

RÉPUBLIQUE ALGÉRIENNE DÉMOCRATIQUE ET POPULAIRE
MINISTÈRE DE L'ENSEIGNEMENT SUPÉRIEUR ET DE LA RECHERCHE
SCIENTIFIQUE

UNIVERSITÉ IBN-KHALDOUN DE TIARET

FACULTÉ DES SCIENCES APPLIQUÉES

DÉPARTEMENT DE GÉNIE MÉCANIQUE

MÉMOIRE DE FIN D'ÉTUDES

Pour l'obtention du diplôme de Master

Domaine : Sciences et Technologie

Filière : Génie Mécanique

Spécialité: Maintenance Industrielle

THÈME

**MAINTENANCE CONDITIONNELLE D'UN
EQUIPEMENT DE PRODUCTION ELECTRIQUE
DANS LA CENTRALE (SPE) TIARET**

Préparé par: AMARA Abderahmane

Devant le Jury :

Nom et prénoms	Lieu d'exercice	Qualité
	UIK Tiaret	Président
	UIK Tiaret	Examineur
Said Mekroussi	UIK Tiaret	Encadreur

PROMOTION : 2015/2016



Remerciements

Tout d'abord je remercie ALLAH qui m'a guidé tout au long de mon étude et qui a permis l'aboutissement de ce travail.

Je remercie très chaleureusement mon encadreur Mr : Said mekroussi pour sa sympathie, ses conseils et son aide efficace.

J'ai lui exprimé mon profonde gratitude d'avoir encadré et ma profonde reconnaissance pour la confiance qu'il m'a accordé en me donnant la chance de travailler avec lui.

Nous remercions également tous nos professeurs du département de génie mécanique qui ont fait de gros efforts afin de faire notre formation

Un grand merci à l'ensemble des membres du jury pour l'acceptation et de juger mon travail

Je remercie, toute ma famille, et tous ceux qui, de près ou de loin, ont contribué à ce modeste travail.





Dédicaces

Je tiens à dédier ce mémoire :

A ma très chère Mère et à mon cher Père, en témoignage et en gratitude de leurs dévouement, de leurs soutien permanent durant toutes mes années d'études, leurs sacrifices illimités, leurs réconfort moral, eux qui ont consenti tant d'effort pour mon éducation, mon instruction et pour me voir atteindre ce but, pour tout cela et pour ce qui ne peut être dit, mes affectations sans limite.

A ceux qui sont la source de mon inspiration et mon courage, à qui je dois de l'amour et de la reconnaissance :

A toute ma famille.

A mes amis :

BELAID Ahcene, HAMZI Saddam ,FELLAH Ahmed ,YAMINE Rafik, CHAOI Fathi , KANOUNI Saddam , BATTECHE Amer , ABDELKEBIR Oussama , KEBEB Mahdi , BEN SDIRA Mohamed Khaled , BARACH Mohamed , GHOUL Khaled, ALACH abdelkader, AMER kourchi, ...

A tous les étudiants de l'université Ibn Khaldoune



A-abderahmane

SOMMAIRE

INTRODUCTION GENERALE	1
-----------------------------	---

CHAPITRE I : PRESENTATION DE L'ENTREPRISE

I. 1 IDENTIFICATION DE L'ENTREPRISE	3
---	---

CHAPITRE II : REVUE BIBLIOGRAPHIQUE

I.1. INTRODUCTION	5
-------------------------	---

II.2. DEFINITION DE LA MAINTENANCE CONDITIONNELLE	6
---	---

II.3. PRATIQUE DE LA MAINTENANCE CONDITIONNELLE	6
---	---

II.3.1. Détections des défauts	6
--------------------------------------	---

II.3.2. Etablissement d'un diagnostic	6
---	---

II.3.3. Analyse de la tendance	7
--------------------------------------	---

II.4. AVANTAGES ET LIMITES DE LA MAINTENANCE CONDITIONNELLE	7
---	---

II.4.1. Avantages	7
-------------------------	---

II.4.2. Limites	7
-----------------------	---

II.5. OUTILS DE LA MAINTENANCE CONDITIONNELLE	8
---	---

II.5.1. Analyse vibratoire	8
----------------------------------	---

II.5.1.1. Généralités sur les vibrations	8
--	---

II.5.1.2. Activités de l'analyse vibratoire	13
---	----

II.5.1.3. Surveillance	13
------------------------------	----

II.5.1.4. Outils de surveillance	14
--	----

II.5.1.5. Outils de diagnostic	16
--------------------------------------	----

II.5.2. Analyse d'huile et comptage de particules	18
---	----

II.5.2.1. Comptage de particules	19
II.5.2.2. Contamination en eau	20
II.5.2.3. Analyse de dégradation des huiles	20
II.5.3. Thermographie-infrarouge	21
II.5.4. Plage de fonctionnement	22
II.6. CONCLUSION	23

CHAPITRE III: DEFAUTS ET MOYENS DE MESURES DANS LES MACHINES TOURNANTES

III.1.INTRODUCTION	24
III.2. DEFAUTS DANS LES MACHINES TOURNANTES	24
III. 2.1. Défauts détectables par analyse vibratoire (analyse spectrale).....	24
III 2. 1.1. Pics apparaissant à des fréquences multiples ou sous multiples de la fréquence de rotation de rotor	24
III. 2. 1.2. Pics apparaissant à des fréquences non liée à la vitesse du rotor.....	34
III.2.2.Défauts détectables par analyse des huiles	34
III.2.2.1.défauts d'étanchéité.....	34
III.2. 2.2. Défauts d'usure	34
III.2. 3 Défauts détectés par analyse thermographique	34
III.3.MOYENS DE MESURES POUR LES MACHINES TOURNANTES.....	35
III.3.1 Chaîne de mesure	35
III.3.1.1. Capteurs	35
III.3.1.2. Enregistreurs	38
III. 3. 2. Chaîne d'acquisition	38

III.3.3. Instrument d'analyse de comptage de particules	40
III.3.4. instruments d'analyse thermographique	41
III.4. CONCLUSION.....	42

CHAPITRE IV : ETUDE DE CAS

IV.1.INTRODUCTION	43
IV. 2. DESCRIPTION DE L'EQUIPEMENT	43
IV. 3. ROLE DE LA L'EQUIPEMENT	43
IV. 4. PRINCIPE DE FONCTIONNEMENT ET CARACTERISTIQUES	44
IV. 5. DEFAUT ET FREQUENCE CARACTERISTIQUES	45
IV. 6.APPLICATION DE LA MAINTENANCE CONDITIONNELLE	47
IV. 6. 1. L'équipement.....	48
IV. 6. 2. Outils de la maintenance conditionnelle utilises.....	48
IV. 6. 3. Paramètres et exigences de la surveillance	48
IV. 6. 4. Points de mesures.....	48
IV. 6. 5. Seuils de surveillance.....	49
IV. 6. 6. Mesures.....	49
IV. 6. 7. Comparaison et interprétation des résultats	53
IV. 6. 8. Diagnostic	54
IV.7.CONCLUSION.....	55
CONCLUSION GENERALE.....	56

BIBLIOGRAPHIE

ANNEXES.

Liste des figures

Chapitre I : présentation de l'entreprise

Fig. I.1 : localisation de centrale.....	3
Fig. I.2 : constitution de groupe de production.....	4

Chapitre II : méthodes de surveillance et de diagnostic

Fig. II.1 : Schéma synoptique des différents types de maintenance.....	5
Fig.II.2 : vibration harmonique.....	8
Fig.II.3 : Vibration périodique.....	9
Fig.II.4 : Vibration aperiodique.....	9
Fig.II.5 : Les modes de détection.....	11
Fig.II.6 : schéma synoptique des activités d'analyses vibratoires.....	13
Fig.II.7 : Les seuils de surveillance en analyse de niveau globale.....	15
Fig.II.8 : Exemple de spectre PBC.....	16
Fig.II.9 : Représentation spectrale d'un signal temporel.....	17
Fig. II. 10 : Bande spectrale utilisée en thermographie.....	22

Chapitre III : défauts et moyens de mesures dans les machines tournantes

Fig. III.1. Spectre théorique d'un défaut de balourd.....	25
Fig. III.2. Représentation d'un balourd statique.....	26
Fig.III.3.Représentation de balourde de couple.....	26
Fig. III.4. Le type des défauts de désalignement.....	27
Fig. III.5. Signature temporelle d'un défaut de désalignement.....	28
Fig. III.6. Spectre théorique d'un défaut de désalignement.....	28
Fig. III.7. Signal temporel d'un défaut de desserrage ou de jeu.....	29
Fig. III.8. Spectre théorique d'un défaut de désalignement.....	29
Fig. III.9. Exemple d'engrenage.....	30
Fig. III. 10. Spectre théorique d'un engrenage sain.....	31
Fig. III. 11. Spectre théorique d'un défaut d'engrenage.....	31
Fig. III.12. Spectre théorique d'un défaut d'usure complet d'une denture.....	31
Fig. III.13. Spectre théorique d'un défaut d'usure d'une ailette d'une turbine.....	32
Fig. III.14. Tourbillon d'huile.....	33
Fig. III.15. Représentation spectrale d'un tourbillon d'huile.....	33
Fig. III.16.Spectre théorique d'un défaut de frottement.....	34
Fig. III.17 : capteur d'accélération.....	37
Fig. III .18. Capteur de vitesse.....	37
Fig. III.19. Les 4 composants constituant une chaine d'acquisition.....	38

