on n'observe jamais de reproductibilité dans le temps [17].

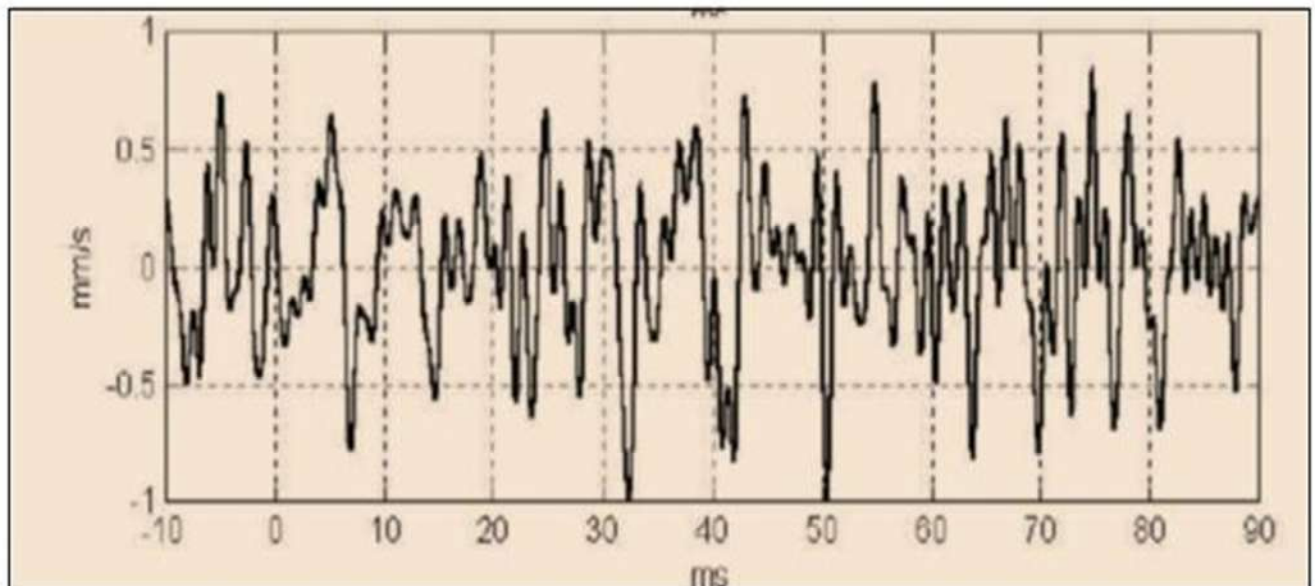


Figure I.2.3: Vibration Aléatoire[17]

I.2.4 Méthodes d'étude des vibrations :

Une onde vibratoire peut être étudiée par plusieurs méthodes qui correspondent à des niveaux différents de connaissance du phénomène et à l'utilisation de matériels d'analyse plus ou moins sophistiqués :

- ❖ Mesure de la valeur globale.
- ❖ Technique de résonance.
- ❖ Analyse spectrale.

a- Mesure de la valeur globale :

La mesure de la valeur globale est une méthode approximative d'analyse du signal qui fait abstraction du paramètre fréquentiel pour ne mesurer que l'amplitude évaluée :

- **en valeur crête à crête (1)**, c'est à dire en mesurant l'amplitude maximum de l'onde fondamentale, mesure utile par exemple lorsque le déplacement.

Vibratoire d'une machine est critique en regard des contraintes de charge maximale ou de jeu mécanique.

- **en valeur crête (2)**, mesure intéressante pour indiquer par exemple le niveau d'un choc de courte durée.

- **en valeur efficace (3)**, mesure qui tient compte de l'évaluation de la valeur des composantes harmoniques et directement reliée au contenu énergétique de la vibration [2].

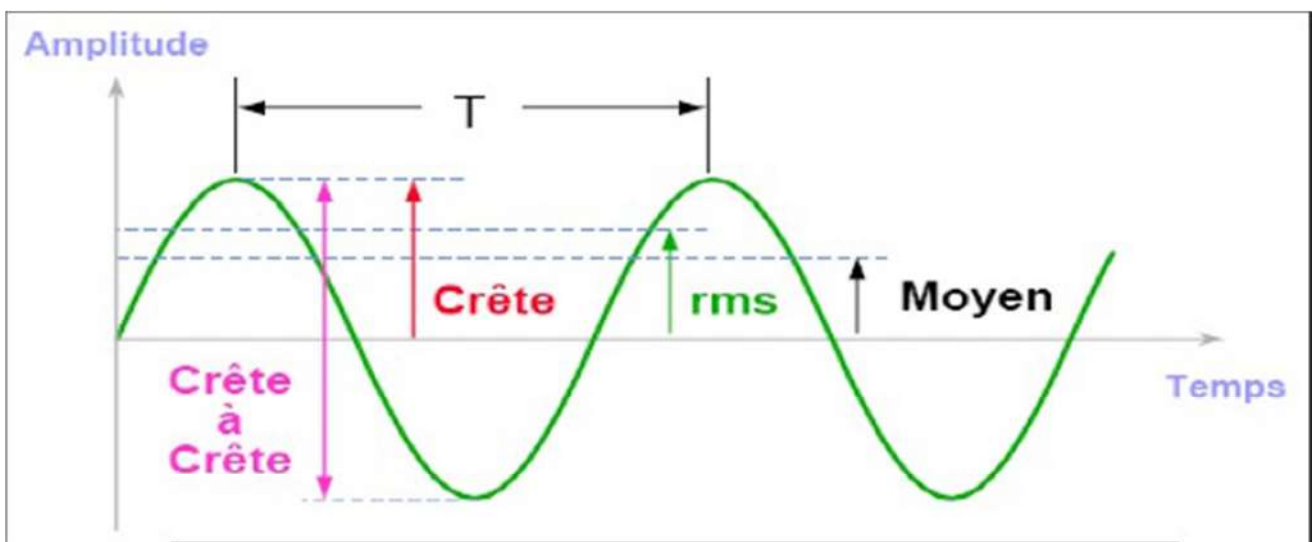


Figure I.2.4: Les modes de détection[2]

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

b- Technique de résonance :

Techniques de résonance utilisées pour le dépistage des défauts de roulements :

Les fréquences engendrées au-delà de 20000 Hz sont des fréquences dues principalement, sur une machine tournante, à un défaut de roulement ou d'engrenage, à l'exclusion des défauts de balourd, désalignement, problèmes électriques, forces hydrauliques et aérodynamiques.

La méthode de mesure par technique de résonance est donc basée sur l'utilisation d'un filtre éliminant les fréquences inférieures à 20000 Hz et d'un capteur de vibrations dont la fréquence propre (ou résonance) est de l'ordre de 30000 Hz et dont on mesure l'excitation, « pointes d'énergie » ou « ondes de choc ». La mesure de l'évolution de cette onde de choc caractéristique des paliers défectueux permet de suivre avec précision l'état d'un roulement sans se préoccuper de la complexité de l'ensemble de la machine.

A noter que cette technique est valable pour des machines relativement calmes comme des moteurs électriques, mais plus aléatoire pour des pompes (qui ont des turbulences à hautes fréquences et des cavitations) ou pour des boîtes de vitesses complexes dont les harmoniques d'engrènement sont à haute fréquence [7].

c- Analyse spectrale (ou analyse en fréquence) :

Comme nous l'avons vu, dans la plupart des mesures de vibrations, il est beaucoup plus aisé de travailler dans le domaine des fréquences que dans le domaine des temps. De ce fait est née l'idée de l'analyse en fréquence (spectrale) où le signal amplitude/temps est converti en signal amplitude/fréquence. Le spectre, outil de cette analyse [9].

I.2.5 Les grandeurs mesurées :

Une vibration mécanique peut être mesurée selon les trois grandeurs suivantes

- ❖ Déplacement $S(t)$.
- ❖ Vitesse $V(t)$.
- ❖ Accélération $A(t)$.

Relations entre A, V et S :



$$\frac{V}{\omega} = \frac{A}{\omega^2}$$

$$V = S \cdot \omega = \frac{A}{\omega}$$

$$A = V \cdot \omega = S \cdot \omega^2$$

L'équation montre que l'on choisira préférentiellement :

- La grandeur déplacement pour détecter des phénomènes à basse fréquence ($\omega = 2\pi f$ petit)
- La grandeur accélération pour détecter des phénomènes à haute fréquence ($\omega = 2\pi f$ grand)
- La grandeur vitesse pour détecter des phénomènes se situant dans une large gamme de fréquence ($\omega = 2\pi f$ moyen).[2]

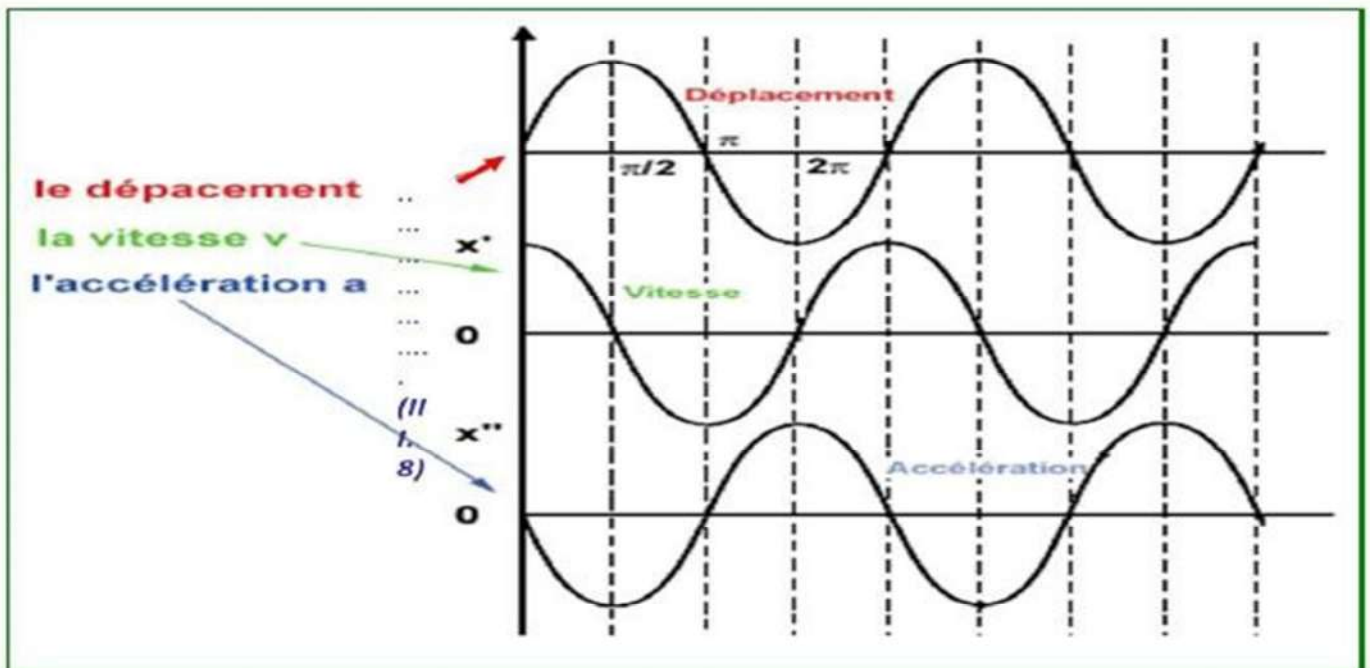


Figure I.2.5: Les grandeurs de mesure[17]

I.2.6 Origines des vibrations des machines :

Les vibrations de la machine ont trois origines principales [10] :

- Vibrations des machines voisines :

Le sol et les socles de fixation peuvent transmettre les vibrations d'une machine à l'autre. Si l'on arrête la machine voisine mise en cause, le pic spectral disparaît.

- Vibrations d'origine électrique :

Les vibrations des parties métalliques du stator et du rotor sous l'excitation des champs électromagnétiques qui produisent des pics à des fréquences égales à celle du secteur et à ses harmoniques.

L'augmentation de ces pics peut être le signe de la dégradation du moteur (par exemple variation de l'entrefer). Ces pics disparaissent bien évidemment avec la coupure du courant.

- Résonance de la structure ou du rotor :

Chaque sous-ensemble de la machine possède une fréquence propre de résonance qui est fonction de paramètres multiples tels que la rigidité, la masse, la forme géométrique.

Si une excitation quelconque possède une fréquence voisine de celle de la résonance, un pic apparaît dans le spectre.

Les machines sont toujours conçues pour que ces fréquences de résonance ne se rencontrent que dans les régimes transitoires et non au régime de fonctionnement

I.2.7 Les différentes représentations du signal :

Un signal est une fonction qui véhicule des informations. Ce terme est utilisé dans tous les domaines qui traitent de la transmission de données. Ce signal est usuellement représenté comme une fonction continue [17].

- Représentation temporelle :

La représentation temporelle est une manière de visualiser un signal ou un phénomène physique en fonction du temps. Elle montre comment une grandeur (comme une vibration, une tension, un déplacement, etc.) évolue au fil du temps.

Forme typique :

- Axe horizontal : le temps (en secondes, millisecondes, etc.)
- Axe vertical : l'amplitude ou la valeur mesurée du signal

C'est une représentation en amplitude en fonction du temps :

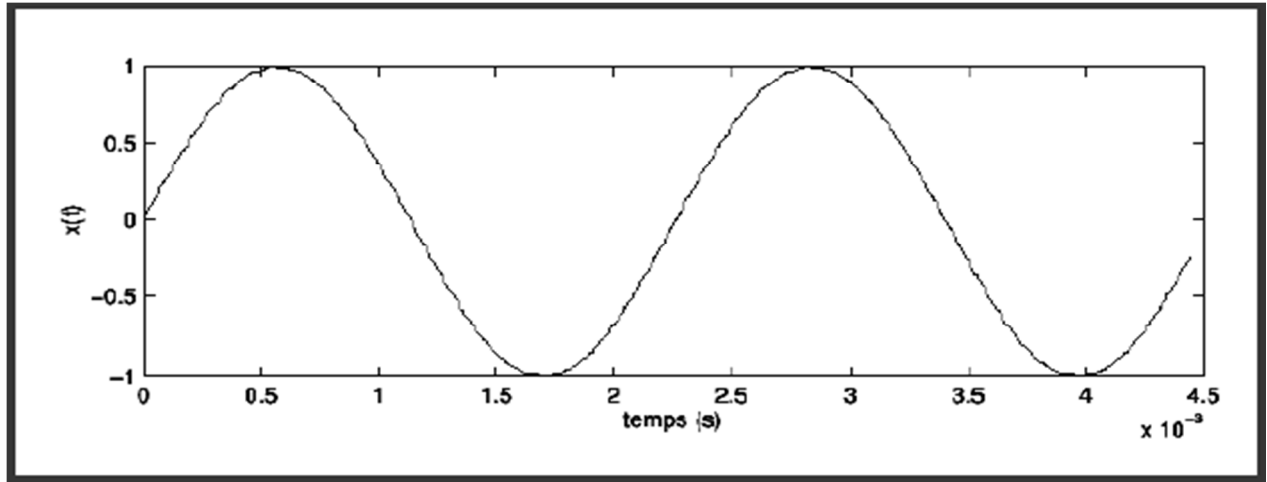


Figure I.2.6: Représentation temporelle[17]

- Représentation spectrale (ou fréquentielle) :

La représentation spectrale, aussi appelée représentation fréquentielle, est une manière de décrire un signal en fonction de ses composantes en fréquence, plutôt qu'en fonction du temps.

Au lieu de montrer comment un signal varie dans le temps (comme dans un graphique classique en "temps réel"), cette représentation indique quelles fréquences sont présentes dans le signal et avec quelle intensité (amplitude) [17].

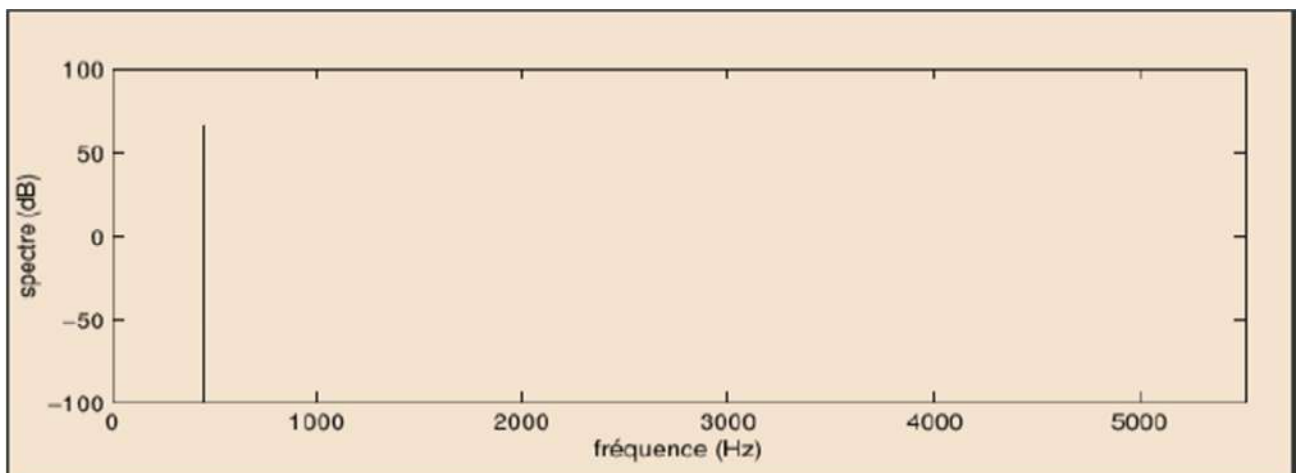


Figure I.2.7: Représentation fréquentielle[17]

L'échelle logarithmique est particulièrement intéressante pour décrire les amplitudes car elle présente une particularité de dilater les bas niveaux et de compresser les hautes. Ce qui est nécessaire pour visualiser sur un même diagramme des composantes dont le rapport des amplitudes peut atteindre un facteur 1000.