Fig. III .20 . Chaîne d'acquisition numérique.....	39
Fig. III.21. Caméra infrarouge.....	41

Chapitre IV : étude de cas

Fig. IV.1 : Schéma descriptive des éléments de l'équipement.....	43
Fig. IV.2 : Schéma synoptique Plan de maintenance conditionnelle.....	47
Fig. IV.3 : VIBROTEST 60 et ces accessoires.....	50
Fig. IV. 4 : Mesure de la valeur globale de vitesse de vibration de palier 1.....	50
Fig. IV.5 : compteur de particules solides CM20.....	51
Fig. IV.6: thermo CAM P65.....	52
Fig. IV.7 : Image thermique de détecteur de flamme.....	53
Fig. IV.8 : Spectre de mesure horizontale de palier 1.....	54

Liste des tableaux

Tab.II.1. Types d'usures en fonction des particules présentées dans l'huile.....	19
Tab.II.2. Recommandations BENTLY NEVADA.....	20
Tab.II.3. Norme iso de particule.....	20
Tab.IV.1 : défaut et fréquence spécifiques du moteur électrique.....	45
Tab.IV.2.défauts et fréquence spécifiques réducteur de charge.....	46
Tab.IV.3 : défauts et fréquence spécifiques de l'alternateur GOULAUT.....	46
Tab.IV.4 : défauts et fréquence spécifiques de l'excitatrice.....	46
Tab.IV.5 : Recommandation de BENTLY NEVADA pour un palier lisse.....	49
Tab.IV.7 : Résultats de mesure (comptage de particule).....	51
Tab.IV.8: résultats d'analyse d'huile.....	52
Tab.IV.8 : le résultat thermographique de l'équipement.....	53

INTRODUCTION GENERALE

La maintenance est une fonction clé dans le milieu industriel ou la connaissance des machines est un facteur indispensable pour permettre toute planification

Dans l'industrie les équipements sont classés suivant leur importance en quatre catégories : vitale, importante non-doublé, importante doublé et secondaire doublé, parmi les équipements importants les machines tournantes représentent une grande part, dans le besoin d'une maintenance conditionnelle se présente afin de suivre l'évolution de dégradation de l'état de notre équipement et d'intervenir sur la machine au bon moment.

L'orientation de l'intervention mécanique pendant l'arrêt grâce à diagnostic préalable de manière à :

- Diminuer la durée d'entretien de 0.8% à 20%.
- Optimiser la durée des interventions.
- Optimiser les stocks des pièces de rechange.
- Prolonger les intervalles de temps entre les arrêts systématique (en estimant la nécessité de l'arrêt).
- Diminuer les pertes d'exploitations en évitant les arrêts intempestifs.

L'objectif de notre étude est l'application d'une maintenance conditionnelle à un turboalternateur dans le central SPE TIARET, nous allons utiliser les outils suivant : analyse vibratoire, analyse thermographique, analyse d'huile et comptage des particules, dans le but de détecter les débuts de défaillance et d'intervenir en bon moment.

Cette étude est étendue sur quatre chapitres repartis comme suite :

Le premier chapitre porte une présentation de l'entreprise.

Les méthodes de surveillance et de diagnostic sont l'objet du second chapitre, qui comprend une définition de la maintenance conditionnelle, ces avantages, ces limites et une définition détaillée des trois outils de diagnostic utilisées dans notre étude de cas.

Le troisième chapitre est consacré à la présentation de la plupart des défauts qui peuvent infecter les machines tourments. Il décrit les différents défauts, ces signatures et les outils de la maintenance conditionnelle utilises pour les localisés et les moyens et instrument de mesure utilisés par les trois outils présentées de la maintenance conditionnelle sur les machine tournantes.

Introduction générale

Le quatrième chapitre est la phase pratique de notre projet de fin d'étude.ils'agit d'une application d'une maintenance conditionnelle pour le faire (analyse vibratoire, analyse thermographique, analyse d'huile et comptage de particule), nous allons faire des mesures avec ces outils qui seront présenté dans ce chapitre, des interprétations des résultats suivies d'un diagnostic et à la fin en termine avec des recommandations aux équipes maintenance.

CHAPITRE I:

PRESENTATION DE L'ENTREPRISE

I.1 IDENTIFICATION DE L'ENTREPRISE

Nom de l'entreprise :

Société de production l'électricité et du Gaz de Tiaret.

. Localisation

Cette centrale productrice d'énergie électrique appartenant à l'entreprise' SONAELGAZ, est située au sud-est de la ville de Tiaret. Elle est étalée sur une superficie de 40 hectares.



Fig. I.1 : *localisation de centrale*

. la stricte de centrale :

La centrale se compose de deux centrales à gaz :

La centrale de FIAT:

Une ancienne fabrique de 04 groupes TURBO-ALTERNATORS construite à la fin des années 70 par le constructeur italien FIAT. Sa puissance totale est de 100 mégawatts.

La centrale d'ALSTHOM:

C'est la plus récente, elle a été implantée entre les années 1987 et 1990 par le constructeur français ALSTHOM, formée de 03 groupes TURBO-ALTERNATORS, elle développe une puissance totale de 300 mégawatts.

Constitution de groupe de production:

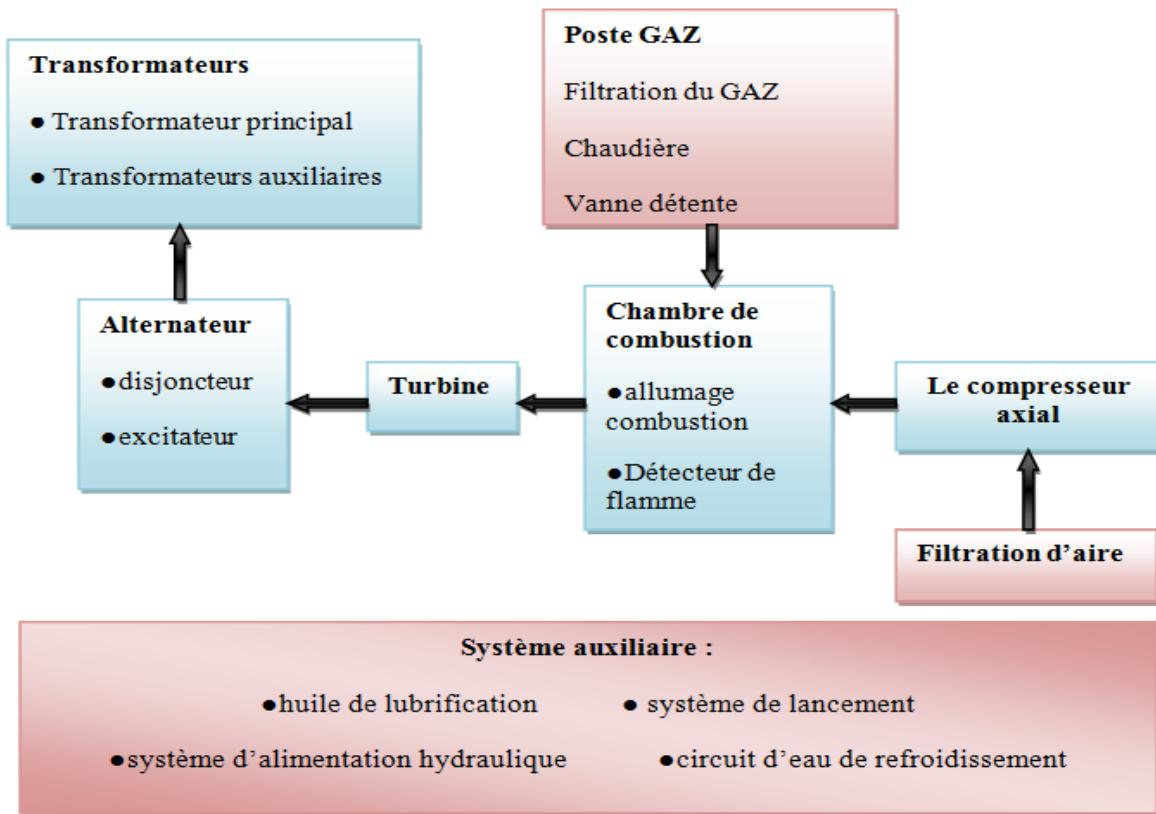


Fig. I.2 : constitution de groupe de production

CHAPITRE II:

METHODES DE SURVEILLANCE ET DE DIAGNOSTIC

II. 1. INTRODUCTION

La maintenance industrielle a pour assurer le bon fonctionnement des outils de production, elle est une fonction stratégique dans les entreprises. Intimement liée à l'incessant développement technologique, à l'apparition de nouveaux modes de gestion, à la nécessité de réduire les coûts de production, elle est en constante évolution. Elle n'a plus aujourd'hui comme seul objectif de réparer l'outil de travail mais aussi de prévoir et éviter les dysfonctionnements. Au fil de ces changements, l'activité des personnels de maintenance également évolue, pour combiner compétences technologiques, organisationnelles et relationnelles.