I.2.8 Le matériel utilisé (Chaîne de mesure) :

La chaîne de mesure doit remplir les fonctions suivantes [17] :

- Transformer la vibration mécanique en signal électrique. C'est le rôle du capteur dont le signal sera éventuellement amplifié pour le rendre exploitable.
- Transmettre le signal ou le mettre en mémoire. C'est le rôle des appareils d'enregistrement ou des appareils de numérisation du signal.
- Analyser le signal. C'est le rôle de l'analyseur.

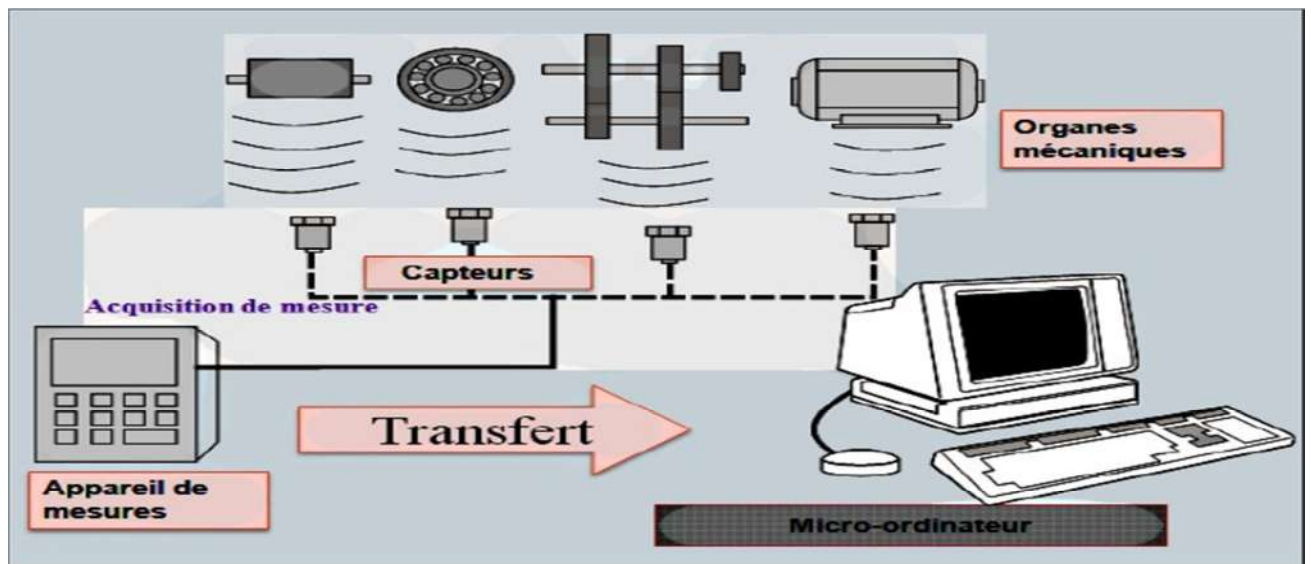


Figure I.2.8: Chaîne de mesure[17]

I.2.8.1 Les capteurs :

Selon la gamme des fréquences étudiées ils doivent mesurer soit le déplacement, soit la vitesse ou l'accélération.

Il existe des capteurs spécifiques à chacun de ces paramètres mais l'accéléromètre ou capteur d'accélération est le type de sonde le plus utilisé en raison de sa large gamme de fréquences d'utilisation (il peut mesurer un déplacement ou une vitesse) et de ses faibles dimensions [17].

a- Les capteurs de déplacement (Proximètres) :

Les proximètres ou capteurs de déplacement, mesurent la distance entre la surface surveillée (généralement celle d'un arbre tournant) et l'élément détecteur du capteur.



Figure I.2.9 : Proximètres[17]

Il existe trois types de ce capteur :

- Inductif
- Capacitif
- A courant de Foucault

Mais aujourd'hui, les plus utilisés, sont des capteurs inductifs à courants de Foucault. Ils sont constitués d'une bobine parcourue par un courant électrique "hautes fréquences", Le champ magnétique ainsi crée induit à la surface de l'arbre, des courants appelés courants de Foucault provoquent une variation d'impédance de bobine qui se transforme en :

- Tension continue proportionnelle à la distance moyenne entre l'arbre et le capteur (composante statique).
- Tension alternative proportionnelle aux écarts de distance par rapport à la distance moyenne (composante dynamique).

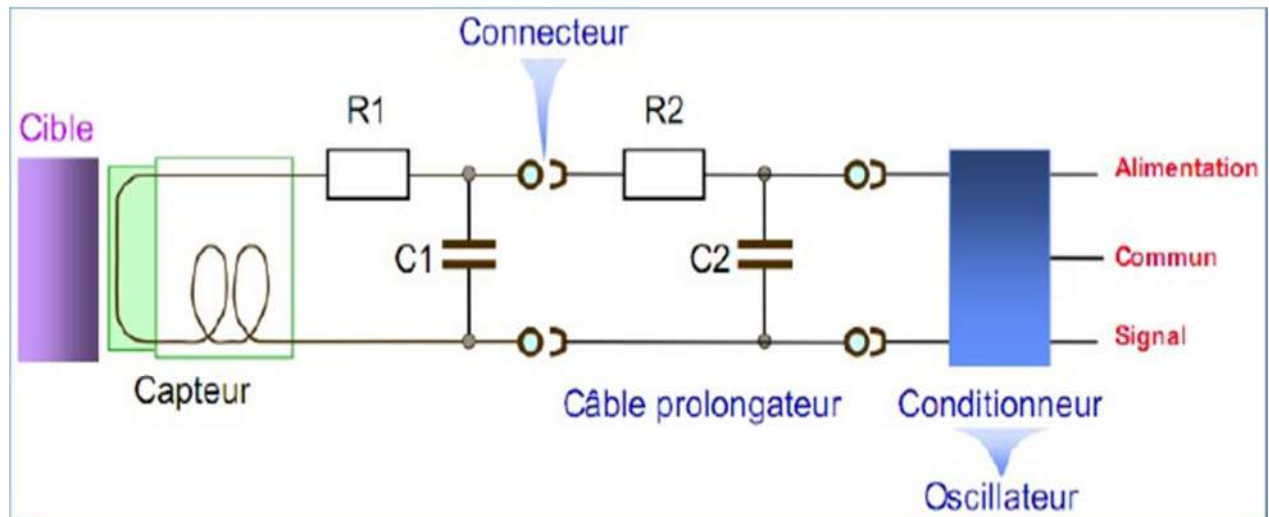


Figure I.2.10 : Schémas de chaîne de mesure à courant de Foucault [11]

Ces capteurs sont toujours montés à demeure sur les paliers et leur mise en place nécessite beaucoup de soin. En effet ils sont sensibles, car leur emploi est limité à la surveillance des défauts se manifestants aux basses fréquences, C'est-à-dire dont la fréquence des composantes vibratoires induites n'excède généralement pas trois à cinq fois la fréquence de rotation [17].

- Le principe de mesure à courant de Foucault présente généralement une plage de réponse en fréquence allant de 0 à 1 000 Hz.

b- Les capteurs de vitesse (Vélocimètres) :

Parmi tous les systèmes physiquement susceptibles de mesurer une vitesse de vibration, le principe électrodynamique est le plus robuste et le plus facile à mettre en œuvre. Par ailleurs, il est particulièrement adapté aux machines à moyenne vitesse de rotation.

Ils sont constitués d'une masse sismique reliée au boîtier par un ressort et solidaire d'une bobine qui se déplace dans un champ magnétique permanent créé par un barreau aimanté. Le mouvement de la bobine, induit par la vibration du palier sur lequel est fixé le capteur, génère une tension proportionnelle à la vitesse du mouvement de la bobine [17].

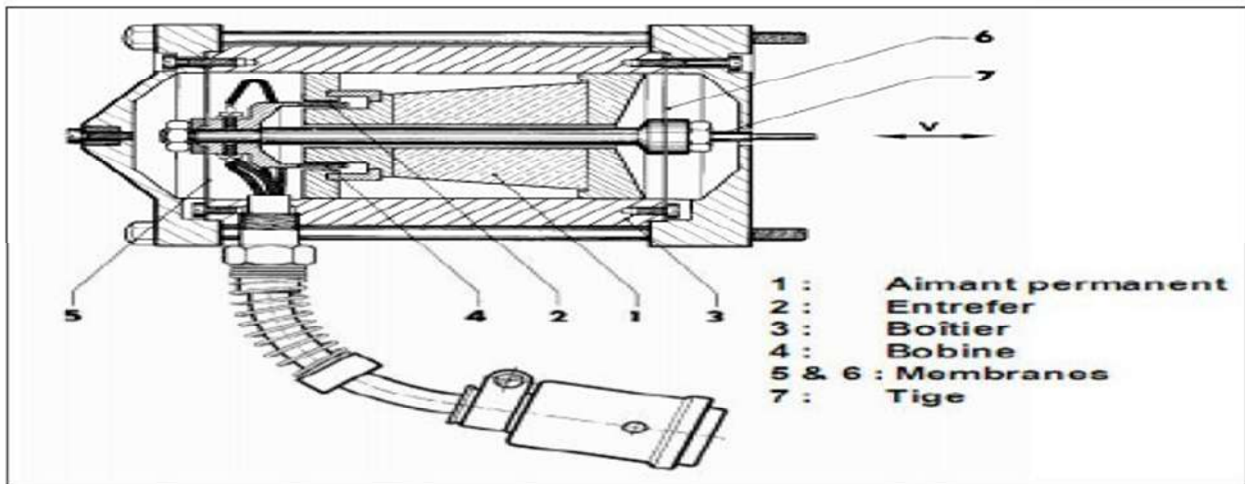


Figure I.2.11 : Vélocimètre fonctionnant selon le principe électrodynamique [11]

- Les plages de travail en fréquence des différents capteurs sont fonction de leurs caractéristiques. Les plages typiques sans linéarisation sont : 10 à 2000 Hz et 20 à 2000 Hz.

c- Les capteurs d'accélération (Accéléromètre) :

Les accéléromètres piézoélectriques tendent à devenir les capteurs de vibration absolue les plus utilisés pour la surveillance des machines tournantes. Leur principe de fonctionnement repose sur la propriété des matériaux piézo-électriques, à savoir générer une charge électrique proportionnelle à la contrainte de compression ou de cisaillement que les matériaux subissent.

Ils sont composés d'un disque en matériau piézoélectrique qui joue le rôle d'un ressort sur lequel repose une masse sismique précontrainte. Quand la masse se déplace sous l'effet d'une accélération, elle exerce sur le disque piézoélectrique des contraintes, induisant à la surface de ce dernier une charge électrique proportionnelle à cette accélération [17].

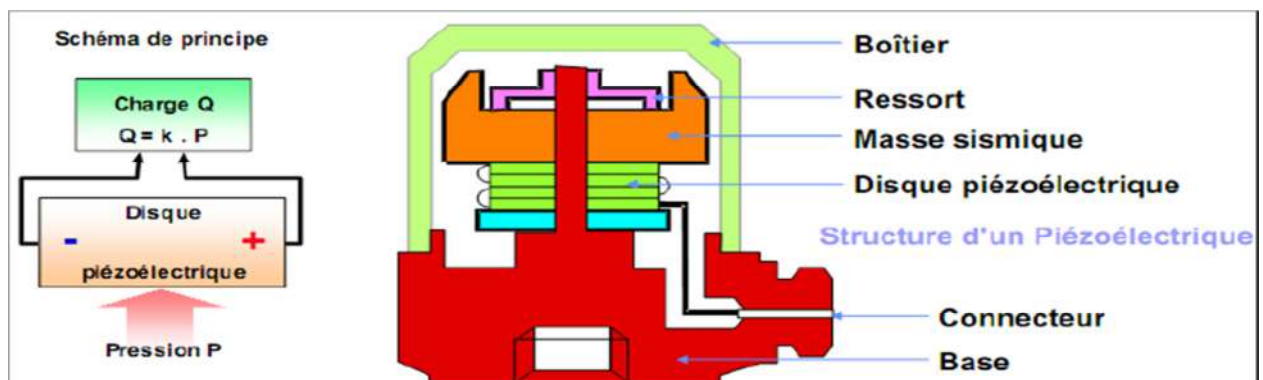


Figure I.2.12: Accéléromètre (principe piézoélectrique)[11]

- La plage de fréquence utilisable linéairement est égale à environ un tiers de la fréquence de résonance du capteur. En général, la plage de linéarité typique est de [0 à 20000] Hz.

I.2.8.2 Les enregistreurs :

Les enregistreurs de vibrations sont des dispositifs ou instruments utilisés pour mesurer, enregistrer et analyser les vibrations émises par des machines, des structures ou des environnements. Ils jouent un rôle essentiel en maintenance prédictive, en ingénierie et en contrôle de la qualité [14].



Figure I.2.13 : Enregistreur de données de vibration [14]

I.2.8.3 Les analyseurs :

Les analyseurs de vibrations sont des instruments électroniques ou logiciels utilisés pour mesurer, enregistrer et surtout interpréter les vibrations émises par des machines ou des structures. Contrairement aux simples enregistreurs, ils permettent une analyse approfondie des signaux vibratoires afin de détecter, localiser et diagnostiquer des défauts mécaniques [6].

a- Appareils de mesure globale :

Lorsqu'on effectue une mesure globale, la fonction de l'analyseur est assez sommaire. En effet, il se borne, dans ce cas, à donner une valeur crête ou une valeur efficace de l'amplitude du signal mesuré.

b-Appareils à filtre accordable :

Ce type d'appareil donne des mesures filtrées sur une gamme de fréquence choisie. De ce fait, on peut avoir une idée approximative de la forme du spectre. Pour diminuer la durée d'exploitation de la gamme complète des fréquences, on utilise des filtres passe-bande à pourcentage constant plutôt que les filtres à largeur constante.

c-Filtre à pourcentage constant:

Sa largeur est proportionnelle à la fréquence moyenne d'accord. Un filtre à 4% aura par exemple une largeur de bande passante de 4 Hz pour une fréquence centrale de 100 Hz et de 40 Hz pour une fréquence centrale de 1000 Hz.

Ce type de filtre permet de scruter beaucoup plus rapidement les hautes fréquences, mais ne permet pas, généralement, de déceler les bandes latérales significatives des défauts d'engrènement, du fait de la largeur de bande trop importante.

d-Filtre à largeur de bande constante:

Ce type de filtre comme son nom l'indique possède une largeur constante. Il présente l'inconvénient de nécessiter beaucoup de temps pour couvrir les hautes fréquences.

I.2.9 Les points de mesure :

L'implantation de l'accéléromètre sur les machines est, elle aussi, très importante. Chaque campagne de mesures doit être effectuée en des points précis et toujours les mêmes. On essaiera toujours de rapprocher le plus possible les points de mesures des paliers. Cela permet d'obtenir les images les plus fidèles des défauts mécaniques.

Pour avoir une image complète des vibrations (en trois dimensions), il faut prendre les mesures selon trois directions perpendiculaires sur chaque palier de la machine surveillée : deux directions radiales (horizontale et verticale) et une direction axiale.

La plupart des vibrations de machines sont issues des parties tournantes ou oscillantes. Elles peuvent être d'origine mécanique, électromagnétique, hydraulique, etc..... Elles sont transmises à la structure par l'intermédiaire des paliers, et aux fondations par l'intermédiaire des fixations [11].

1-Mesure sur palier :

Cet emplacement est séduisant, car le montage du capteur absolu est facile. Le palier lui-même est un système élastique ayant une fréquence propre ; il sera excité par les forces tournantes fournies par l'arbre et son état vibratoire sera une indication sur la façon dont se comporte la machine.

Selon les points de mesure choisis, on effectue des relevés dans les directions :

- Dans un plan vertical passant par l'arbre (V).
- Dans un plan horizontal passant par l'arbre (H).
- Dans le sens axial (A).

Si certaines directions ne sont pas accessibles, on choisit celles qui donneraient le niveau vibratoire le plus élevé [11].

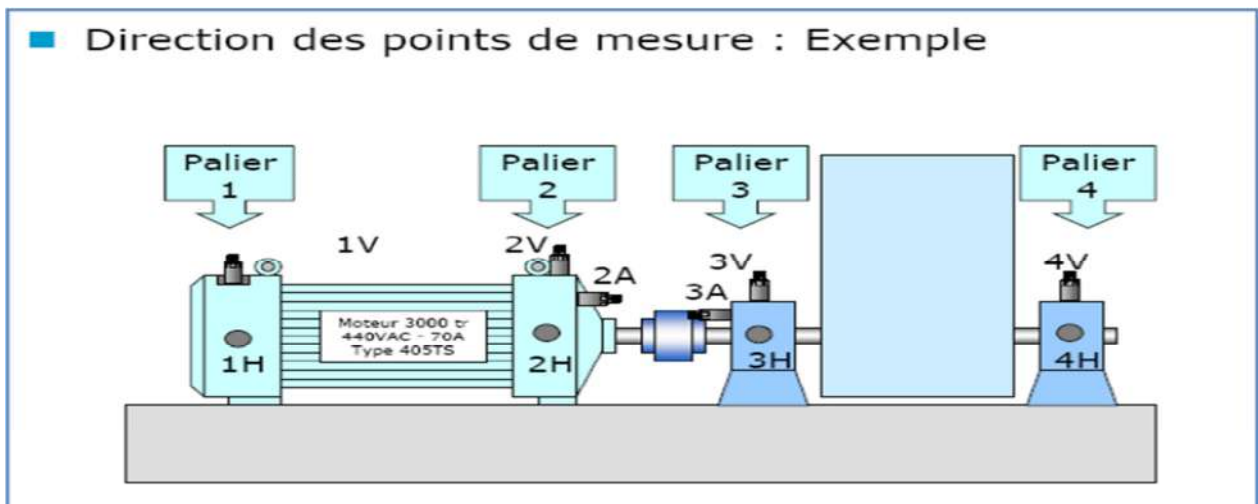


Figure I.2.14 : Points de mesure d'un ensemble moteur + pompe [11]

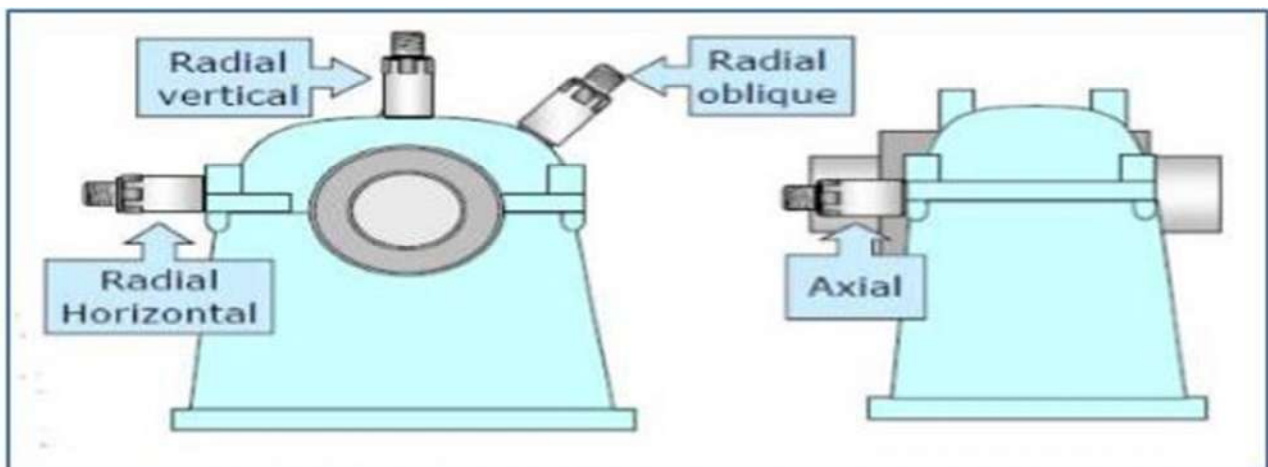


Figure I.2.15: Points de mesure sur un palier[11]

2-Mesure sur l'arbre :

On peut par des mesures de vibrations en différents points, avoir une idée sur les jeux et juger ainsi du danger représenté par ces vibrations.

Les mesures sur l'arbre sont entachées d'un certain nombre d'erreurs, par exemple :

- Le faux rond de l'arbre au mm/s.
- Le niveau parasite très important.
- Le déplacement de centre de l'arbre dans les coussinets du palier sous l'effet des forces tournantes.

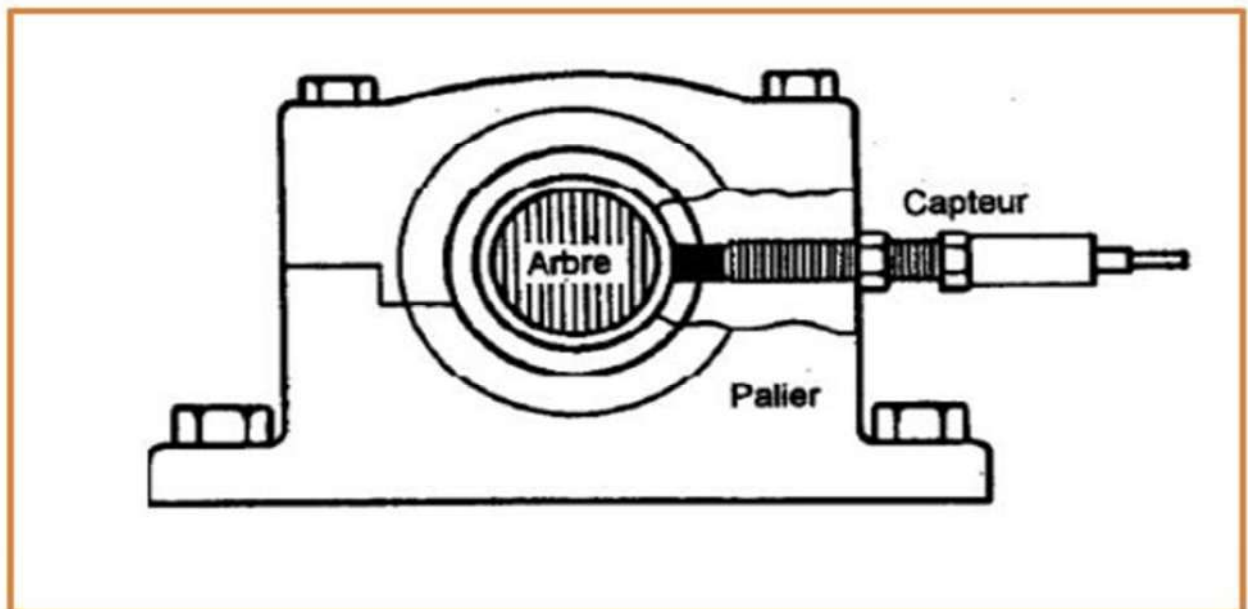


Figure I.2.16: Points de mesure sur un arbre.[1]

I.2.10 Consigne 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 I.2.17.**

-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 I.2.18.**

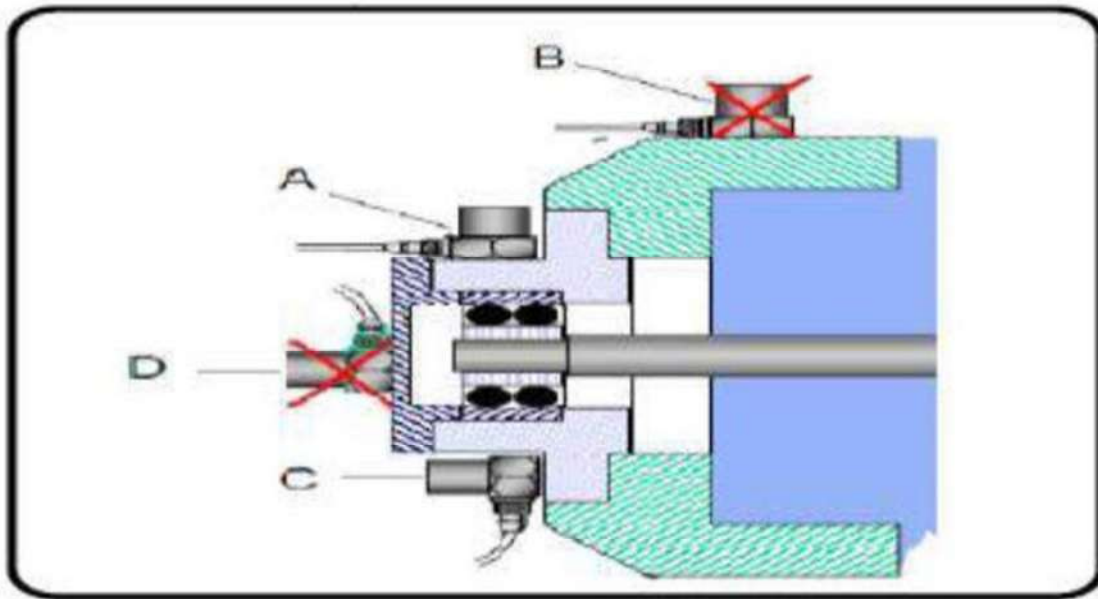


Figure I.2.17: Choix de l'emplacement de capteur[1]

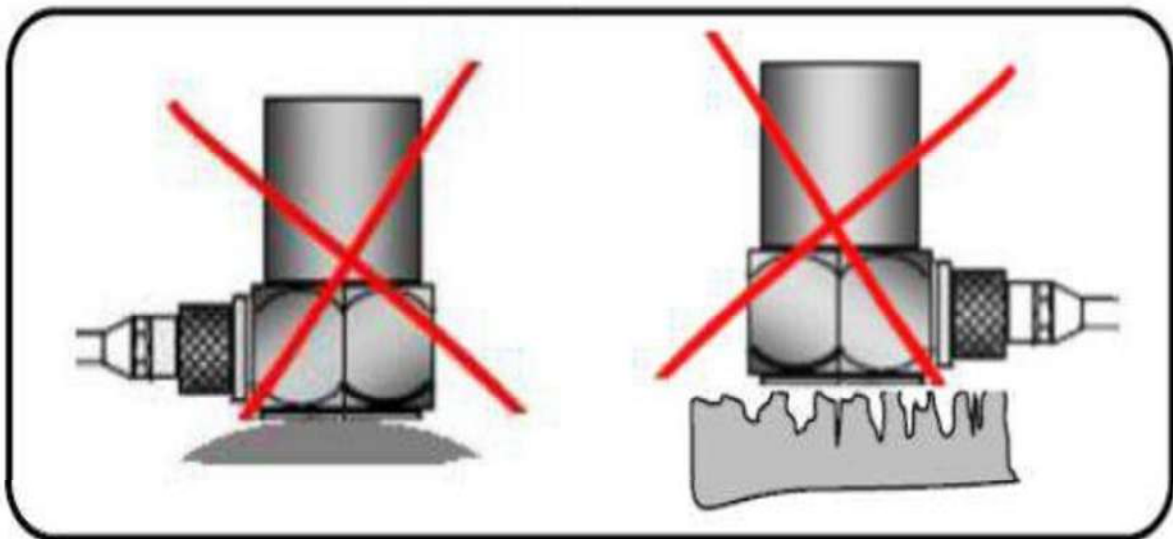


Figure I.2.18: Les surfaces de contact avec les capteurs Doivent être lisses et planes [1]

I.2.11 Conclusion :

Le principe de l'analyse des vibrations est basé sur l'idée que les structures de machines, excitées par des efforts dynamiques, donnent des signaux vibratoires dont la fréquence est identique à celle des efforts qui les ont provoqués ; et la mesure globale prise en un point est la somme des réponses vibratoires de la structure aux différents efforts excitateurs. On peut donc, grâce à des capteurs placés en des points particuliers, enregistrer les vibrations transmises par les structures de la machine et, grâce à leur analyse, Identifier l'origine des efforts auxquels elle est soumise. De plus, si l'on possède la « signature » vibratoire de la machine lorsqu'elle était neuve, ou réputée en bon état de fonctionnement, on pourra, par comparaison, apprécier l'évolution de son état ou déceler l'apparition d'efforts dynamiques nouveaux consécutifs à une dégradation en cours de développement.

Chapitre II :

Entreprise visite

II.1 Introduction :

Le Groupement TOUATGAZ, association entre SONATRACH et Eni, dont le siège social est établi à la Zone Industrielle n°1 Oued Zine, BP 54/239, commune d'Adrar, wilaya d'Adrar, en Algérie.

Situation : Algérie, Sud-Ouest, à environ 1450 km d'Alger (blocks d'exploration 352a et 353) [15].

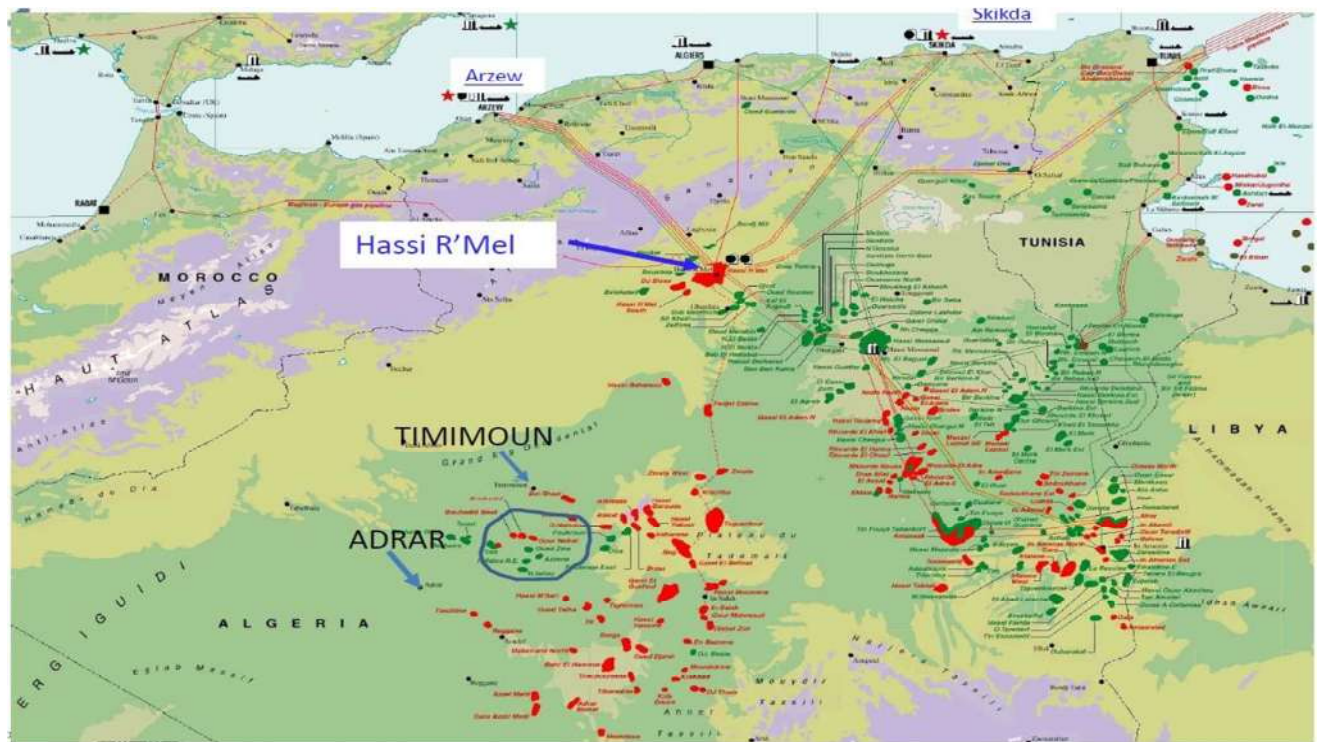


Figure II.1: localisation site TOUATGAZ[15]

II.2 Rôle du CPF :

- Collecter et traiter le gaz naturel brut provenant des puits des blocs d'exploration 352a et 353 pour l'amener aux spécifications commerciales et l'exporter vers le réseau de transport de Sonatrach (GR5) [16]
- Extraire le condensat, (partie lourde du gaz brut) le stabiliser et l'exporter par camions citerne vers le centre de stockage et dispatching de SONATRACH (Hassi R'Mel) [16]

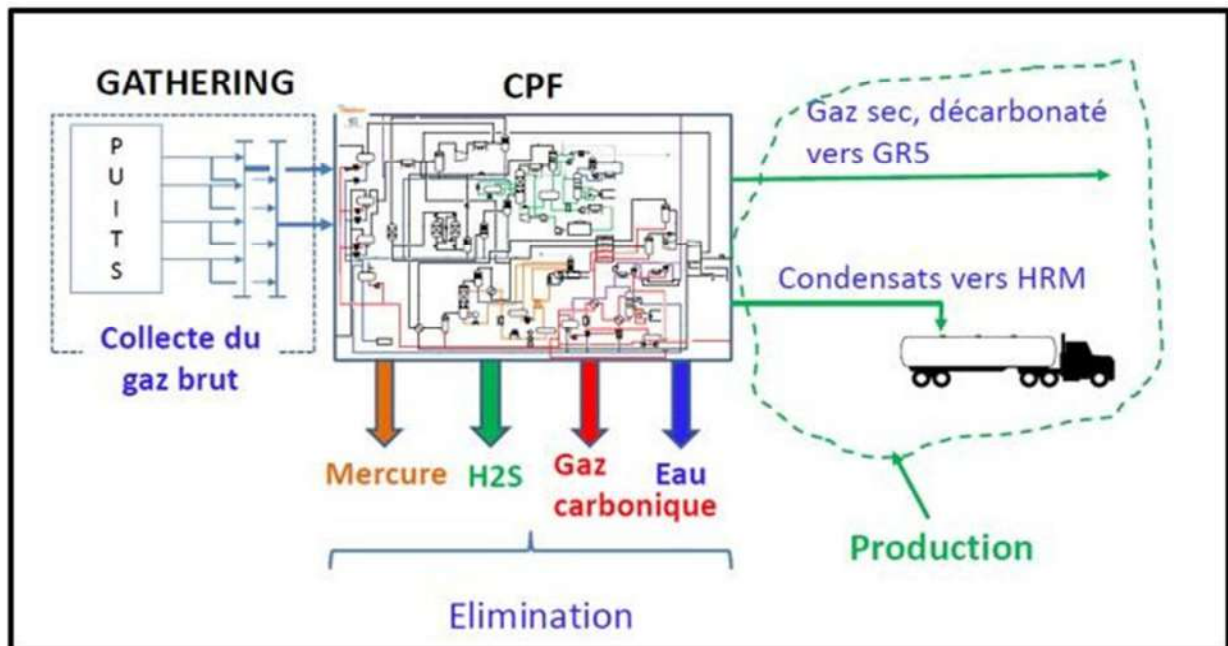


Figure II.2: Étapes de traitement[15]

II.3 Le traitement du gaz naturel [16] :

a-L 'élimination du mercure (Hg) :

Le mercure est éliminé du gaz brut car, en milieu humide, il attaque les échangeur de chaleur en aluminium (boîte froide de l'unité dedew painting).

b-L 'élimination de l'hydrogène sulfuré (H₂S) :

H₂S est éliminé du gaz brut car il provoque la corrosion acide des équipements.

c-L'élimination du CO₂ :

En milieu humide, la présence de CO₂ provoque une corrosion lente des canalisations et équipements.

Pour un gaz > 3 % de CO₂, la diminution moyenne théorique d'épaisseur d'une canalisation est de l'ordre de 3 μ (microns) par an.

Aussi, à basse température, le CO₂ provoque le bouchage des équipements en aval.

d- L'élimination de l'eau

La présence d'eau dans le gaz se transforme, sous certaines conditions de température et de pression, en hydrates (mélange d'hydrocarbures et d'eau) qui peuvent provoquer des bouchages sur les équipements en aval fonctionnant à basse température.