Pour atteindre ces objectifs la maintenance industrielle classée en générale aux trois phases :

- Maintenance corrective.
- Maintenance préventive
- Maintenance systématique.
- Maintenance conditionnelle.

Les deux derniers types enveloppent une autre phase, comme l'explique le schéma synoptique suivant :

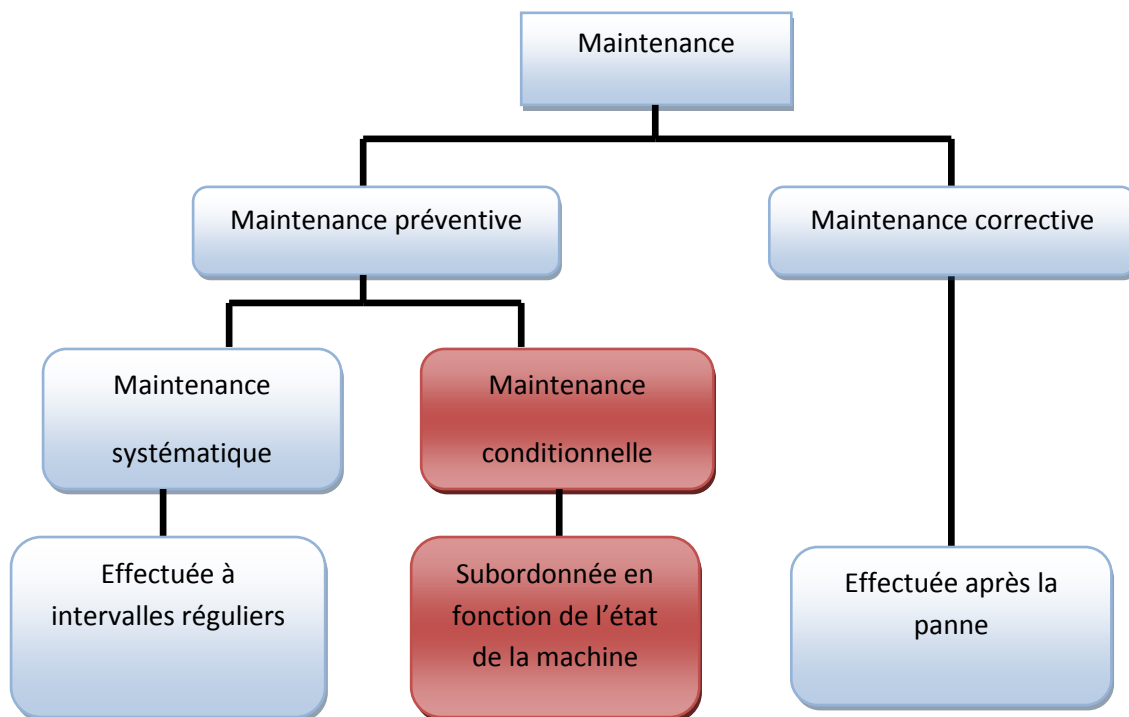


Fig. II.1 : Schéma synoptique des différents types de maintenance

Dans ce chapitre on s'intéresse à la maintenance conditionnelle, ces outils qui concernent les machines tournantes.

II. 2. DEFINITION DE LA MAINTENANCE CONDITIONNELLE [2]

C'est une maintenance préventive subordonnée à un type d'événement prédéterminé (autodiagnostic information donnée par un capteur, mesure d'une usure, . . . etc.) révélateur de l'état de dégradation d'un bien. On appelle aussi ce type de maintenance: maintenance prédictive ou prévisionnelle. La maintenance conditionnelle permet de réajuster les prévisions d'opérations à effectuer, en estimant la tendance évolutive du dysfonctionnement éventuel détecté sur une machine et le temps pendant lequel il est possible de continuer à l'utiliser avant la panne. Ces estimations se font à partir des analyses périodiques de l'état de chaque équipement obtenus par les méthodes de la maintenance conditionnelle.

II. 3. PRATIQUE DE LA MAINTENANCE CONDITIONNELLE [2]

Un démontage, un remplacement coûtent cher en temps et en perte de production. La pratique de la maintenance conditionnelle consiste à ne changer l'élément que lorsque celui-ci présente des signes de vieillissement ou d'usures mettant en cause, à brève échéance, ces préfinances. La maintenance conditionnelle comporte trois phases :

- La détection du défaut.
- L'établissement d'un diagnostic.
- L'analyse de la tendance.

II. 3. 1. Détections des défauts :

À la mise en route de chaque équipement, les principales caractéristiques de base des machines sont enregistrées, notamment la signature vibratoire et les divers paramètres de fonctionnement (température, performance...).

Ces caractéristiques ou signatures, serviront de référence pour suivre, par comparaison, l'évolution d'éventuels défauts ultérieurs.

II. 3. 2. Etablissement d'un diagnostic :

Des qu'une anomalie est détectée par les outils de la maintenance conditionnelle, le responsable d'entretien aura la charge d'établir, dans la mesure du possible, un diagnostic concernant l'origine et la gravité du défaut constaté.

II. 3. 3. Analyse de la tendance :

Le diagnostic permet au responsable de préjuger du temps dont il dispose, avant l'apanne pour laisser l'équipement fonctionner et prévoir la réparation.

II. 4. AVANTAGES ET LIMITES DE LA MAINTENANCE CONDITIONNELLE [12]

La maintenance conditionnelle est caractérisée par ces avantages et quelques limites comme suite :

II. 4. 1. Avantages :

La maintenance conditionnelle présente des divers avantages parmi elles :

- Une augmentation de la longévité du matériel.
- Un contrôle de matériel mieux géré.
- Un cout de réparation moins élève.
- Une amélioration de la productibilité de l'entreprise.
- La limitation de stock des pièces de rechanges.
- Une amélioration de sécurité.
- Une plus grande motivation de la personnelle maintenance.
- Une image de marque de la société

II. 4. 2. Limites

Il existe deux catégories des limites pour la maintenance conditionnelle :

❖ Techniques

L'efficacité d'une maintenance conditionnelle est subordonnée à l'efficacité et la Fiabilité des paramètres de mesures qui la caractérisent.

La maintenance conditionnelle sera donc réservée aux matériels dont l'évolution d'éventuels défauts est facilement détectable et mesurable avec des capteurs fiables.

❖ Economiques

Le service maintenance doit gérer et entretenir un parc de machines avec le plus de Fiabilité possible, au plus juste cout.

Le choix du type de maintenance devra toujours résulter d'un compromis financier et technique. De ce fait l'ingénieur responsable devra effectuer pour chaque machine la comparaison des avantages et inconvénients inhérents à chaque type de maintenance.

La maintenance conditionnelle est appliquée aux machines tournantes lorsque ces avantages sont supérieurs au cout de la maintenance systématique ou corrective.

II. 5. OUTILS DE LA MAINTENANCE CONDITIONNELLE

Généralement pour faire une bonne application de la maintenance conditionnelle il faut choisir les outils les plus convenables, pour les machines tournantes les outils les plus adaptés pour la surveillance et au diagnostic sont :

- Analyse vibratoire.
- Analyse d'huile.
- La thermographie infrarouge.

II. 5. 1. Analyse vibratoire :

Une onde vibratoire peut être étudiée par plusieurs méthodes (analyse de niveau globale, analyse spectrale...) qui correspondent à des niveaux différents de connaissance du phénomène et à l'utilisation des outils d'analyse plus ou moins sophistiqués.

II. 5. 1. 1. Généralités sur les vibrations :

Toute machine en fonctionnement induit des vibrations, Les vibrations sont des déplacements ou des déformations alternatives d'objets matériels, les vibrations sont rarement stables, l'amplitude et sa répartition spectrale varient sans pour autant diverger à court terme, elles ne sont pas stationnaires. Le mouvement (la vitesse, l'accélération) est donc au moins de sens variable, il peut aussi être irrégulier en direction, en amplitude et en fréquence.

Selon la norme AFNOR E90 001, une vibration mécanique est une caractéristique du mouvement ou la position d'un système mécanique, lorsque la grandeur est alternativement plus grande et plus petite qu'une certaine valeur moyenne ou la référence.

A. Les différentes formes de vibrations :

On distingue trois formes de vibrations qui sont classées suivant leur périodicité.

- vibration harmonique.
- vibration périodique.
- vibration aperiodique.

❖ Vibration harmonique

Une vibration harmonique est une vibration qui est représentée par une sinusoïde dans un diagramme amplitude-temps (Fig.II.2)

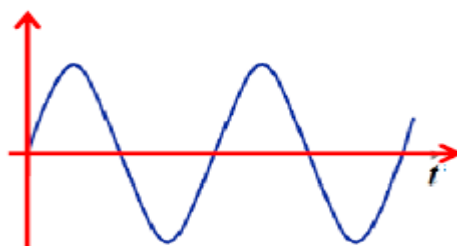


Fig.II.2 : vibration harmonique

Exemple

Le balourd affecte un rotor en mouvement générer une vibration harmonique, elle est décrite par l'équation :

$$X(t) = X \sin (\omega t + \varphi) \dots\dots\dots (II. 1)$$

❖ Vibration périodique

Une vibration périodique peut correspondre à un mouvement sinusoïdal pur ou a un mouvement complexe périodique que l'on peut décomposer en une somme de mouvements sinusoïdaux élémentaires, plus facile à analyser.

Les mouvements sinusoïdaux élémentaires sont appelés composantes harmoniques et leurs fréquences sont des multiples entiers de la fréquence du mouvement étudié qui est appelée << fréquence fondamentale >> ou fréquence de harmonique d'ordre 1.

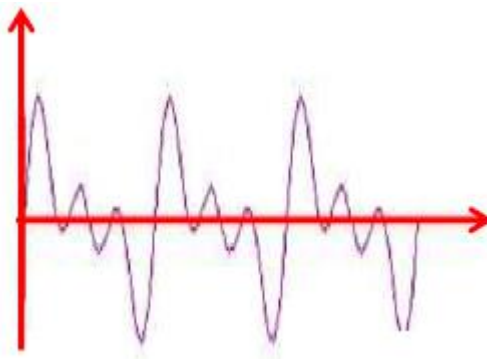


Fig.II.3 : Vibration périodique

❖ Vibration apériodique

Une vibration apériodique ou aléatoire est celle que son comportement temporel est quelconque, c'est-à-dire que l'on n'observe jamais de reproductibilité dans le temps.

Exemple : les chocs enregistrés dans un broyeur.

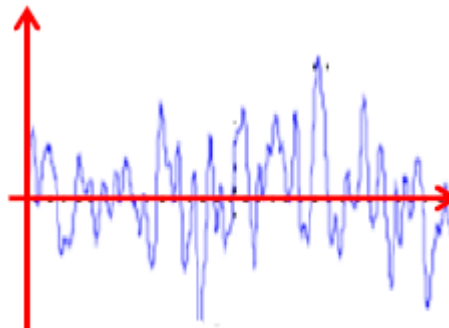


Fig.II.4 : Vibration apériodique

Elle décrit par l'équation :

$$X(t) = \sum_{i=1}^{\infty} (X_i \cdot \sin(\omega_i t + \varphi_i)) \dots \dots \dots (II.2)$$

❖ Vocabulaire

Variable : $x(t)$ valeur instantanée de la grandeur considérée.

Module : X la plus grande valeur que la variable $x(t)$ puisse prendre.

Période : T l'intervalle de temps au bout duquel la variable $x(t)$ reprend la même valeur dans la même direction (unité : seconde [s]).

Fréquence : F c'est le nombre de période par unité de temps. La fréquence est l'inverse de la période.

Les unités usuelles de mesure de la fréquence sont :

- 1 hertz [Hz], égal à 1 cycle par seconde.
- le cycle par minute

Pulsation : ω Encore appelée vitesse angulaire, sa formule est : $\omega = 2\pi f$. Unité : radian/seconde [rad/s].

Phase : ϕ La phase est représentative du temps qui s'écoule entre une référence que l'on se donne et l'instant que l'on considère. Elle est exprimée en unités d'angle, sachant que :

- à $t=0$, $\phi = 0$ rad
- à $t=T$, $\phi = 2\pi$ rad ou 360°

La notion de phase n'a de signification que pour une vibration harmonique.

B. Modes de détections [3] :

En mesure vibratoire, on utilise couramment trois modes de détection.

- ❖ Valeur efficace X_{eff} : Pour une vibration périodique, cette valeur est la moyenne quadratique des valeurs efficaces de chacune des vibrations harmoniques la constituant

$$X_{eff} = \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T [X(t)]^2 dt} \dots \dots \dots (II.3)$$

Dans la littérature, elle peut également être notée X_{rms} (rms = root mean square).

- ❖ Valeur crête X_c : La valeur crête d'une vibration est la valeur maximale prise par la variable $x(t)$ dans l'un des sens positif ou négatif.

Dans la littérature, X_c peut également être notée X_p (peak) ou X_s (Spitze) ou encore X_t .

- ❖ Valeur crête à crête X_{cc} : La valeur crête à crête d'une vibration est la somme des deux valeurs crêtes pour les sens positif et négatif.

Dans la littérature, X_{cc} peut également être notée X_{pp} (peak to peak) ou X_{ss} (Spitze-Spitz).

Pour une vibration harmonique, à l'exclusion de toute autre vibration périodique, les relations suivantes sont vérifiées :

$$X_{eff} = \frac{X_c}{\sqrt{2}} = \frac{X_c}{2\sqrt{2}} \dots \dots \dots (II.4)$$

$$X_c = X_{eff} \cdot \sqrt{2} = \frac{X_{cc}}{2} \dots \dots \dots (II.5)$$

$$X_c = X_{eff} \cdot 2\sqrt{2} = 2 \cdot X_c \dots \dots \dots (II.6)$$

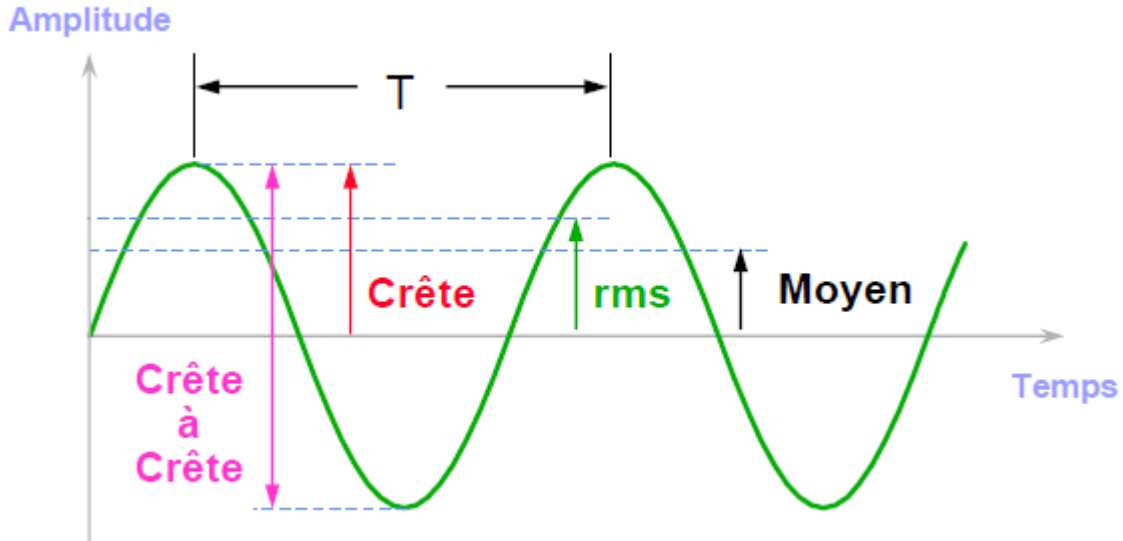


Fig.II.5 : Les modes de détection

Les différents modes de détection peuvent être utilisés comme suite :

- On choisira de faire une mesure efficace Lorsque l'on cherchera à apprécier l'énergie mise en jeu dans la Machine (effet de la moyenne quadratique).
- On choisira de faire des mesures crête ou crête a crête Lorsque l'on cherchera à apprécier les contraintes maximales subies par la machine (effet des valeurs maximales).