II.4 Capacité :

- Gaz naturel traité : 12,95 Millions Contrat m³/jour
- Condensat : 189 T/j

- Capacité de production des puits :

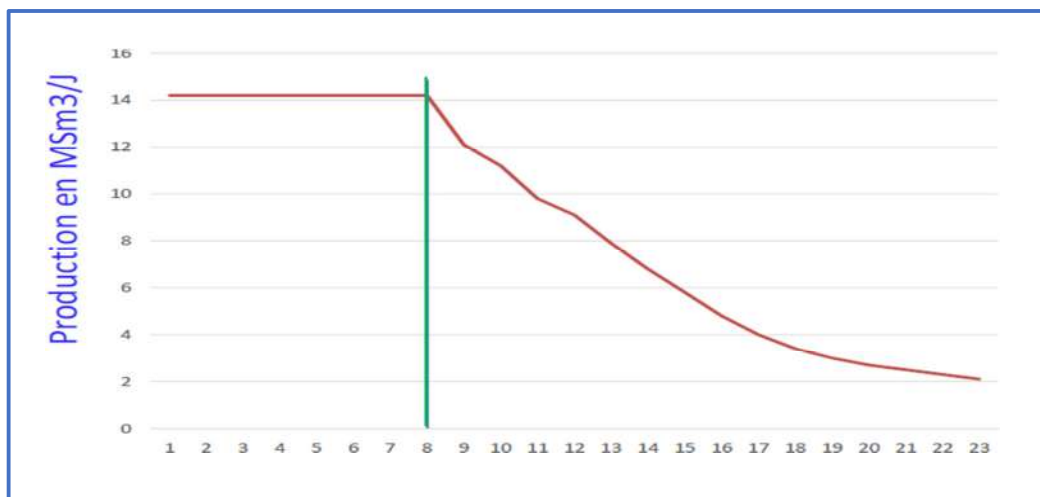
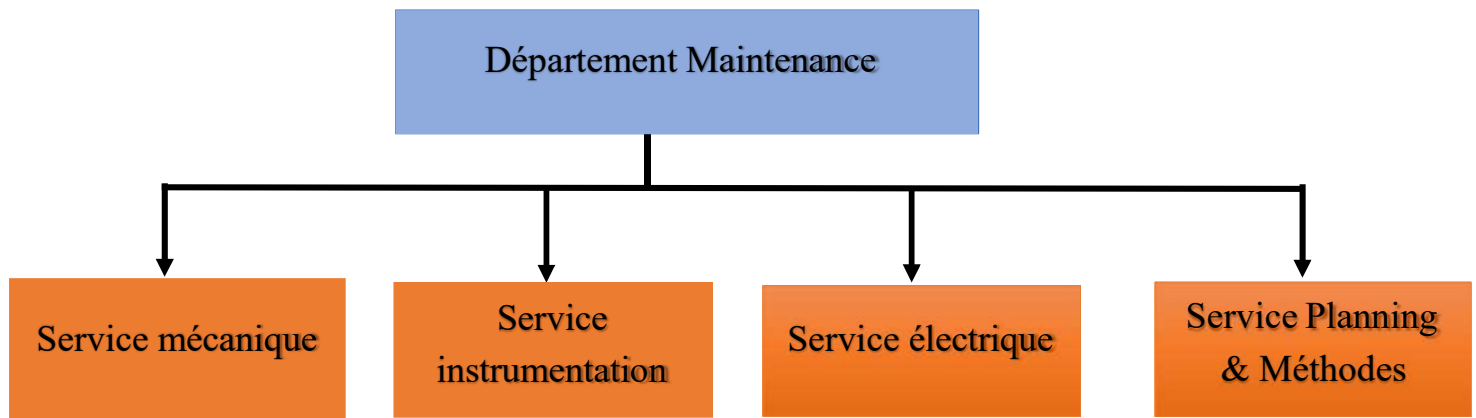


Figure II.3: Capacité de production des puits[15]

II.4 Les différentes unités :

- La réception du Gaz naturel dans l'unité 100
- La compression du gaz naturel dans l'unité 101
- L'élimination du mercure (Hg) et de l'hydrogène sulfuré (H₂S) dans l'unité 102.
- L'élimination du dioxyde de carbone (CO₂), appelé aussi gaz carbonique dans l'unité 103
- L'élimination de l'eau dans l'unité 104
- La séparation des condensats et l'ajustement du point de rosée dans l'unité 105[15]

II.5 Organigramme du Département Maintenance :



II.6 Rôle du Service Mécanique :

Le service mécanique est chargé de garantir le bon fonctionnement, la fiabilité et la disponibilité des équipements mécaniques de l'installation. Il intervient sur tous les systèmes mécaniques afin de prévenir les pannes, d'assurer la sécurité des opérations et d'optimiser les performances de production [16].

❖ Activités principales :

1-Maintenance préventive et corrective [16] :

- Réaliser les inspections périodiques, les entretiens planifiés et les réparations des équipements mécaniques.
- Intervenir en cas de dysfonctionnement ou de panne (maintenance curative)

2-Surveillance des équipements [16] :

- suivre l'état des machines (pompes, compresseurs, turbines, vannes, moteurs...).
- Mettre en œuvre des programmes de maintenance conditionnelle et prédictive (vibrations, températures, etc...).

3-Installation et mise en service [16]:

- Participer à l'installation de nouveaux équipements mécaniques.
- Assurer la mise en service dans le respect des normes de sécurité et de performance.

4-Amélioration continue[16] :

- Proposer des améliorations techniques pour augmenter la fiabilité et réduire les coûts de maintenance.
- Participer aux analyses de défaillance (RCA, AMDEC...).

5-Sécurité et conformité [16] :

- Appliquer les consignes HSE lors des interventions.
- Veiller à la conformité des équipements avec les normes en vigueur .

II.7 Exemples de machines tournantes utilisé au niveau du CPF :

Figure II.4: pompe anti incendie 402-PA-002A



Figure II.5: pompe centrifuge 103-PA-023B



Figure II.6: Turbine électrique 300-EG-00046



Figure II.7: Turbo Expandre 105-UK-010

II.8 Conclusion :

La maintenance occupe une place stratégique dans le bon fonctionnement des installations industrielles. Elle ne se limite pas à la simple réparation d'équipements, mais constitue un levier essentiel pour garantir la fiabilité, la disponibilité et la sécurité des moyens de production.

À travers une organisation structurée, des équipes spécialisées (mécanique, électrique, instrumentation), et des outils de planification (méthodes, GMAO), le service maintenance contribue directement à l'optimisation des performances, à la réduction des arrêts non planifiés et à l'amélioration continue des processus.

Chapitre III : **Surveillance et diagnostic des** **défauts**

III-1 Introduction :

Les sources d'excitation vibratoires dans les machines tournantes peuvent être classées en différentes catégories :

- Forces périodiques (balourd)
 - Forces transitoires (variations de charge)
 - Forces impulsionnelles (chocs)
 - Forces aléatoires (frottements)
- Les phénomènes à l'origine des vibrations dépendent de la constitution de la machine et de ses paramètres de fonctionnement.
- Les plus courants sont présentés dans ce chapitre ainsi que leurs manifestations typologiques afin de permettre leur identification et leur suivi dans le cadre d'un programme de maintenance conditionnelle.

III-2 Déséquilibre : défaut de balourd :

III-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. De cette non-concentricité, résulte l'application de forces centrifuges proportionnelle à la vitesse de rotation selon la relation $F = Mr \cdot \omega^2$ qui déforment le rotor. On dit que le rotor présente un balourd [2].

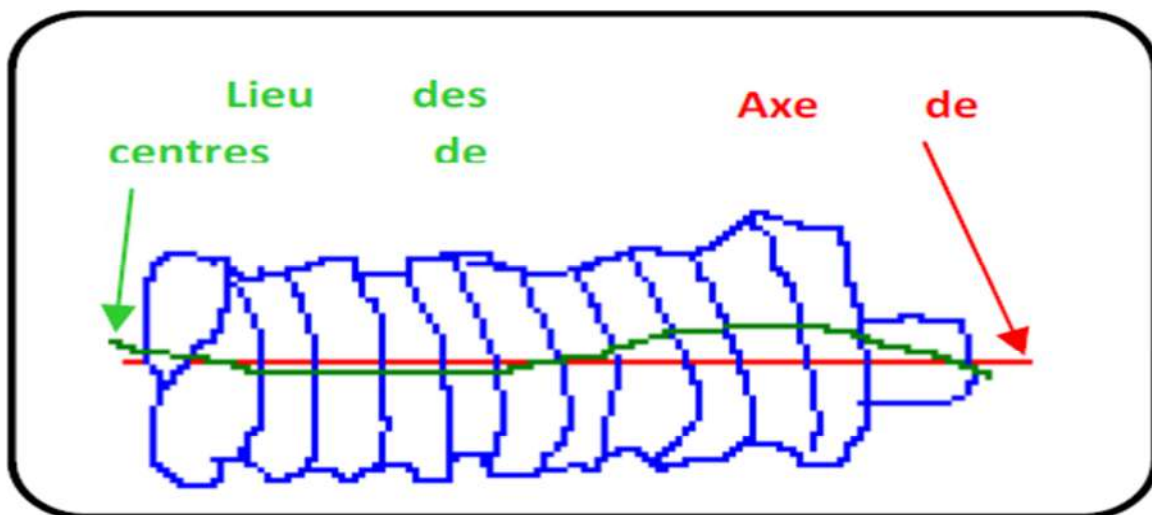


Figure III.1 : Tolérance d'usinage sur un rotor [11]

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
- D'une altération thermique : déformation suite des dilatations différentes des matériaux constituant le rotor ou à des différences de température localisées [1]

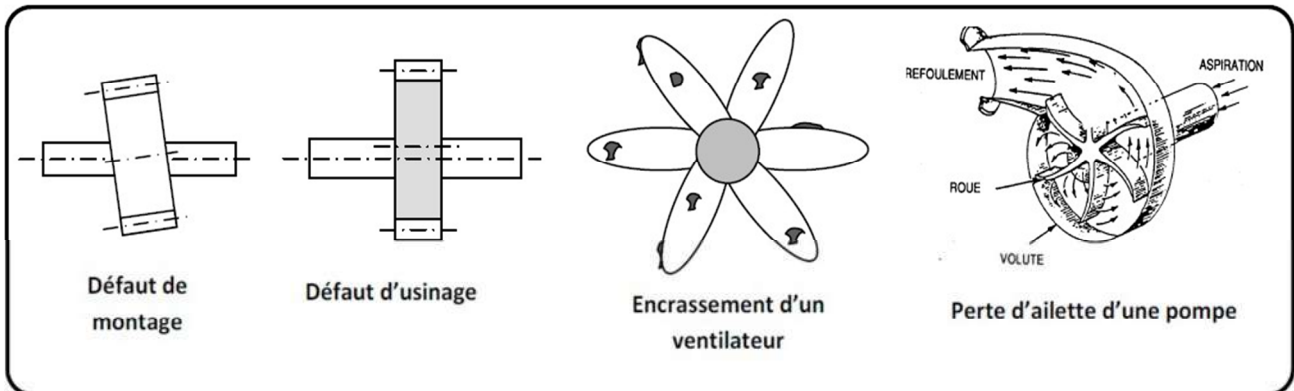


Figure III.2 exemples de défauts induisant un balourd [1]

III.2.2 Mesure :

Généralement, le spectre est issu d'une mesure prise radialement (souvent dans la direction radiale horizontale), excepté pour les rotors en porte-à-faux pour lesquels on peut constater également une vibration dans la direction axiale.[8]

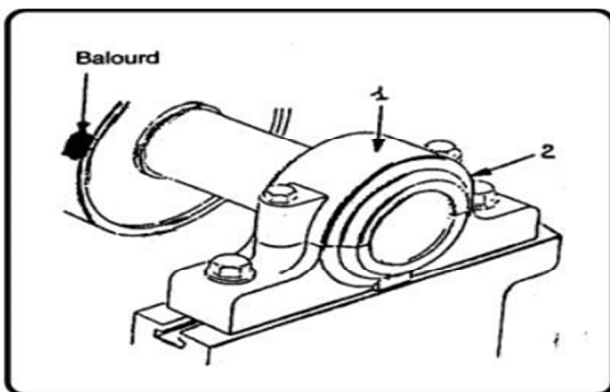


Figure III.3 points de mesure pour
Un défaut de balourd[8]

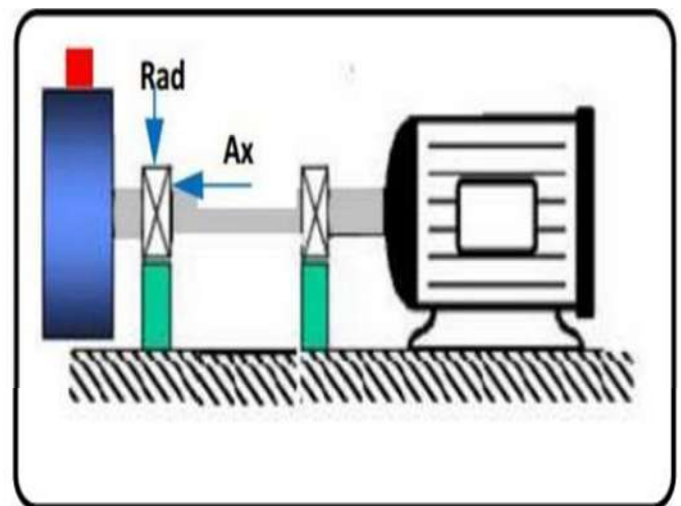


Figure III.4 points de mesure pour
un défaut de balourd sur rotor en
Porte-à-faux[8]

III.2.3. Signature vibratoire :

Si on mesure l'amplitude du signal vibratoire délivré par un capteur placé sur le palier supportant un rotor déséquilibré, 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.[8]

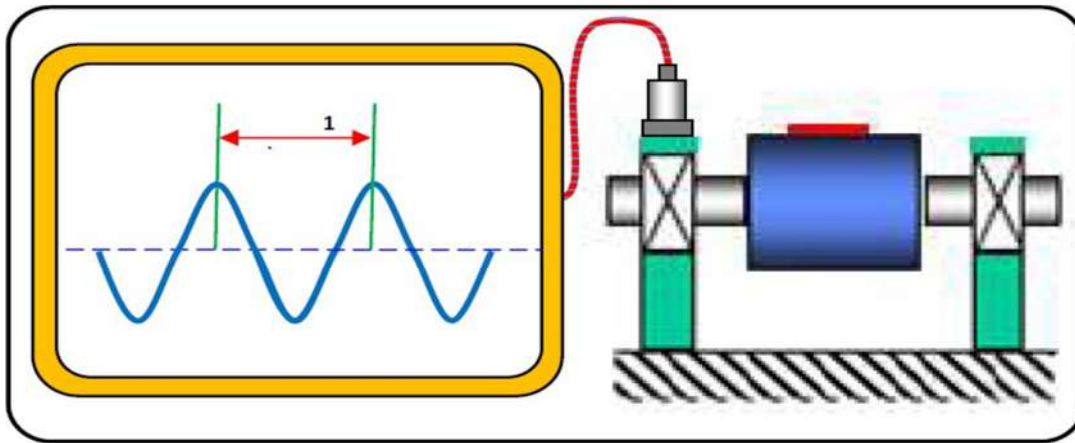


Figure III.5 signal généré par un balourd [8]

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_r . 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.

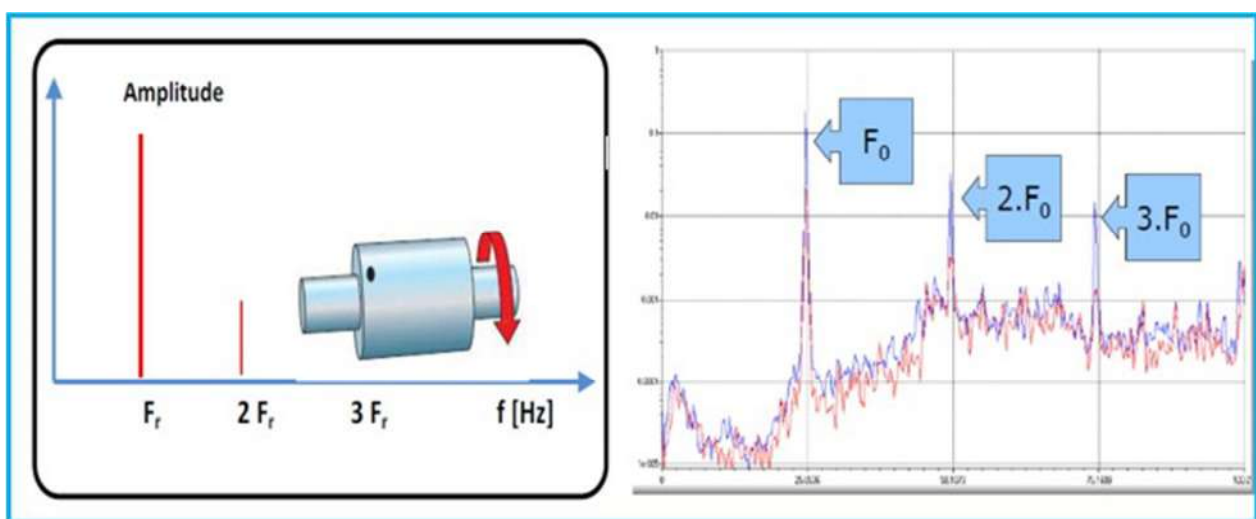


Figure III.6 Spectre d'un défaut de balourd[8]

III.2.4 Balourds statique et dynamique :

Considérons un rotor bien équilibré. Ajoutons en un endroit de ce rotor une masse M (figure III.7). Le rotor présentant un balourd va osciller jusqu'à se placer en "position lourde" vers le bas. Ce déséquilibre agit aussi s'il n'y a pas de rotation ; on l'appelle alors "balourd statique". Les deux paliers supportant le rotor vont subir, en même temps, l'effort centrifuge dû au déséquilibre. Il n'y aura donc aucun déphasage entre les mesures prises au même point sur les deux paliers. Reprenons le cas précédent en remplaçant la masse M par deux masses identiques mais décalées de 180° et placées à chaque extrémité du rotor. Ce déséquilibre agit aussi pendant la rotation ; on l'appelle alors " balourd dynamique ".