C. Grandeurs de mesures des vibrations mécaniques [3]

On distingue trois grandeurs pour mesurer une vibration mécanique :

- ❖ Le déplacement vibratoire $x(t)$

C'est la distance entre le point mesure et le point de repos, l'unité de mesure est le mètre (m).

$$X(t) = X \sin(\omega t + \varphi) \dots \dots \dots (II.7)$$

❖ Vitesse vibratoire $v(t)$

C'est une variation de déplacement de point considéré sur un intervalle de temps, l'unité de mesure est (m/s).

$$V(t) = \frac{dX(t)}{dt} = X\omega \cos(\omega t + \varphi) \dots \dots \dots (II.8)$$

$$V(t) = X\omega \sin(\omega t + \varphi + \frac{\pi}{2}) \dots \dots \dots (II.9)$$

$$V(t) = V \sin(\omega t + \varphi + \frac{\pi}{2}) \dots \dots \dots (II.10)$$

❖ L'accélération vibratoire $a(t)$

C'est la variation des vitesses vibratoires en fonction du temps, l'unité de mesure est (m/s²)

$$a(t) = \frac{dv(t)}{dt} = -V\omega \sin(\omega t + \varphi + \frac{\pi}{2}) \dots \dots \dots (II.11)$$

$$a(t) = A \sin(\omega t + \varphi + \pi) \dots \dots \dots (II.12)$$

$$a(t) = -A \sin(\omega t + \varphi) \dots \dots \dots (II.13)$$

Relation entre X, V et A : ils ne sont valables que pour des vibrations purement harmoniques avec une seule vitesse angulaire ω .

$$|s| = \frac{|v|}{\omega} = \frac{A}{\omega^2} \dots \dots \dots (II.14)$$

$$|v| = |s|\omega = \frac{|A|}{\omega} \dots \dots \dots (II.15)$$

$$|A| = |v|\omega = |s|\omega^2 \dots \dots \dots (II.16)$$

Les équations précédentes montrent que l'on choisira de préférence :

La grandeur déplacement pour détecter des phénomènes à basse fréquence $\omega = 2\pi f_{\text{petit}}$.

La grandeur accélération pour détecter des phénomènes à haute fréquence $\omega = 2\pi f_{\text{grand}}$.

La grandeur vitesse pour détecter des phénomènes se situant dans une large gamme de fréquence $\omega = 2\pi f_{\text{moyen}}$.

D. Inconvénients des vibrations :

- Provoquent la fatigue des matériaux qui peut conduire à leur destruction prématurée.
- Les vibrations d'un élément de machine par rapport à un autre peuvent provoquer leur contact.
- Les vibrations excitent par voie mécanique et par voie aérienne les corps vivants, ceux des hommes, leurs systèmes nerveux.

II. 5. 1. 2. Activités de l'analyse vibratoire :

On distingue deux principales activités :

- La surveillance.
- Le diagnostic.

L'outil de mesure enregistre le signal vibratoire brut, ensuite on définit des indicateurs calculés à partir de ce signal en fonction des besoins de l'analyse. Il existe deux types d'indicateurs :

- Indicateur de surveillance.
- Indicateur de diagnostic.

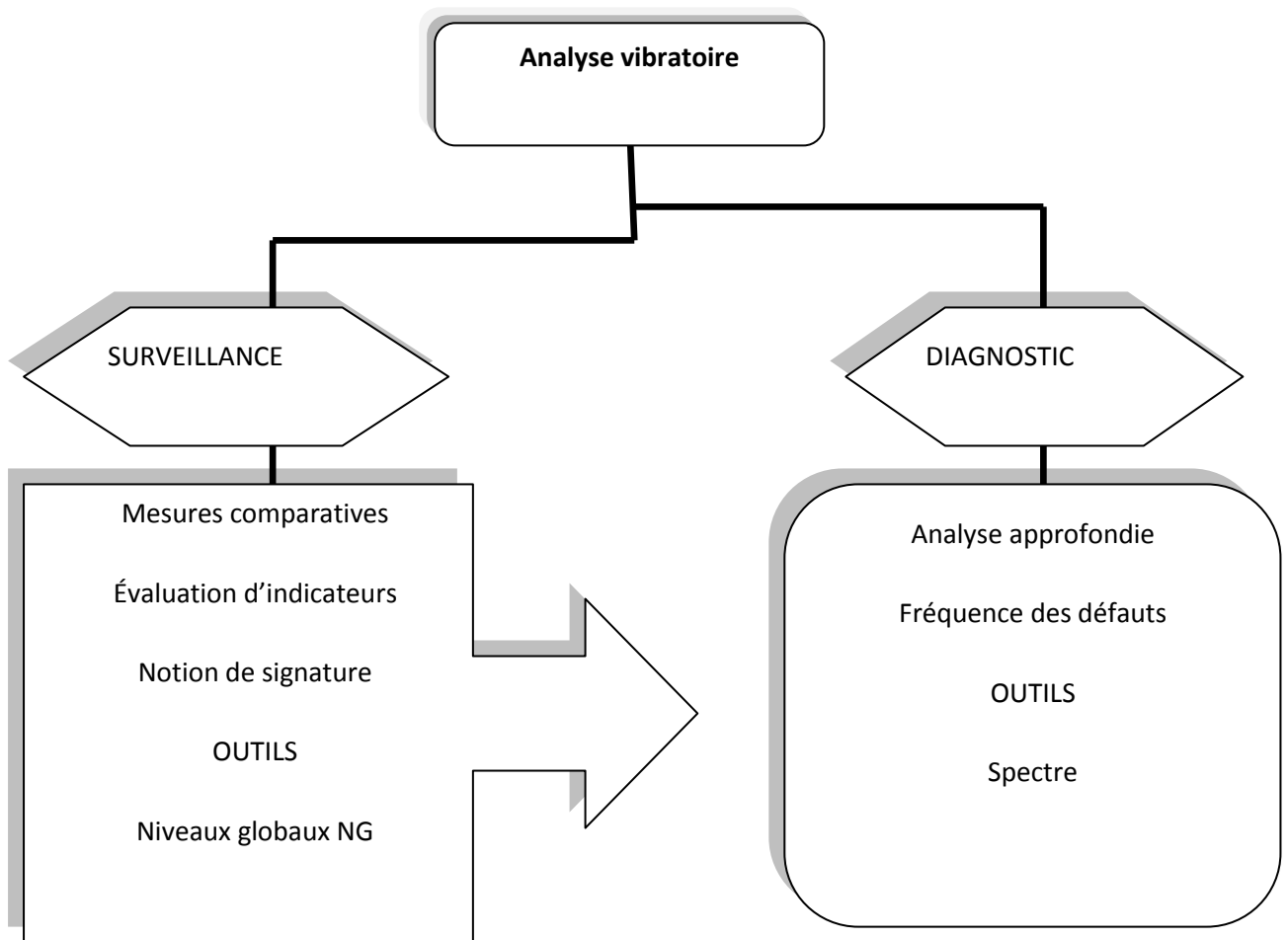


Fig.II.6 : schéma synoptique des activités d'analyses vibratoires

II. 5.1. 3. Surveillance :

Le but est de suivre l'évolution successive des vibrations d'une machine par une Comparaison des valeurs de référence constituant la signature d'alerte qui est établie à partir d'une première campagne de mesure sur la machine neuve ou révisée. Elle peut détecter un fonctionnement anormal et déclencher un arrêt avant la panne des machines.

Le signal provenant d'un capteur posé sur une machine sera dépendant de tous ses paramètres de

fonctionnement et du bon ou mauvais état de tous ses éléments, et les amplitudes relevées en déplacement, vitesse ou accélération nous donnent une indication globale sur ces derniers. Ces valeurs d'amplitudes sont appelées niveaux globaux (crête à crête et valeur efficace).

II. 5. 1. 4. Outils de surveillance :

Ce sont des grandeurs physiques employées régulièrement pour la surveillance des installations. Leurs évolutions permettent d'alerter les utilisateurs d'une dégradation du fonctionnement sans pour autant désigner l'élément défectueux, on distingue :

- Les indicateurs scalaires ou niveaux globaux (N G).
- Les indicateurs de forme ou de spectres.

A. Analyse de niveaux globaux [4] :

La mesure de la valeur globale est une méthode approximative d'analyse de signal qui fait abstraction du paramètre fréquentiel pour ne mesurer que l'amplitude évaluée à différentes façons. Les niveaux globaux sont des indicateurs scalaires plus ou moins sensibles à un nombre important de phénomènes.

La surveillance par niveaux globaux ne peut donc convenir que dans le cadre d'une politique de sécurité. Elle permet de détecter un fonctionnement anormal et de déclencher un arrêt avant la panne des installations.

Les indicateurs de surveillance sont classés suivant trois catégories :

❖ Indicateur basse fréquence (signal de grande énergie) de déplacement crête à crête entre [10, 1000] Hz : D_{CC} (en μm)

C'est l'indicateur préconisé par l'API (American Petroleum Institut). Il est utilisé par tout industriel intervenant dans la pétrochimie et il est sensible aux phénomènes dits « basses fréquences ».

❖ Indicateur basse fréquence Vitesse efficace [10, 1000] Hz : V_{eff} (en mm/s)

Cet indicateur est un révélateur des phénomènes dits « basses fréquences ». Ces phénomènes sont les plus énergétiques donc les plus destructeurs. Ils peuvent aussi être à l'origine de desserrages ou de fissures.