Les deux paliers supportant le rotor vont subir les efforts centrifuges de façon alternée. Le déphasage (voisin de 180°) entre les mesures effectuées au même point sur deux paliers consécutifs est donc révélateur d'un balourd dynamique (figure III.7).[1]

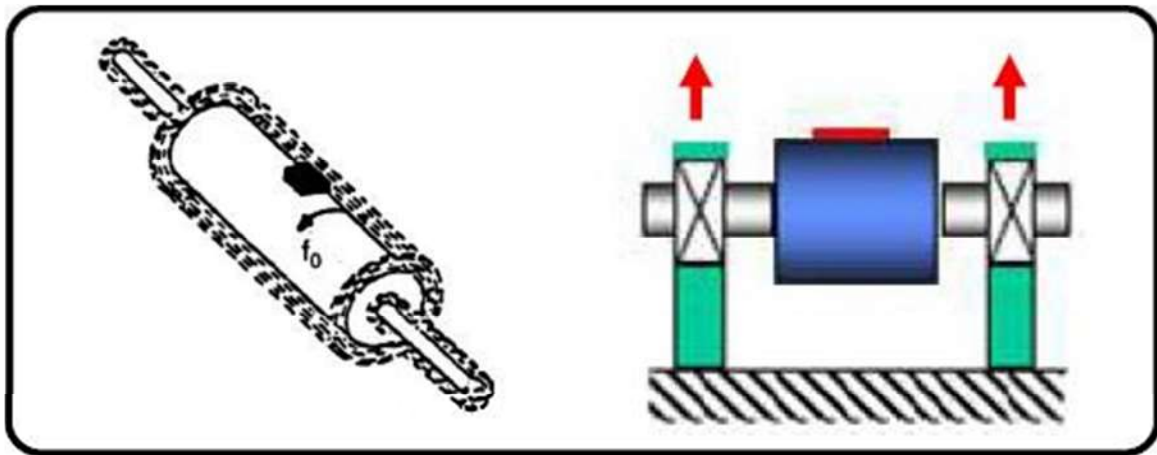


Figure III.7 balourd statique[1]

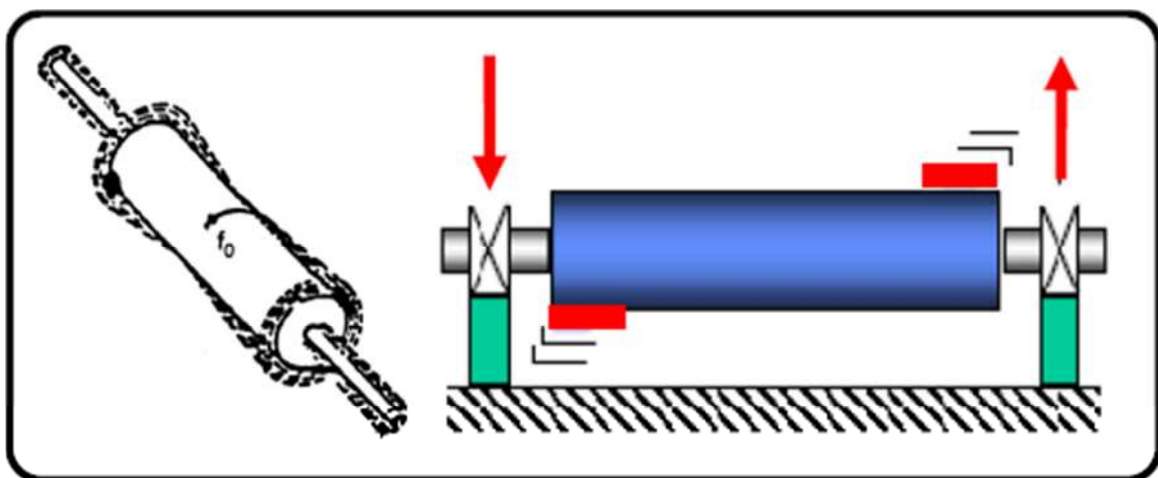


Figure III.8 balourd dynamique[1]

III.3 Défaut d'alignement :

III.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 [1].

III.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 III.9) [8].

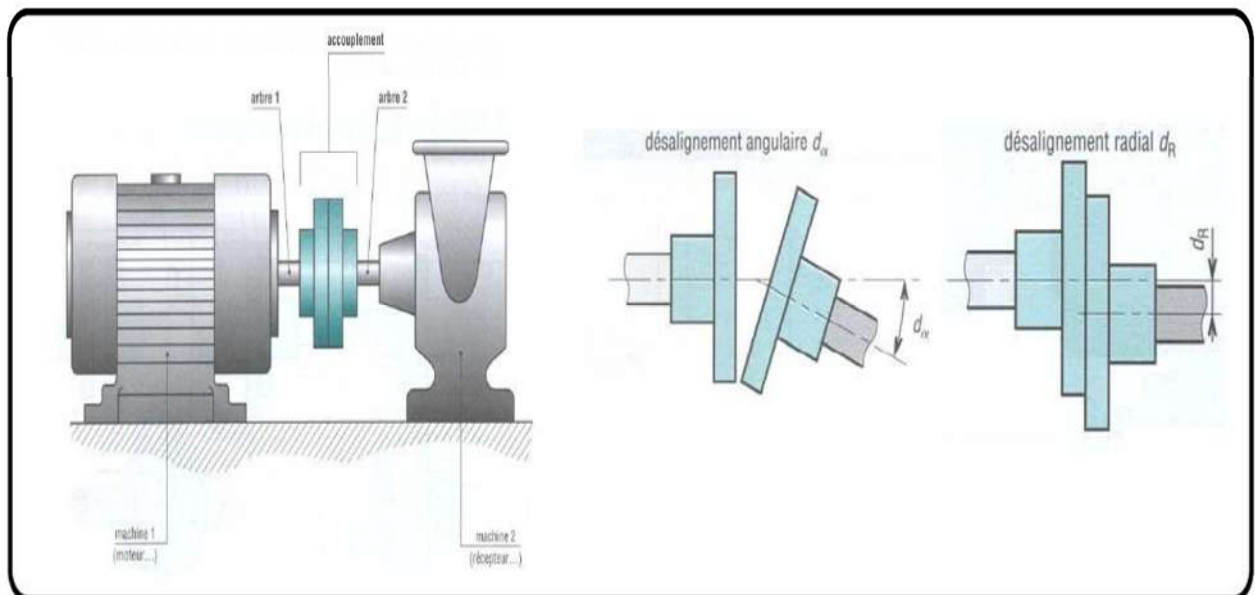


Figure III.9 défauts d'alignement d'arbres [1]

a. Désalignement parallèle :

Définition du désalignement parallèle (auss appelé désalignement latéral) :

Le désalignement parallèle est un type de désalignement mécanique dans lequel les axes de deux arbres restent parallèles, mais ne sont pas colinéaires. En d'autres termes, les arbres sont déplacés latéralement l'un par rapport à l'autre, sans inclinaison angulaire [1]

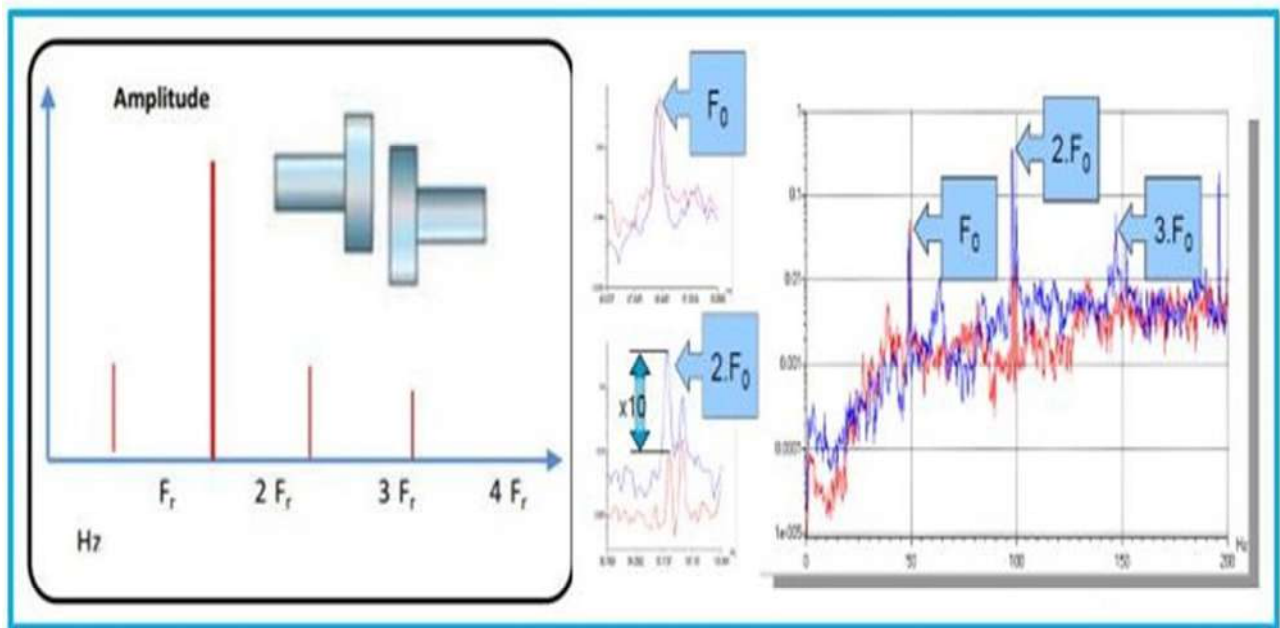


Figure III.10 : image vibratoire d'un défaut d'alignement parallèle [8]

b. Désalignement angulaire :

Le désalignement angulaire est un type de désalignement mécanique où les axes de deux arbres ne sont pas parallèles, mais se croisent en formant un angle. Cela signifie que les arbres ne sont pas orientés dans la même direction, même s'ils peuvent encore se rencontrer à un point au niveau de l'accouplement [1]

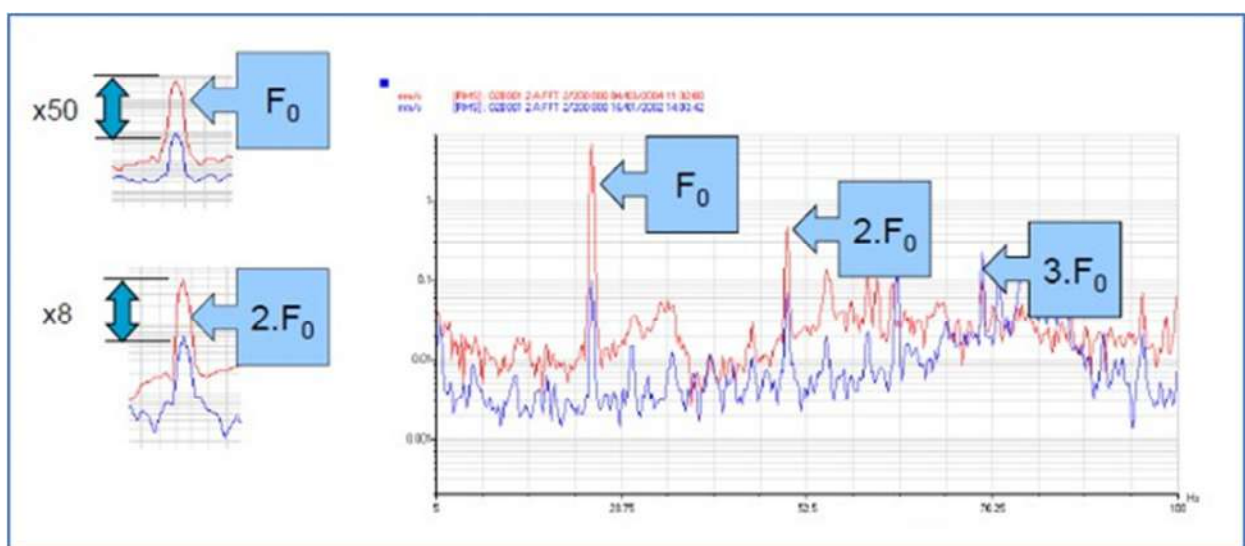


Figure III.11 images vibratoires d'un défaut d'alignement angulaire [1]

III.3.3 Désalignement des paliers :

Les axes des deux paliers d'un même corps de machine ne sont pas concentriques (figure III.12). 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. La manifestation spectrale de ce type de désalignement est identique à celle du désalignement angulaire [11].

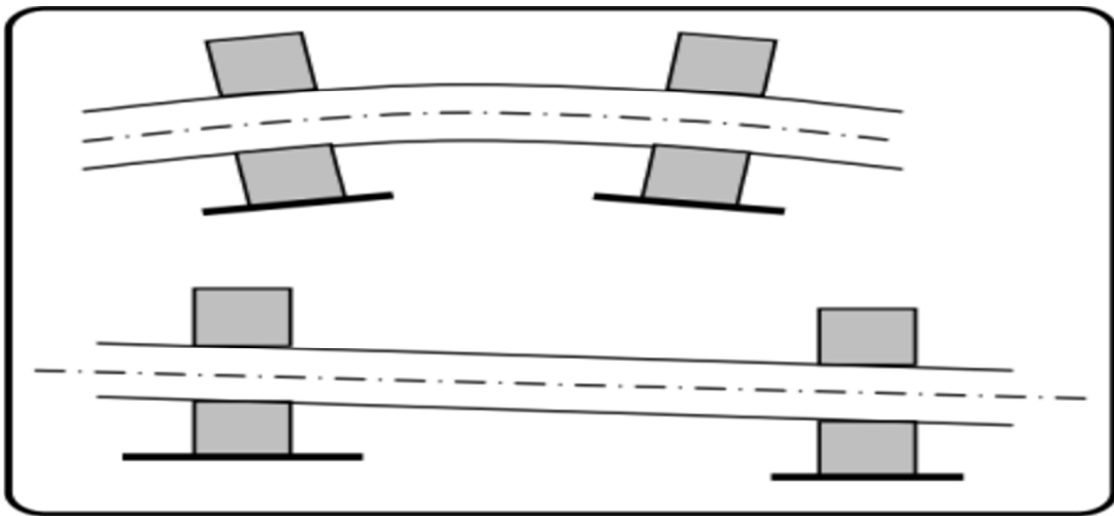


Figure III.12 désalignements de paliers se traduisant par une flexion de l'arbre [11]

III.4 Frottement, desserrage, fissuration et jeux :

Ce défaut peut présenter plusieurs images caractéristiques. Il fait ressortir la fréquence fondamentale F_r et ses harmoniques. Contrairement au défaut d'alignement, les harmoniques peuvent ressortir sur une gamme très étendue de fréquences et pas seulement jusqu'au 4ème ordre. Il peut aussi parfois faire apparaître la fréquence $1/2 F_r$ et ses harmoniques à un niveau toutefois moindre que les harmoniques de la fréquence fondamentale. Ce genre de défaut est, en général, directionnel (desserrage selon un axe, fissuration beaucoup plus apparente dans la direction de la charge que dans les autres directions...).

Le phénomène de jeu va avoir pratiquement la même signature vibratoire. La (figure III.13) montre la différence entre un spectre de la vitesse vibratoire d'un jeu de fondation (desserrage) et d'un jeu dans les roulements [1].

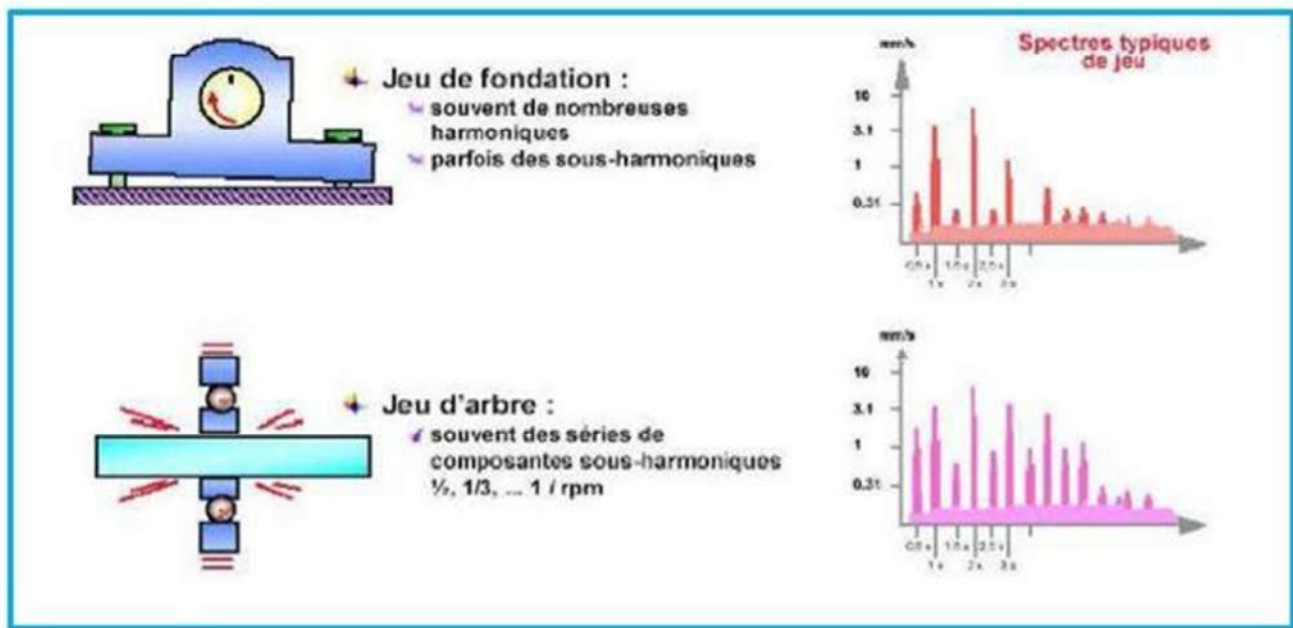


Figure III.13 Images vibratoires d'un phénomène de jeu [1]

III.5 Les défauts des engrenages :

III.5.1 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 [1] :

- 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)

Les dentures d'engrenage peuvent être droites, hélicoïdales ou à chevrons. 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.