Une augmentation du balourd, un défaut de lignage, se traduira par une augmentation anormale de cet indicateur qui est pris comme référence dans la norme ISO 10816.

❖ Indicateur hautes fréquences (signal de faible énergie) Acc_{eff} [1-10 KHZ] (en g ou m/s^2) C'est un indicateur révélateur des phénomènes dits « hautes fréquences » tels que les défauts de roulement, de denture

Quel que soit le mode de relève retenue le responsable se trouve confronté à la Définition des seuils à partir desquels il aura à prendre une décision, donc il faut utiliser :

- L'historique des pannes liées à la machine.

- La signature de l'état initial de la machine (vibration, huile. . .).
- Les statistiques et les normes se rapportant à la machine.
- Le conseil d'éventuelles sociétés spécialisées dans ce type de prestations.

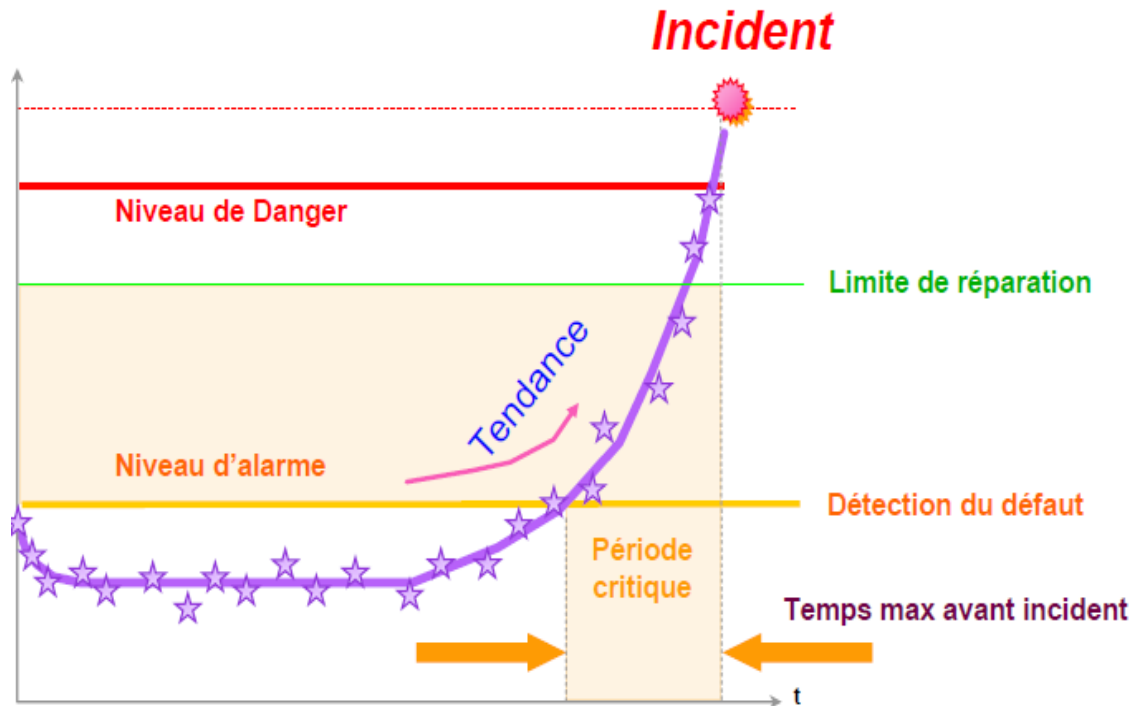


Fig.II.7 : Les seuils de surveillance en analyse de niveau globale

L'indicateur d'état évolue dans le temps. On définit alors au moins à seuils :

- Niveau de d'alarme (Un seuil d'alarme) : il nous prévient que l'état de la machine se dégrade et qu'il prévoir une intervention de maintenance. On a le temps de programmer l'arrête la machine afin de pénaliser le moins possible la production.
- Niveau de danger (Un seuil de critique): il nous prévient de l'imminence d'une panne. Il faut intervenir rapidement.

On peut également définir des seuils intermédiaires afin d'être plus précis dans notre analyse. Cependant, des ordres de grandeurs de niveaux acceptables, alarmants ou critiques, sont indiqués dans les normes (ISO).

Le suivi simultané des 3 niveaux globaux de déplacement, vitesse et accélération est un indicateur de l'origine du phénomène. Il ne permet pas d'établir un diagnostic précis, mais d'orienter le diagnostic.

B. Indicateurs de forme (spectre PBC) [5] :

C'est une technique able et rapide. Elle constitue un bon crible.

Une largeur de bande relative de 6% apporte une solution optimale à tous les problèmes courants sur les machines simples.

- Niveau de référence : (Vert) représente la signature de la machine. Cette signature est établie lors des premières campagnes de mesures.
- Niveau d'alerte : (jaune) est déduit du niveau de référence de la façon suivante : $\text{Alerte} = \text{Référence} + X\text{dB}$.
- Niveau de critique : (rouge) est déduit du niveau de référence de la façon suivante : $\text{Danger} = \text{Référence} + Y\text{dB}$.

X et Y sont définis soit par le logiciel utilisé (il existe des << standards >> tels que $X = 6\text{dB}$ et $Y = 20\text{dB}$), soit par l'analyse si celui-ci a suffisamment d'expérience.

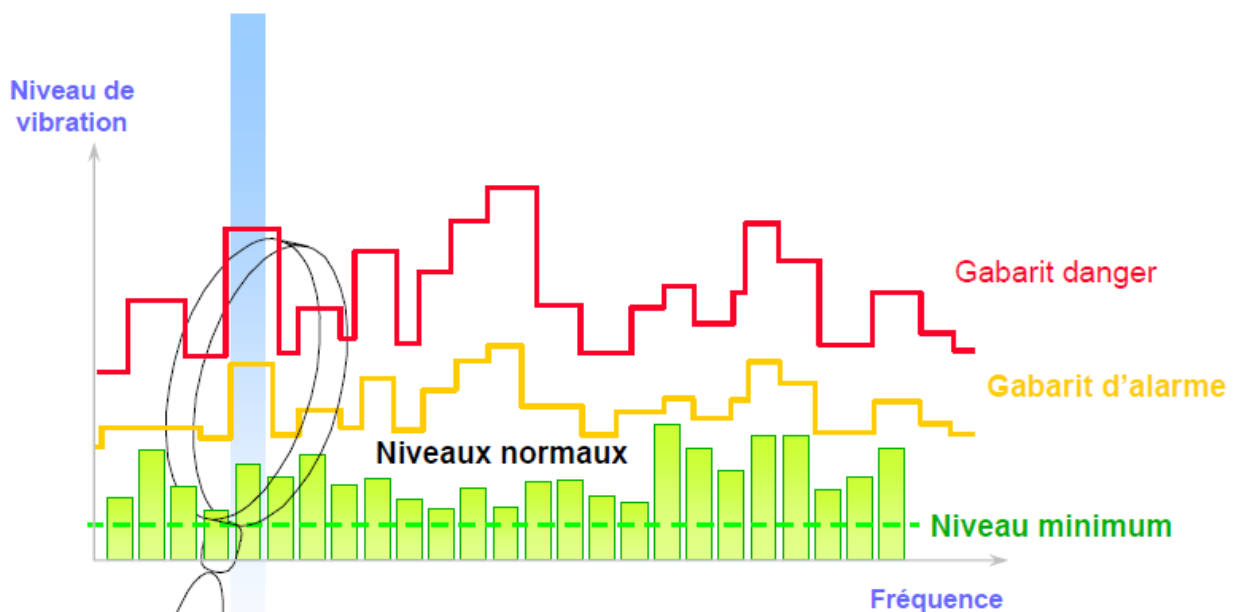


Fig.II.8 : Exemple de spectre PBC

II. 5. 1. 5. Outils de diagnostic :

Ces indicateurs sont utilisés lorsque l'on détecte une anomalie par surveillance.

Le diagnostic du défaut détecté demande souvent une précision que ne peuvent donner les indicateurs de surveillance. Pour cela, les maintenanciers doivent disposer des outils suivants :

- Les indicateurs généraux (spectres).
- Les indicateurs spécifiques.

A. Indicateurs généraux (spectre) [5]

Le spectre est l'outil de cette analyse, il se présente sous forme d'un graphique montrant l'amplitude de la vibration à chaque fréquence. Donc dans un spectre toutes les composantes du signal vibratoire sont représentées sous forme de pics et l'on peut suivre individuellement la variation d'amplitude et sa fréquence correspondante.