Figure III.14 différents types d'engrenage[12]

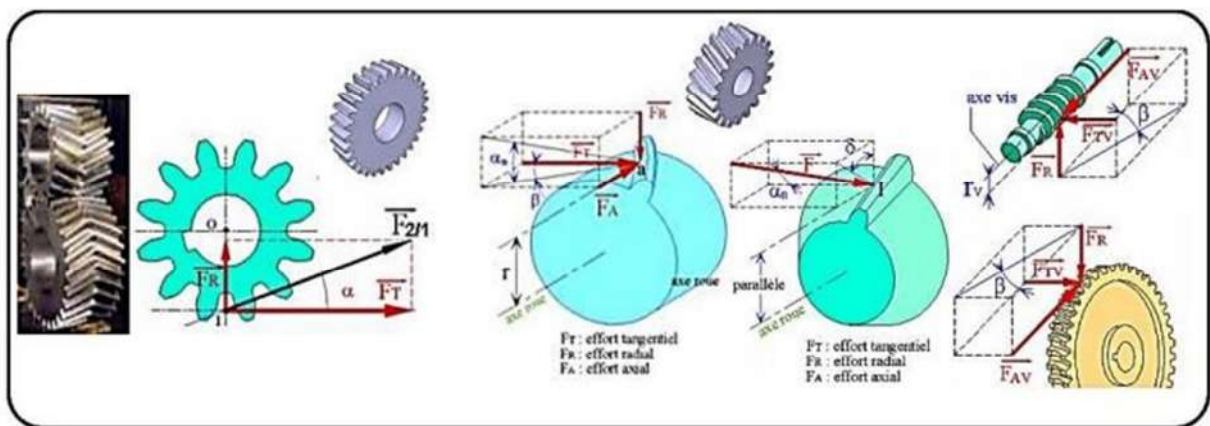


Figure III.15 efforts sur les dents d'engrenage selon le type de denture [12]

Les amplitudes vibratoires générées par les engrenages à denture hélicoïdale sont généralement plus faibles que celles générées par les autres types de dentures.

III.5.2 Fréquence d'engrènement :

Observons un engrenage, composé de deux roues dentées 1 et 2, présentant Z_1 et Z_2 dents et tournant aux fréquences F_1 et F_2 . 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 F_e égale à la fréquence de rotation de la roue multipliée par son nombre de dents [1].

$$F_e = F_1 \cdot Z_1 = F_2 \cdot Z_2$$

- F_e : Fréquence d'engrènement
- F_1 et F_2 : fréquences de rotations des roues 1 et 2
- Z_1 et Z_2 : Nombre des dents des roues 1 et 2.

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

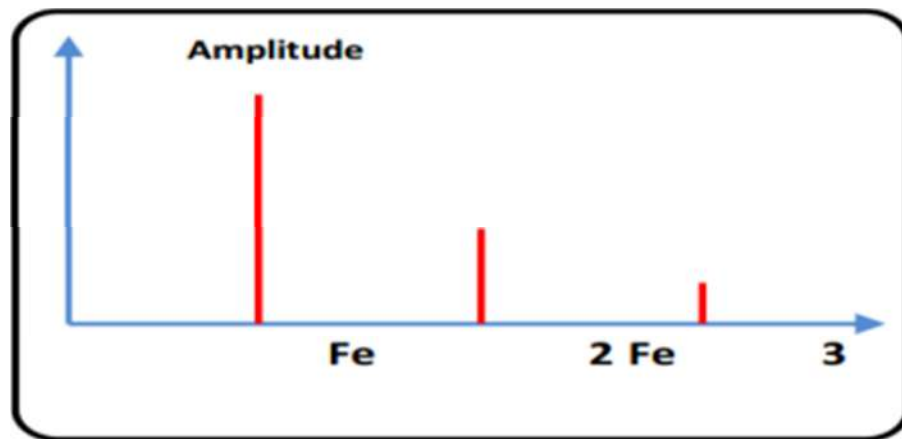


Figure III.16 : image vibratoire d'un engrenage sain [12]

III.5.3 Signatures vibratoires des défauts d'engrènement :

a. Détérioration d'une dent :

Si l'une des roues présente une dent détériorée, il se produit un choc dur, à chaque tour du pignon. Le spectre correspondant (figure III.18) montre un peigne de raies dont le pas correspond à la fréquence de rotation du pignon détérioré s'étalant jusqu'aux hautes fréquences.[8]

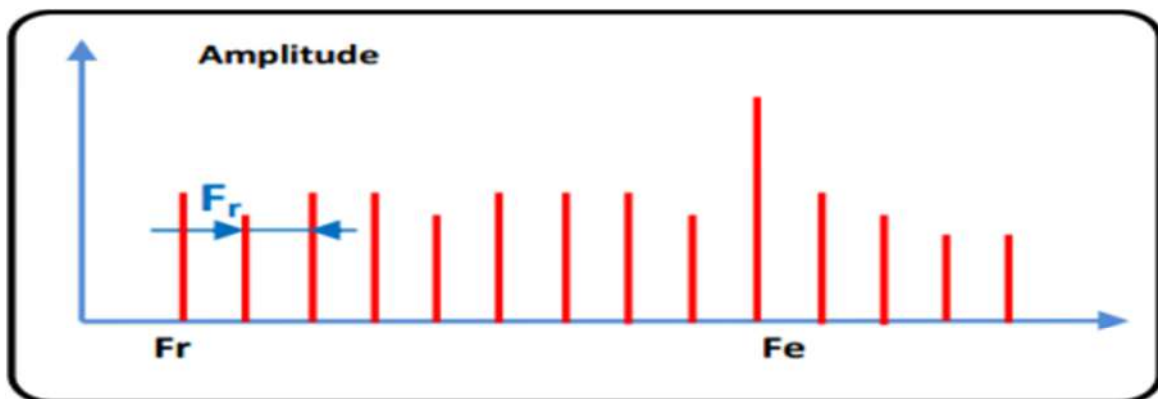


Figure III.17 : image vibratoire théorique d'un engrenage présentant une dent détériorée[12]

b. Détérioration de l'ensemble de dentures :

Lorsque l'ensemble de la denture est usé ou détérioré, les chocs se produisent au passage de chacune des dents. Le spectre est constitué d'un peigne de raies dont la fréquence correspond à la fréquence d'engrènement, mais cette fois avec une amplitude beaucoup plus élevée (figure III.18).

Le spectre peut présenter des raies à la fréquence de rotation correspondant à des équilibrages imparfaits [8]

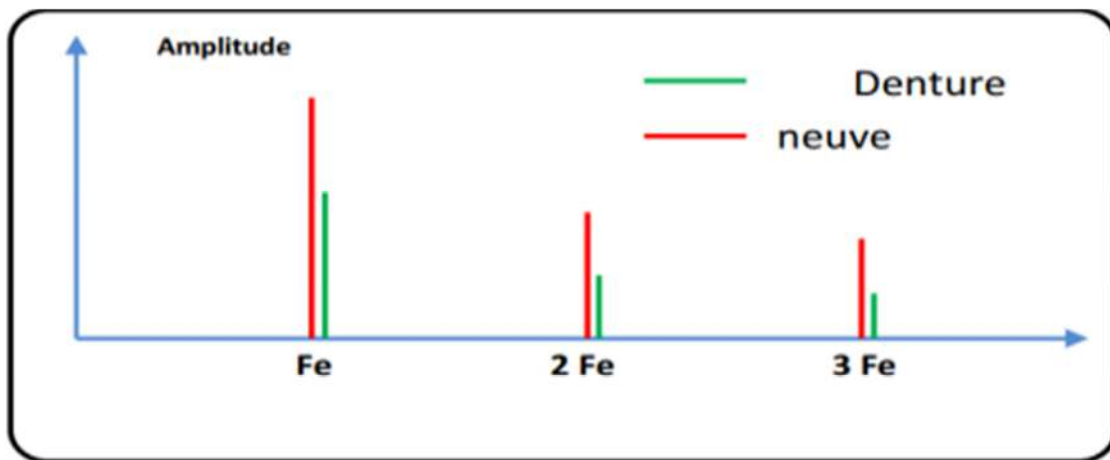


Figure III.18 : image vibratoire théorique d'une denture [12]

c. Entraxe insuffisant (jeu insuffisant au fond de denture) :

Si l'entraxe des arbres portant les deux roues est insuffisant, il se produit un engrènement en fond de denture. La dent menante force à l'engagement et au déengagement ce qui provoque une usure des deux côtés de la 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.20) [8].

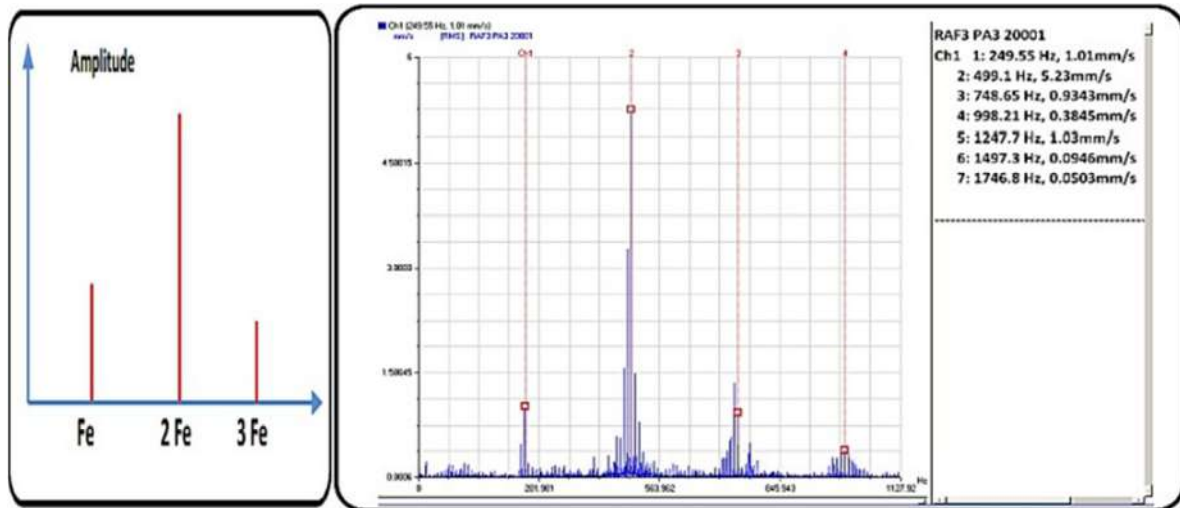


Figure III.19 : image théorique et spectre réel d'un engrènement en fond de denture sur un réducteur [12]

III.6 Les défauts de roulements :

Les roulements sont parmi les composants les plus sollicités des machines et représentent une source de panne fréquente. Les défauts que l'on peut y rencontrer sont les suivants : écaillage, grippage, corrosion (qui entraîne l'écaillage), etc. Dans la plupart des cas, la dégradation se traduit par un écaillage d'une des pistes ou d'un élément roulant du roulement, produisant un choc à chaque passage. Les roulements défectueux génèrent des vibrations de fréquences égales aux vitesses de rotation de chaque pièce du roulement. Ils correspondent notamment à la rotation des billes, des rouleaux ou de la cage et au passage des billes sur les bagues.

Pour chaque type de roulement et en fonction de ses cotes de fabrication, on peut considérer les fréquences caractéristiques données par les formules ci-dessous

- **d** = diamètre des éléments roulants
- **Z** = nombre d'éléments roulants
- **De** = diamètre du chemin de roulement de la bague externe
- **Di** = diamètre du chemin de roulement de la bague interne
- **Dm** = diamètre primitif du roulement
- **a** = angle de contact (roulement à contact oblique)
- **F0** = fréquence de rotation de l'arbre (la bague externe est supposée fixe) [18]

$$D_m = \frac{D_e + D_i}{2}$$

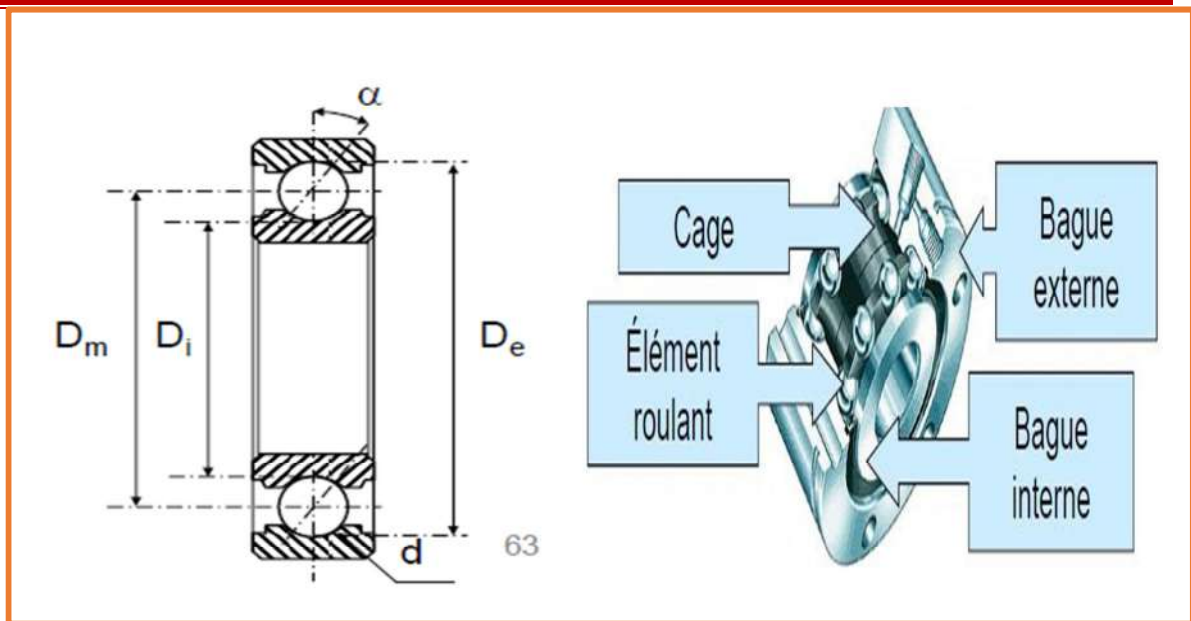


Figure III.20 : caractéristiques géométriques d'un roulement [11]

III.7 Conclusion :

La diversité des activités du diagnostic industriel conduit très souvent à utiliser, sans trop les préciser, les termes des pannes et de défaut. Bien que les différences entre les concepts de défaillance, panne et défaut soient souvent très subtiles et quelquefois subjectives. La panne est l'inaptitude d'un dispositif à accomplir une fonction requise. Il est clair que dès l'apparition d'une défaillance, caractérisée par la cessation du dispositif à accomplir sa fonction, on déclarera le dispositif en panne. Par conséquent, une panne résulte toujours d'une défaillance.

ChapitreIV : **Etude de cas**

IV.1 Introduction :

L'analyse vibratoire constitue une méthode clé de la maintenance prédictive, particulièrement efficace pour le suivi de l'état des équipements rotatifs, comme les pompes booster. En enregistrant et en interprétant les vibrations produites en cours de fonctionnement, elle permet d'identifier de manière précoce les anomalies susceptibles d'affecter les performances ou la fiabilité de la machine.

IV.2 Matériels utilisés :

IV.2.1 Appareil (ONEPROD FALCON)

a- Introduction :

FALCON est le collecteur de données portable de nouvelle génération dédié à la maintenance conditionnelle, l'analyse vibratoire et l'équilibrage. Conçu pour répondre aux besoins industriels d'amélioration de la productivité, FALCON est un instrument multivoie portable comportant un grand écran tactile, un capteur triaxial de nombreux accessoires. Cette solution innovante « tout en un » rend la maintenance conditionnelle accessible à tous les utilisateurs [13].