Un spectre permet de déterminer non seulement l'importance de l'anomalie mais aussi sa nature (balourd, désalignement, roulements et engrenages...) Le diagnostic rendu possible permet de définir la cause et l'urgence de l'intervention à effectuer. Pour cela il ya plusieurs analyseurs (Schenckdunégan, IRD...) informatisés ou non, qui sont des appareils très pratiques, bien adaptés à la maintenance industrielle et qui permettent de diagnostiquer l'évolution des différentes raies du spectre, mais limiter par manque de précision pour le diagnostic de défauts plus complexes _ comme les engrenages, les phénomènes électromagnétiques et les défauts simples de machines à faible vitesse. Il ya aussi des analyseurs haute résolution (type BRUEL et KJABR) qui sont des appareils plus sophistiqués et précis mais plus complexes à l'utilisation

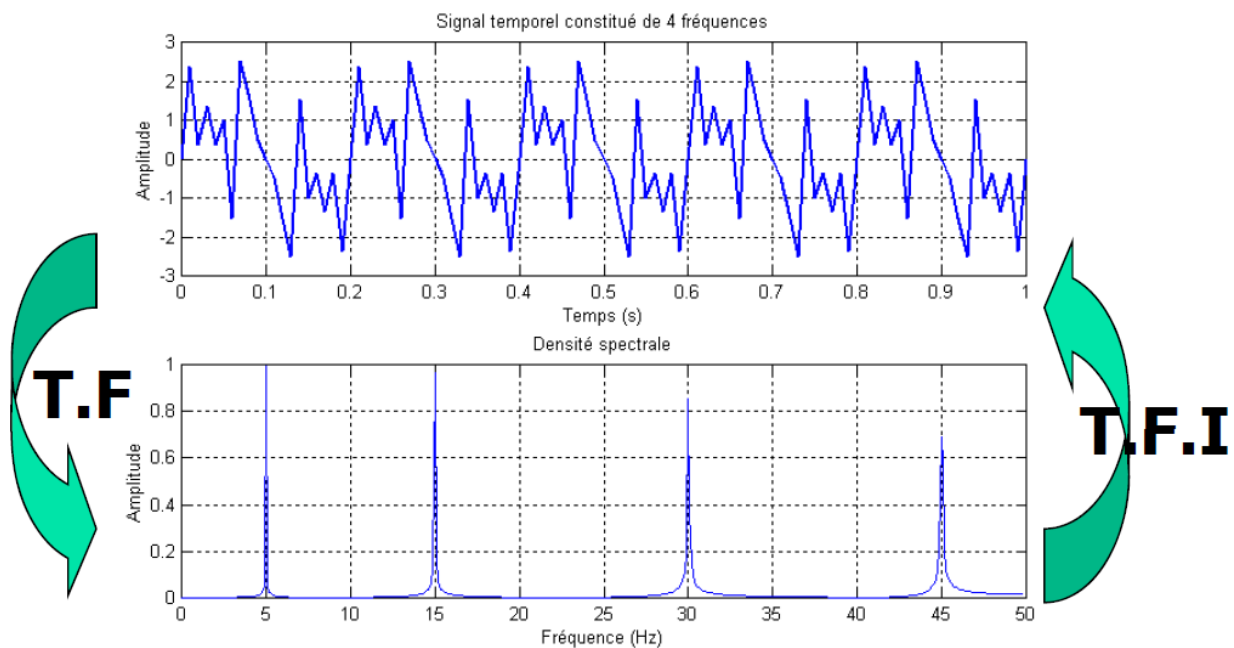


Fig.II.9 : Représentation spectrale d'un signal temporel

B. Indicateur spécifique

Parmi les indicateurs spécifiques on trouve :

- Cepstre [5]

C'est la représentation de la transformée de Fourier du spectre, soit deux fois la transformée de Fourier du signal temporel de base. L'image obtenue est une courbe fonction du temps mesuré en secondes.

C'est un outil de diagnostic utilisé pour distinguer des défauts qui donnent des images spectrales complexes dues à plusieurs modulations d'amplitude concomitantes. Les engrenages peuvent nécessiter ce type d'analyse. En effet, la fréquence d'engrènement est souvent modulée par les fréquences de rotation des roues menantes et menées.

Le cepstre permet de séparer et d'identifier sur une seule image toutes les fréquences de modulation (fréquences de rotation des arbres d'entrée, intermédiaire et de sortie dans un réducteur).

❖ Analyse d'enveloppe [5]

Cette technique est très utilisée pour la détection des défauts qui se manifestent dans les hautes fréquences. Un spectre enveloppe doit se paramétrer de façon précise sur deux gammes de fréquences différentes :

- la gamme haute fréquence : c'est la gamme de fréquences excitée par les défauts sur laquelle réagit la structure. Elle est généralement comprise entre 1 et 10 kHz. C'est la gamme dont les valeurs croissent en forme de « cloche » sur un spectre PBC ou RC HF.
- la gamme de fréquences des défauts « excitateurs » possibles. Ces défauts sont ceux des roulements.

II. 5. 2. Analyse d'huile et comptage de particules :

Les lubrifiants en service dans les installations industrielles sont soumis à des phénomènes de dégradation et de contamination qui évoluent dans le temps et les rendent inaptés à leur emploi. Il est donc nécessaire de les remplacer régulièrement, à ce titre, les constructeurs donnent souvent la fréquence moyenne de vidange qu'il suffit de respecter ou d'adapter le cas échéant à la sévérité des conditions de service des machines.

Mais pour les installations qui nécessitent de gros volumes d'huile, il est également possible de surveiller régulièrement les lubrifiants en service, afin de ne les remplacer que lorsqu'ils présentent des niveaux de dégradations et de contamination trop importants. Dans ce cas, les analyses mises en œuvre pour suivre les caractéristiques de l'huile fournissent aussi des informations intéressantes sur l'usure des organes de la machine.

En effet, les particules métalliques véhiculées par l'huile sont de vrais révélateurs de l'usure des systèmes en frottement. Les phénomènes de dégradations et de contamination sont étudiés, au moyen de méthodes d'analyses de laboratoire ou bien à l'aide des méthodes rapides de contrôle, utilisées directement sur les sites industriels.

Comme il n'est pas possible de caractériser de manière globale les niveaux de dégradations et de contamination d'une huile en service au moyen d'une seule analyse, on fera appel à un ensemble d'analyses répondant au mieux aux objectifs fixés. Les divers contrôles.

Qui se font sur l'huile pour suivre son état et l'état de la machine sont :

- Comptage de particules.
- La contamination en eau.
- La spectrographie infrarouge.
- Mesure de l'indice d'acide TAN.

II. 5. 2. 1. Comptage de particules [7] :

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 ml. 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).

On vérifie alors si l'huile est conforme pour l'utilisation que l'on fait. On peut également noter l'élévation de la pollution au cours du temps. Les particules observées dans l'huile représentent un type d'usure bien déterminé, une surveillance des particules présente (la taille des particules et le nombre) c'est le meilleur moyen pour lutter contre les types d'usure les plus dangereux (Tab. II. 1).

Tab. II.1. Types d'usures en fonction des particules présentées dans l'huile

Forme des particules	Type d'usure	Importance d'usure
Petites plaquettes 0.3µm à 5µm	Adhésive	Normale
Gros plaquettes 5µm à 150µm	Grippage	Dangereuse
Ecailles 20µm à 1 µm	Ecaillage	Dangereuse
Copeaux enroulé Bouclé	Abrasion	Grave, surtout si les copeaux Sont nombreux
Sphères métalliques Petites 1µm à 5µm grosses >10µm	Fatigue des roulements Cavitation-érosion	Incident grave Incident grave
Sphères plastiques	Dépôts d'additifs	
Magma, agglomération 2µm à 150µm	Corrosion-oxydation	Incident grave

La surveillance d'huile se fait sur des critères normalisés, on utilise pour les paliers lisse et les paliers à roulement les recommandations de BENTLY NEVADA (Tab. II.2).

On place un appareil sur la sortie de circuit d'huile, cet appareil prend un échantillon de 100 ml et donne le nombre de particules trouvées sur plusieurs catégories suivant leur taille.

Un résultat sain c'est un résultat qui ne dépasse pas le seuil d'alerte de cette norme iso (Tab. II.3).

Tab. II.2. Recommendations BENTLY NEVADA

Equipement	Classification iso
Palier lisse	17/15/12
Palier à roulement	16/14/12

Tab. II.3. Norme iso de particule

Norme iso	Nombre de particule max admissible dans 100ml		
	>2µm	>5µm	>15µm
16/14/12	32000	8000	2000
17/15/12	65000	16000	2000

II. 5. 2. 2. Contamination en eau [8] :

La présence d'eau dans l'huile peut entraîner de graves défaillances sur les systèmes mécaniques et hydrauliques : cavitation, corrosion, réactions chimiques avec les additifs, etc. L'eau pénètre dans les systèmes mécaniques et hydrauliques, généralement par condensation ou par fuite (fuite sur un échangeur, lavage avec un nettoyeur à haute pression, etc.). Dans les systèmes hydrauliques à haute pression, il est nécessaire de surveiller et de limiter la présence d'eau dans l'huile à une valeur inférieure à 0,5%.