Figure IV.1 : Appareil de mesure (ONEPROD FALCON) [13]

b- points de mesure au niveau de l'appareil :

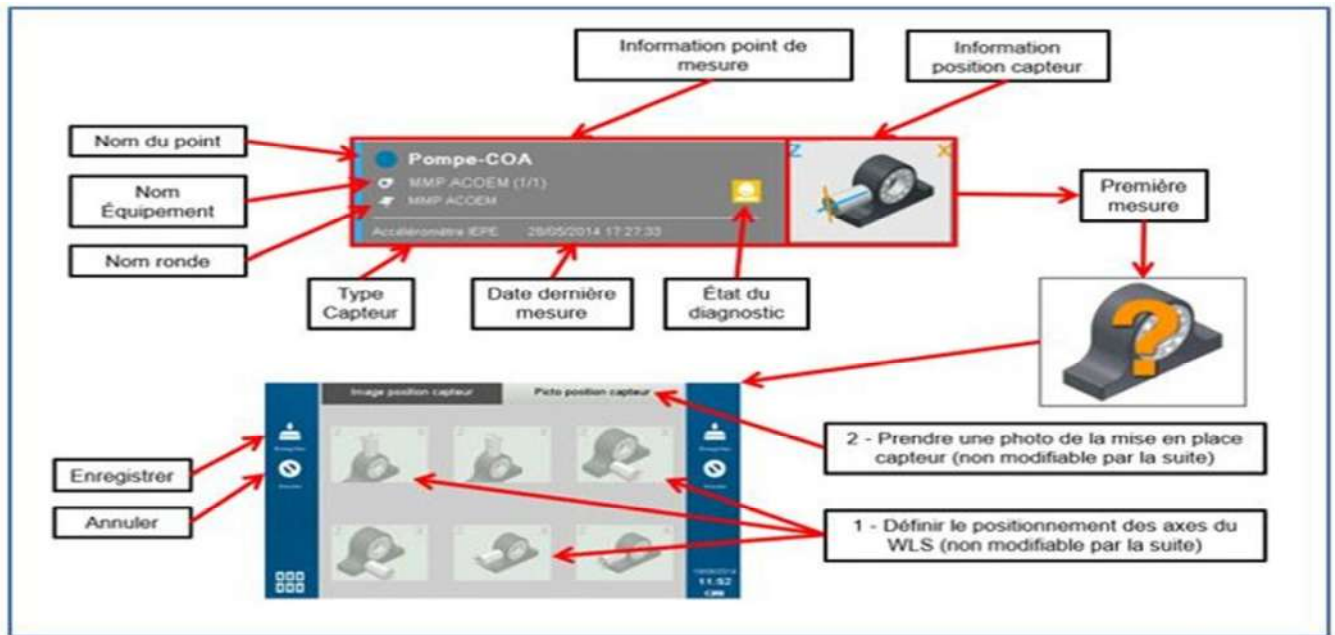


Figure IV.2 : points de mesure au niveau de l'appareil [13]

IV.2.2 capteur type (WLS) :

- On utilise comme type de capteur (WLS) de genre Piézoélectrique – accéléromètre car ce type fourni plus d'avantages, on peut extraire l'accélération, la vitesse au même temps.



Figure IV.3 Capteur accéléromètre type (WLS) [13]

IV.2.3 Logiciel d'analyse de diagnostic vibratoire (NESTi4.0) :

a- Introduction :

- La NESTi4.0 Desktop Edition est une version du logiciel de maintenance prédictive NESTi4.0 développée par ACOEM. Elle est conçue pour être installée sur un poste de travail individuel, permettant à un utilisateur unique de gérer la collecte de données vibratoires à l'aide du collecteur portable Falcon [14].



Figure IV.4 : Logiciel (NESTi4.0) [14]

c- Fonctionnalités principales :

- **Collecte de données** : Utilisation du collecteur portable FALCON pour mesurer les vibrations des machines.
- **Analyse vibratoire** : Outils d'analyse pour évaluer l'état des machines et détecter d'éventuels défauts.
- **Interface utilisateur** : Interface conviviale facilitant la configuration des machines et l'analyse des données.
- **Rapports automatisés** : Génération de rapports sur l'état des machines pour faciliter la prise de décision.

IV.3 Suivi de mesure de vibrations de la pompe :

IV.3.1 Principe de fonctionnement de la pompe :

Une pompe de surpression d'amines pauvres est un composant utilisé dans les systèmes de traitement des gaz d'amines, principalement dans des secteurs tels que le traitement du gaz naturel, la production pétrochimique et les raffineries de pétrole. Son objectif principal est d'augmenter la pression de la solution d'amines pauvres, utilisée pour absorber et éliminer les gaz acides (comme le CO_2 et le H_2S) du gaz naturel ou d'autres gaz [15].

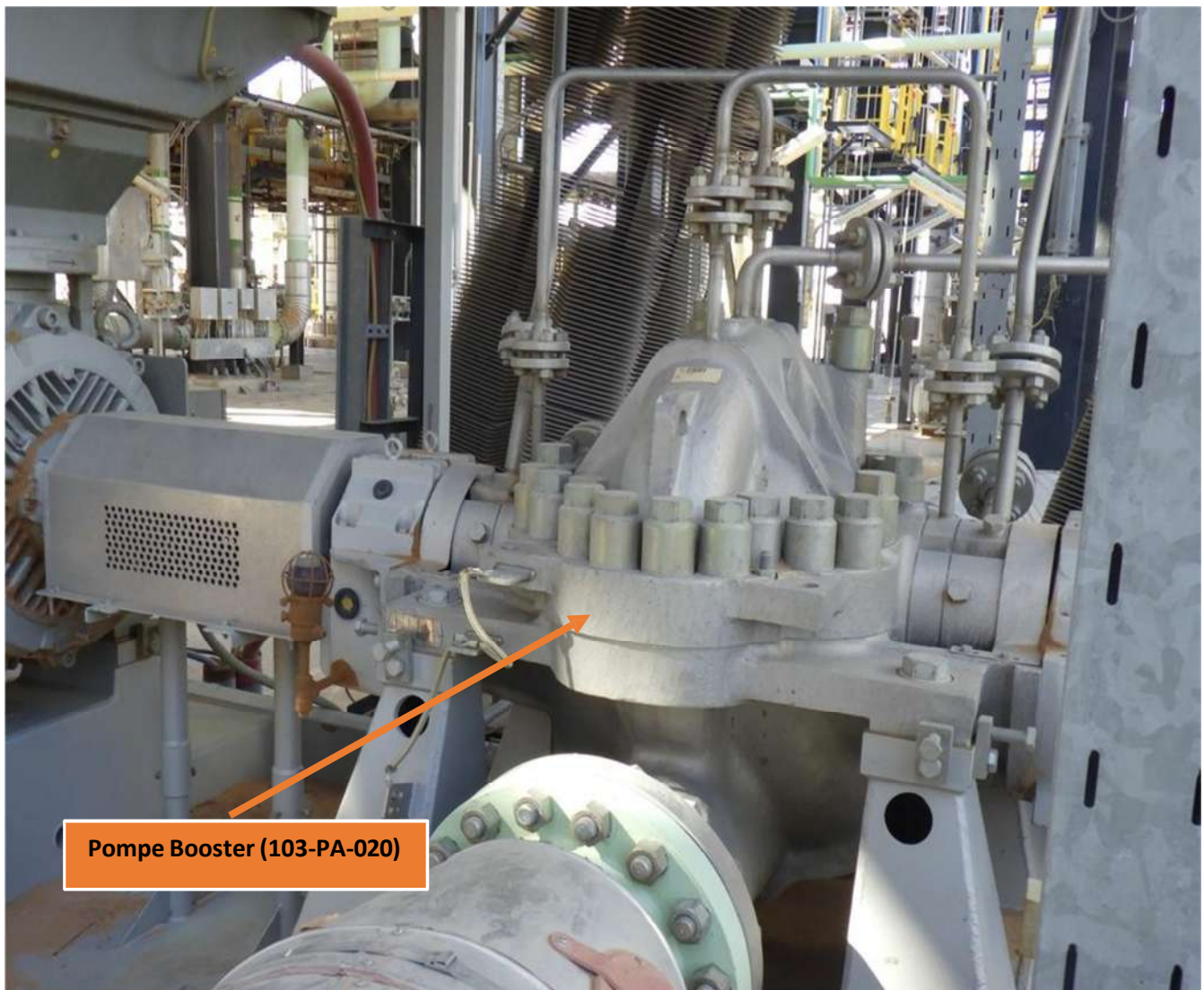


Figure IV.5 : Pompe Booster 103-PA-020

IV.3.2 Caractéristiques :

a- Fiche de données de la pompe (API 610-10th / ISO 13709) :

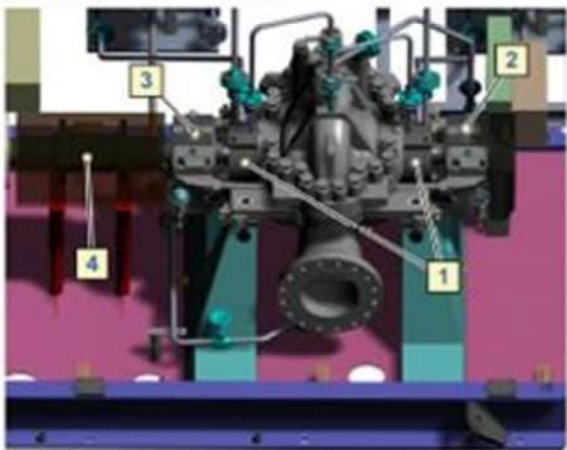
Taille et type	Service	Type	Etages	Ø Asp	Ø Ref
	Lean amine Booster pumps	CUP BB1 10 x 12 x 25 1D	1	12"	10"
Produit pompé	Composition	Température (°C)	Relative Densité		Viscosité (CP)
	Lean Amine	65	1.0125		Norm
					2.14
Performance	TDH (m)	Débit (m³/h)	Pression à l'aspiration (bar a)		Pression au refoulement (bar a)
	71	667.6	Max	Rated	8.06
			1.74	1.06	
Rotation	Vitesse nominale	Sens de rotation Vu depuis le moteur			
	3000 rpm				
					
Garniture mécanique	Item	Fournisseur	API Code		API Plan
	1	John Crane	BDPIN		11/53B
Paliers	Item	Localisation	Construction	Taille	
	2	Butée	Roulements à billes	2 x 7315	
	3	Radial		2 x 6218	
Accouplement	Item	Fournisseur & type		Document n°	
	4	John Crane / TLKA		0001600250-P000881-TAC-EN-PLD-001	

Figure IV.6 : Fiche de données de la pompe 103-PA-020 [16]

b- Fiche de données de moteur :

MOTOR DESIGN PARAMETERS										
Row		Required by Company				Vendor Data				
91	Rated Output	220 kW (*)				210 kW				
92	Number of Poles					4				
93	Voltage	6.6 kV $\pm 10\%$				6.6 kV $\pm 10\%$				
94	Frequency	50 $\pm 2\%$				50 $\pm 2\%$				
95	Phases	3				3				
96	Rated short time withstand (kA/seconds)					30 kA x 0.25 s				
97	System Neutral	THROUGH HIGH RESISTANCE IN TRANSFORMER								
98	Direction of Rotation looking at non-drive-end (CW / CCW)					CCW				
99	Winding connection (Star / Delta)	Star				star				
100	Protection degree (Enclosure)	IP55				IP55				
101	Shock protection	IK08				IK08				
102	Enclosure classification of motor IP 55 (Y / N)	N				N				
103	Protection Ex(n), Ex(d), Ex(e), Ex(p): Motor frame	Ex(d)				Ex(d)				
104	Painting (Applicable standards/color)	Project Painting Spec.RAL N° 9006				C3 according to ISO 12944 / RAL9006				
105	Efficiency	95 % min				95% min				
106	Explosion hazardous area (Non-hazardous / Zone 2 / Zone 1)	Zone 2				Zone 1 (suitable for zone 2)				
107	Gas group (IIA, IIB, IIC, ...)	IIB				IIB				
108	Temperature class (T2/T3/T4/T5/T6 / Other)	T5				T5				
109	Motor cooling (TEFC / CACA / other)	TEFC				IC411 (TEFC)				
110	Motor cooling air-to-air IC 0101 (Y / N)					IC411				
111	air-to-air IC 0101 (Y / N)					N				
112	air-to-water IC W3/A71 (Y / N)					N				
113	Maximum cooling water outlet temperature (°C)					NA				
114	Maximum temperature rise of cooling water (°C)					NA				
115	Maximum cooling water velocity in tubes (°C)					NA				
116	Fouling factor for resistance used (m ² /sec)					NA				
117	Test pressure for the tubes (bar)					NA				
118	Air purging equipment for Ex(p) (Y / N)					N				
119	Max voltage drop at starting	95 %				90%				
120	Nb of consecutive starts within 1 hour	Cold	3	Hot	2	Cold	3	Hot	2	
121	Vibration Limit	Class A				2.3 mm/s (Grade A - IEC60054-14)				
122	Noise Level at 1m	85 dB(A) max				82 dB(A)				
123	Maximum starting Current (% Full load Current)	500 max				450/500 (guaranteed)				
ELECTRICAL CIRCUIT PARAMETERS										
124	Base impedance Zbase (ohms)					117.5				
125	Magnetising reactance Xm (p.u.)					3.2				
126	Core loss resistance Rc (p.u.)					101				
127	Stator leakage reactance at standstill X11 (p.u.)					-				
128	Stator leakage reactance at full-load X10 (p.u.)					0.13				
129	Stator resistance at 20 °C R1 (ohms)					0.95				
130	Stator resistance at 20 °C R1 (p.u.)					0.008				
131	Motor leakage reactance at standstill X21 (p.u.)					-				
132	Motor leakage reactance at full-load X20 (p.u.)					0.13				
133	Motor resistance at 20 °C R20 (ohms)					1.1				
134	Motor resistance at 20 °C R20 (p.u.)					0.0094				
135	Negative sequence reactance X2 (p.u.)					0.2237				
136	Zero sequence reactance X0 (p.u.)					0.2117				
137	Zero sequence resistance R0 (p.u.)					0.0292				
138	Full Load Speed					1487 rpm				
139	Full Load Current/Locked Rotor Current					21A / 122A				
140	No load current					8.1				
141	Starting Time (100% of Voltage) at full load					1.5s				
142	Starting Time (80% of Voltage) at full load					2.5s				
143	Allowable Locked Rotor withstand Time					35.5s (from warm state)				
144	Thermal Time Constant					180 min				
145	Efficiency (at 100% , 75% & 50% load)	100%:	95.4	75%:	95.3	50%:	94.4			
146	Power Factor (at 100% , 75% & 50% load)	100%:	0.96	75%:	0.94	50%:	0.78			
147	Locked Rotor Power Factor					0.13				
148	Full load Torque					1348 Nm				
149	Locked/Pull Up/Breakdown Torque	0.6				0.6		1.8		
110	Open circuit time constant					1.2s				
111	Material of frame / rotor / internal or external Fan	Cast iron				Copper		Plastic (non-sparking)		

Figure IV.7 : Fiche de données de moteur électrique [16]

IV.3.3 Les points de mesure au niveau de la pompe et le moteur :

La Figure IV.8 illustre la localisation des points de mesure : les paliers 1 et 2 sont situés côté moteur, tandis que les paliers 3 et 4 se trouvent côté pompe.

- Les vibrations sont mesurées sur les quatre paliers de la machine, à l'aide de capteurs positionnés selon deux directions (verticale V et horizontale H). Un cinquième point de mesure est également situé sur l'axe.
- L'accéléromètre doit être placé de façon à assurer une capture directe des vibrations (rotor-structure).

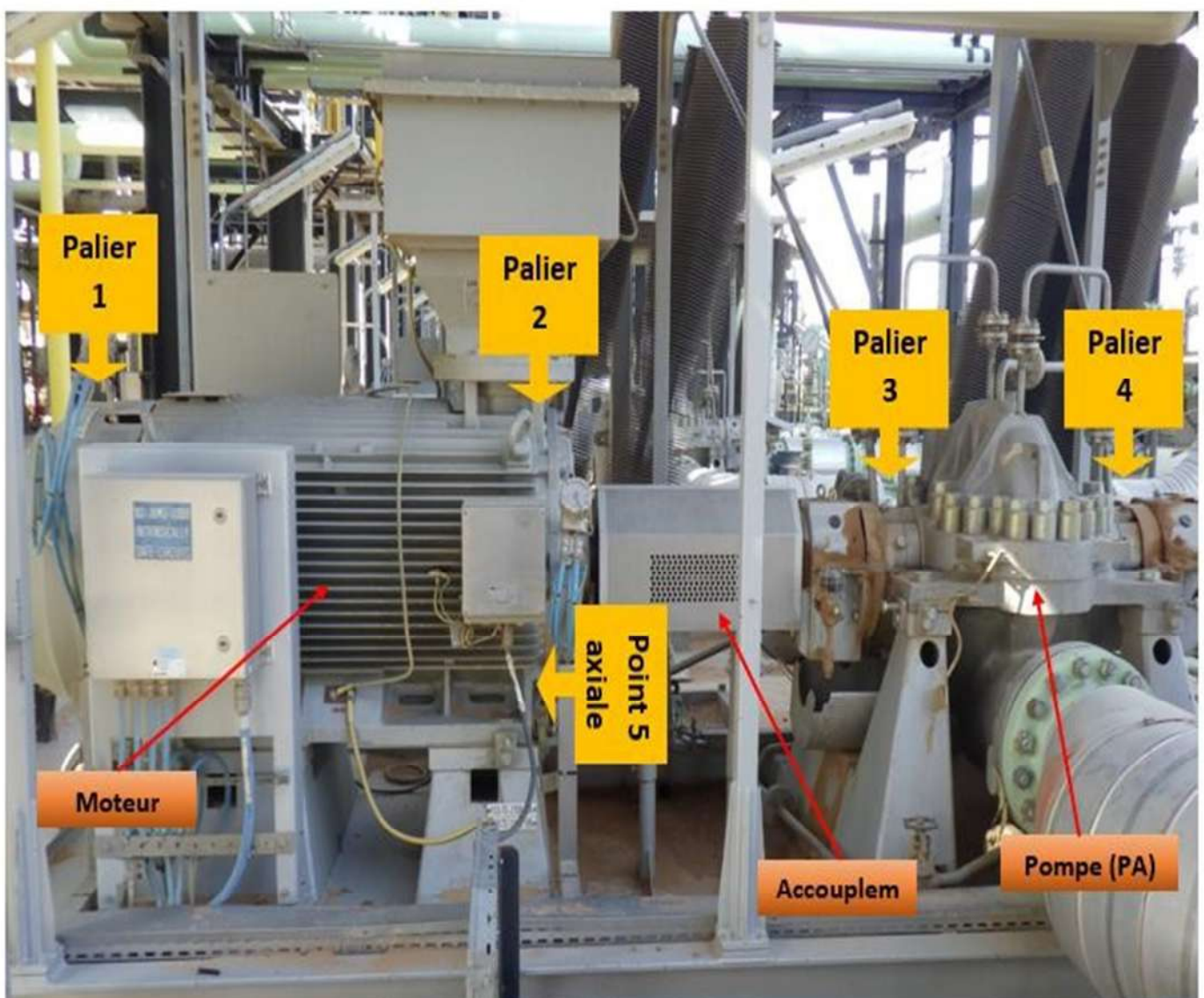


Figure IV.8 : Plan des points de mesure de Vibration

- Explique points des mesures :



Figure IV.9 Palier 1 : 1RV



Figure IV.10 Palier 1 : 1RH



Figure IV.11 Palier 2 : 2RV



Figure IV.12 Palier 2 : 2RH



Figure IV.13 Palier 3 : 3RV



Figure IV.14 Palier 3 : 3RH



Figure IV.15 Palier 4 : 4RV



Figure IV.16 Palier 4 : 4RH



Figure IV.17 Point axiale 2AX (coté moteur) Figure IV.18 Point axiale 3AX (coté pompe)

IV.3.4 Résultats du contrôle vibratoire (durant défaut) :

1-Tableau de mesure de vibrations (coté moteur) [13] :

		Tableau 1 : Vitesse de vibration (coté moteur)				
		Palier 01 RH(90°) mm/s	Palier 01 RV(00°) mm/s	Palier 02 RH(90°) mm/s	Palier 02 RV(00°) mm/s	vitesse axiale
mesure de vitesse de vibration durant défaut	mesure 1	0,817	0,396	0,796	0,583	0,528
	mesure 2	0,817	0,396	0,796	0,583	0,528
	mesure 3	0,734	0,374	0,823	0,251	0,449
	la limite maximale de vibration	2	2	2	2	2

2-Tableaux mesure vibration (coté pompe) [13] :

		Tableau 2 : Vitesse de vibration (coté pompe)			
		Palier 03 RH(90°) mm/s	Palier 03RV(00°) mm/s	Palier 04 RH(90°) mm/s	Palier 04 RV(00°) mm/s
mesure de vitesse de vibration durant défaut	mesure 1	5,22	1,91	4,35	1,57
	mesure 2	5,22	1,91	4,35	1,57
	mesure 3	5,06	1,82	4,63	1,47
	la limite maximale de vibration	2	2	2	2

IV.3.5 Interprétation des résultats :

D'après les mesures recueillies on note que les vibrations au niveau des paliers 1 et 2 (coté moteur) sont conforme au niveau de vibration requis, tandis que les paliers 3 et 4 (coté pompe) présentent de grandes vibrations dépassant la limite maximale (voir les valeurs de dans le tableau).

- Représentation spectrale durant défaut (coté pompe) :

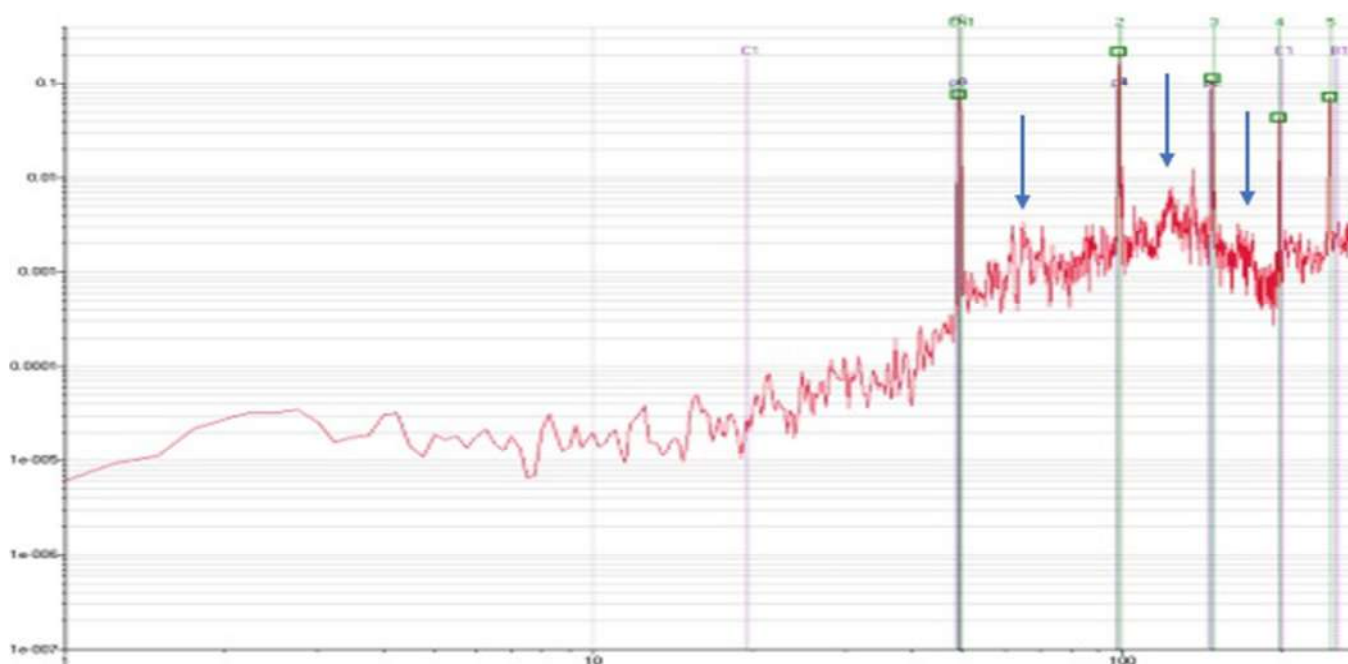


Figure IV.19 : Image spectrale superposée horizontale (durant défaut) [14]

-Le spectre présente une augmentation notable de la première harmonique (98 Hz) par rapport à la fréquence fondamentale F_0 (49 Hz), avec apparition d'harmoniques $3F_0$, $4F_0$...etc. ainsi qu'apparition d'harmoniques supplémentaires $1,5 \times F_0$ et $2,5 \times F_0$.

En tenant compte du fait que les valeurs excessives ont été mesurées au niveau radial dans la direction horizontale, ce spectre indique la présence d'un défaut de jeu (ou une usure).

IV.4 Recommandation :

La détection d'un jeu au niveau d'un palier indique généralement une usure mécanique ou un mauvais montage. Pour corriger ce défaut et éviter toute dégradation supplémentaire, les actions suivantes sont recommandées :

- 1- Arrêter la machine et sécuriser la zone pour éviter tout risque de détérioration ou d'accident.
- 2- Identifier la cause du jeu :
 - ✓ Vérifier l'état d'usure du roulement (jeu interne excessif, bague détériorée, etc.).
 - ✓ Contrôler l'état de l'arbre (usure, ovalisation).
 - ✓ Vérifier le logement du palier (coquille, carter, etc.).
- 3- Remplacer les composants endommagés :
 - ✓ Changer le roulement ou le palier s'il présente une usure anormale
- 4- Contrôle du serrage et de la fixation du palier.
- 5- Mettre en place un suivi régulier par analyse vibratoire ou thermographique pour anticiper une nouvelle défaillance.

-Après vérification sur site, un léger manque de serrage au niveau de la fixation de la pompe a été observé. Étant donné que l'état des roulements a été jugé acceptable, cette anomalie est compatible avec le défaut illustré sur le spectre.

IV.5 Résultats du contrôle vibratoire (Après réparation) :

Après réparation des palier 3 et 4 (coté pompe), les vibrations ont été atténuées, jusqu'à la valeur requise par le constructeur, voir les résultats des mesures sur le tableau 1 et 2, et le graphe qui illustre le bon fonctionnement.

1-Tableau Après réparation de la vibration (coté Moteur) [13] :

		Tableau 1 : Vitesse de vibration (coté moteur)				
		Palier 01 RH(90°) mm/s	Palier 01 RV(00°) mm/s	Palier 02 RH(90°) mm/s	Palier 02 RV(00°) mm/s	vitesse axiale
mesure de vitesse de vibration après réparation	mesure 1	0,597	0,286	0,511	0,494	0,528
	mesure 2	0,951	0,263	0,659	0,312	0,368
	mesure 3	0,951	0,263	0,659	0,312	0,368
	la limite maximale de vibration	2	2	2	2	2

2-Tableau Après réparation de la vibration (coté pompe) [13] :

		Tableau 2 : Vitesse de vibration (coté pompe)			
		Palier 03 RH(90°) mm/s	Palier 03RV(00°) mm/s	Palier 04 RH(90°) mm/s	Palier 04 RV(00°) mm/s
mesure de vitesse de vibration après réparation	mesure 1	1,76	1,23	1,7	1,21
	mesure 2	1,79	1,41	1,79	1,42
	mesure 3	1,79	1,41	1,79	1,42
	la limite maximale de vibration	2	2	2	2

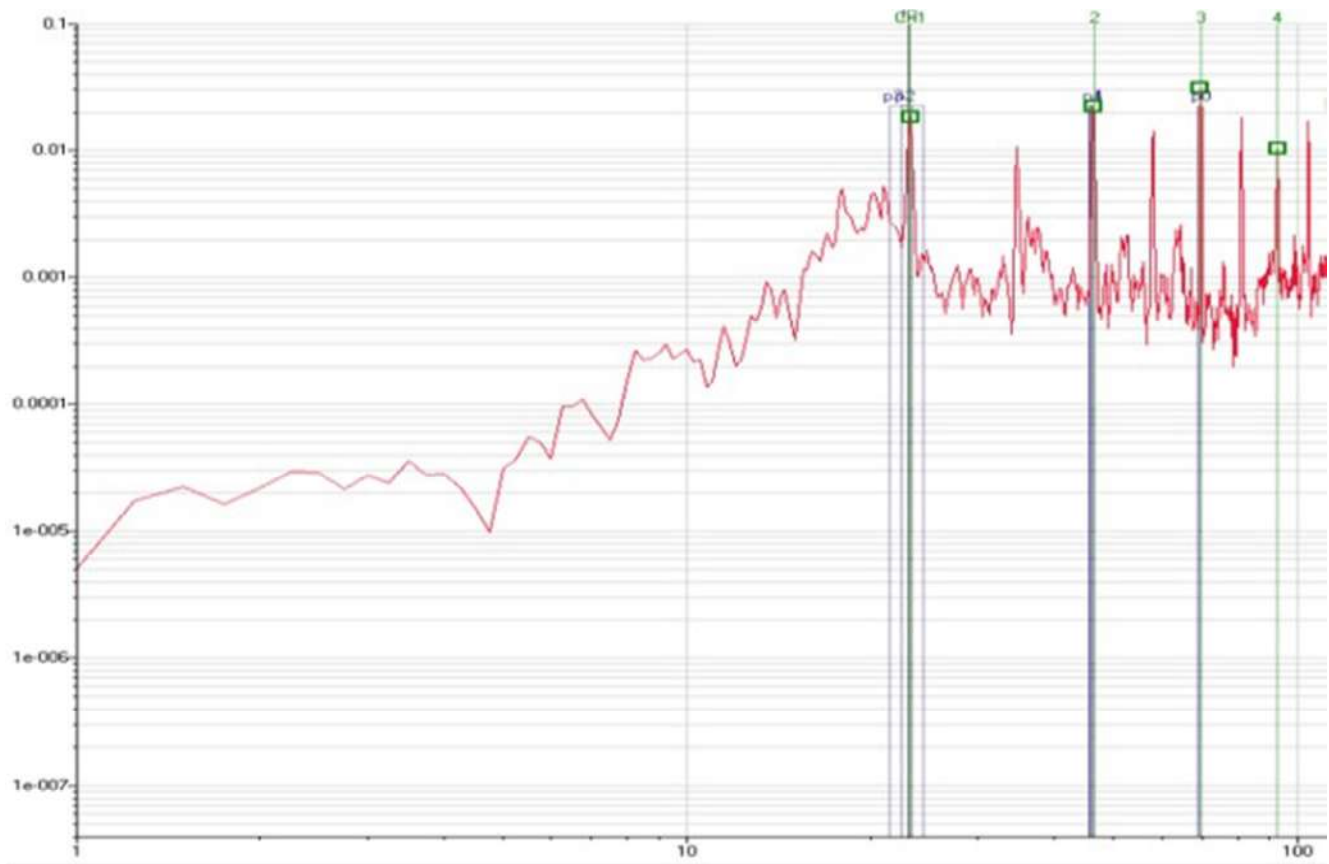
- Représentation spectrale Après réparation (coté pompe) :

Figure IV. 20 : Image spectrale superposée horizontale (Après réparation) [14]

-Après une seconde mesure effectuée suite au resserrage, les valeurs de vibration ont nettement diminué, ce qui indique la disparition du défaut initial. Le spectre montre également une baisse significative de l'amplitude des pics. Les signatures vibratoires résiduelles, dans un contexte où les niveaux globaux de vibration et les indicateurs de l'état des paliers sont satisfaisants, peuvent être considérées comme négligeables.

IV.6 Conclusion :

L'analyse vibratoire d'une pompe est un outil essentiel de maintenance conditionnelle. Elle permet une détection précoce des anomalies, une réduction des coûts de maintenance et une amélioration de la fiabilité des installations.

Conclusion générale :

Au vu de tout ce que nous venons de présenter, la production industrielle se développe à une vitesse sans précédent, notamment en termes de qualité, de sécurité et de productivité, et l'outil de production doit donc subir une maintenance efficace. De plus, avec la grande concurrence entre les entreprises, la réduction des coûts de production est devenue le plus important pour le développement de l'entreprise. Outre la réduction des coûts de maintenance, l'augmentation des taux de disponibilité des équipements est vitale pour toute entreprise. C'est la raison pour laquelle nous avons créé un programme de maintenance adapté, afin d'assurer une maintenance efficace, des techniques de surveillance efficaces doivent être utilisées, et La technique la plus largement utilisée est l'analyse vibratoire, l'analyse vibratoire permet une évaluation complète de la machine. La procédure consiste à détecter l'apparition du dysfonctionnement sans démonter l'appareil en prélevant le signal de vibration avec des capteurs de vibration. Les informations extraites du contenu de la vibration sont très essentielles pour déterminer les défauts des machines tournantes

Les travaux de ce mémoire ont porté sur la façon d'utiliser l'analyse des vibrations pour détecter les défauts dans une pompe booster.

À la suite de ce travail, nous constatons l'importance de la maintenance préventive dans la prévention des défaillances et la prolongation de la durée de vie des machines. Ainsi que la prévention des défaillances dues à la jeu, notamment à travers :

- *Vérifier l'état d'usure du roulement (jeu interne excessif, bague détériorée, etc.).
- *Contrôler l'état de l'arbre (usure, ovalisation).
- *Vérifier le logement du palier (coquille, carter, etc.).
- *Contrôle du serrage et de la fixation du palier.



Référence bibliographique :

- 1) Bousbia Salah Ammar : "Maintenance conditionnelle par analyse vibratoire dans une centrale Électrique à turbine à gaz" MEMOIRE DE FIN D'ETUDE MASTER, **Univrsité** Kasdi Merbah Ouargla, 2019 /2020.
- 2) AMARA Abderahmane ; "MAINTENANCE CONDITIONNELLE D'UN EQUIPEMENT DE PRODUCTION ELECTRIQUE DANS LA CENTRALE (SPE) TIARET ». MÉMOIRE DE FIN D'ÉTUDES Pour l'obtention du diplôme de Master ,2015/2016.
- 3) KHEDDOUCI Hicham ; " Analyse des Défauts des Machines Tournantes par Analyse Vibratoire Cas de la Cimenterie de Sour-El Ghozlane». MEMOIRE DE FIN D'ETUDES master, UNIVERSITE M'HAMED BOUGARA BOUMERDES, 2009 / 2010.
- 4) [https://www.google.com/url?sa=i&url=https%3A%2F%2Fde.scribd.com%2Fdocument%2F375012151%2F01-Fr-\(15/04/2025\)](https://www.google.com/url?sa=i&url=https%3A%2F%2Fde.scribd.com%2Fdocument%2F375012151%2F01-Fr-(15/04/2025)).
- 5) [https://fr.scribd.com/document/820156438/Les-Vibrations-Mecaniques\(12/04/2025\)](https://fr.scribd.com/document/820156438/Les-Vibrations-Mecaniques(12/04/2025)).
- 6) LARBA WIEME ; "Surveillance vibratoire et interventions pratiques sur le Compresseur « SPIROS» ".MEMOIRE PRESENTE EN VUE DE L'OBTENTION DU DIPLOME DE MASTER, UNIVERSITE BADJI MOKHTAR ANNABA,2018.
- 7)CHAPITRE II ;Surveillance des machines par analyse vibratoire ; Université Ibn Khaldoun, Tiaret.
- 8) MATARI FATIMA ; "CONTROLE ET SUIVI D'ANALYSE VIBRATOIRE DES MACHINE TOURNANTES". Mémoire de fin d'étude Pour l'obtention du diplôme de master en génie mécanique,2020/2021.

- 9) book Etude Des Vibrations Pour La Maintenance Industrielle-2.
- 10) [https://www.maxicours.com/se/cours/analyseurs-de-vibrations/\(10/04/2025\)](https://www.maxicours.com/se/cours/analyseurs-de-vibrations/(10/04/2025)).
- 11) Boughagha Fouzi ; "Thème Diagnostic et détection des défauts mécaniques affectant les systèmes électromécaniques" .MÉMOIRE Présenté en vue de l'obtention du diplôme de Master, UNIVERSITÉ BADJI MOKHTAR- ANNABA,2019.
- 12) Leila NACIB ; "DIAGNOSTIC DES DÉFAUTS DANS LES MACHINES TOURNANTES PAR L'ANALYSE VIBRATOIRE".Présentée en vue de l'obtention du diplôme de DOCTORAT,2015.
- 13) documentation onprod (GTG) 01_fr_Maintenance Rév.Avril 2018.
- 14) DOC3138 2022-01 L - Nesti4.0 v2.0 Manuel Utilisateur FR (Référence du document : DOC3138 – Janvier 2022 Rev.L).
- 15) documentation (GTG) FAC10005-SPX-103-ROT-DTS-0003_06_folio0 ,23/11/ 2015.
- 16) documentation (GTG) FAC10005-SPX-103-ROT-DWG-0004_06_folio0, 05/10/2015.
- 17) mémoire iap HMD mécanique/doucument madjadi skikda/doucemention /analyses vibratoires.