II. 5. 2. 3. Analyse de dégradation des huiles [8] :**A. Aspect visuel :**

La plupart des huiles neuves ont une couleur claire, par conséquent une couleur rougeâtre laisse supposer une altération thermique. L'aspect brouillé ou opaque fera suspecter la présence d'eau

B. Masse volumique :

La densité ne peut être considérée comme une caractéristique d'identification du lubrifiant. Un important changement de densité dans un sens décroissant indique une dilution et par contre un accroissement indique une pollution par l'eau. La masse volumique des huiles minérales varie de 0.85 à 0.95 kg/m³.

C. Viscosité :

La viscosité d'un liquide est la propriété de ce liquide, résultant de la résistance qu'opposent ses molécules à une force tendant à les déplacer par glissement dans son sein

D. Indice de viscosité :

Il caractérise le comportement de la viscosité en fonction de la température. Les huiles dont l'indice de viscosité est élevé ont de faibles variations de viscosité.

E. Point éclair :

C'est la température à laquelle un mélange de vapeur d'huile et d'air prend feu au contact d'une flamme, c'est le point d'inflammabilité, pour une huile neuve, il varie de 180°C à 250 °C.

F. Point d'écoulement :

Il définit la température à laquelle l'huile réchauffée puis refroidie dans des conditions normalisées, commence à couler, il donne une indication sur la température minimum d'utilisation.

G. Teneur en cendres :

C'est le poids de résidus qui demeurent quand l'huile est complètement brûlée. Il est évident qu'il y a intérêt à utiliser des huiles à faible teneur en cendre, afin d'éviter notamment les dépôts de calamine dans les cylindres ou l'huile, étant donné la forte température. Une teneur en cendre élevée indique une forte usure ou une pollution importante par les poussières atmosphériques.

H. Indice d'acide total :

L'indice d'acide total 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. Dans le cas où l'acidité deviendrait très importante et donc corrosive, l'indice d'acidité total devient un déclencheur de vidange.

II. Indice de base total :

Permet de vérifier la réserve d'alcalinité de l'huile, Ce contrôle permet d'apprécier la faculté du produit à rester en service et de vérifier l'aptitude du lubrifiant à neutraliser l'acidité contenue dans l'huile qui devient corrosif pour les éléments métalliques de l'organe lubrifié.

II. 5. 3. Thermographie-infrarouge [9] :

La thermographie est définie comme une technique permettant d'obtenir, au moyen d'un appareillage approprié l'image thermique d'une scène thermique dans un domaine spectral de l'infrarouge.

La mesure au moyen de thermomètre à rayonnement ne nécessite aucun contact : ces appareils mesurent des rayonnements émis par tout corps dont la température est supérieure à -273,15°C ou zéro K° : ces rayonnements ont des longueurs d'onde qui se situent dans l'infrarouge et sont proportionnels à la température des corps. Le thermomètre à rayonnement se compose d'un radiomètre et d'un calculateur. Le radiomètre mesure la puissance de rayonnement émis et le calculateur transcrit en températures.

II. 5. 4. Plage de fonctionnement [9] :

La lumière visible, les rayons X sont des rayonnements électromagnétiques, le domaine visible s'étend des longueurs d'onde allant de 0,4 à 0,8 μm et la bande infrarouge s'étend de 0,8 à 1000 μm et peut-être divisée en plusieurs sections :

- l'infrarouge proche : 0,8 à 3 μm .
- l'infrarouge moyen : 3 à 6 μm .
- l'infrarouge éloigné : 6 à 15 μm .
- l'infrarouge lointain : 15 à 1000 μm .

En thermographie infrarouge, on travaille généralement dans une bande spectrale qui s'étend de 2 à 15 μm et plus particulièrement dans les fenêtres 2-5 μm et 7-15 μm (Fig.I. 12).

Les applications de la thermographie infrarouge s'effectuent dans un milieu ambiant nature ou atmosphère naturelle : celle-ci constitue un milieu semi-transparent (ou « hublot ») entre les rayonnements émis par un corps quelconque dont on veut mesurer la température et la caméra thermique. Ce milieu transmet donc en partie le rayonnement émis par une scène thermique.

Pour optimiser la qualité d'image et de mesures thermiques, il faut que la transmission des rayonnements infrarouges soit optimale. Dans ce contexte, les fabricants de matériels infrarouges ont analysé la transmission atmosphérique des ondes infrarouges et ont relevé deux bandes spécifiques où la transmission est maximale mais non optimale (transmission inférieure à 100%) :

- La bande 2-5 μm appelée ondes courtes.
- La bande 7-15 μm appelée ondes longues.

C'est principalement la vapeur d'eau et le gaz carbonique contenus à l'état gazeux dans l'atmosphère naturelle qui atténuent les rayonnements.

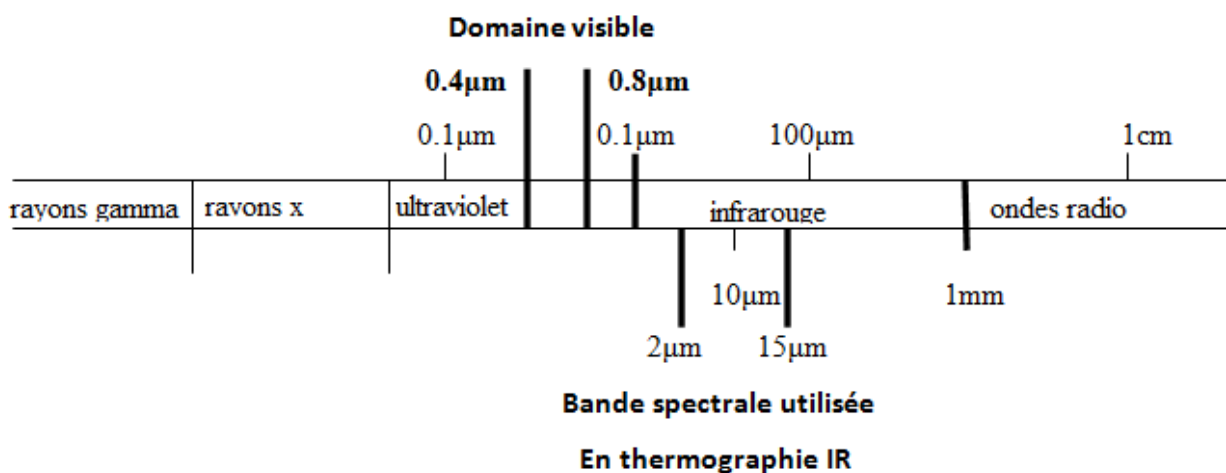


Fig. II. 10 : Bande spectrale utilisée en thermographie

II. 6. CONCLUSION

Dans ce chapitre nous avons vu les méthodes de surveillance et de diagnostic dans une politique d'une maintenance conditionnelle qui doit s'appliquer à toute machine tournante dont le fonctionnement conditionne le processus de production, se substituer à la corrective pour la maintenance de toute machine coûteuse ou vitale pour la production et remplacer la maintenance systématique pour la plupart des opérations importantes ou nécessitant un arrêt de production, son intérêt est de pouvoir détecter rapidement les anomalies sans même devoir démonter l'équipement ainsi que de pouvoir prévenir la panne et prévoir la réparation le plus tard possible en fonction des impératifs de production, pour cela nous avons cité ces outils, l'analyse vibratoire, analyse thermographie, analyse des huiles et comptage de particules qui sont des moyens utilisés pour suivre la santé des machines tournantes. Cela s'inscrit dans le cadre d'une politique de maintenance prévisionnelle.

CHAPITRE III:

DEFAUTS ET MOYENS DE MESURES DANS LES MACHINES TOURNANTES

III. 1. INTRODUCTION

Nous avons vu dans le chapitre précédent les différentes méthodes de surveillance et de diagnostic, comme suite nous avons prévu un chapitre sur les défauts mécaniques et les moyens de mesures dans les machines tournantes.

Comme les maladies chaque défaut est caractérisé par ces symptômes, on utilise les moyens de mesures avec les différents outils de la maintenance conditionnelle (analyse vibratoire, thermographie-infrarouge, analyse des huiles ...) pour trouver ces symptômes, et donc le défaut présent. Une connaissance complète des défauts et leurs symptômes est primordial pour permettre de lire et d'interpréter les résultats obtenus par les différents types d'outils.

On classe les différents défauts des machines tournantes suivant les outils utilisés pour sa localisation, en trois catégories :

- Défauts détectables par analyse vibratoire (analyse spectrale).
- Défauts détectables par analyse des huiles et comptage de particules.
- Défauts détectables par thermographie-infrarouge.

III.2. DEFAUTS DANS LES MACHINES TOURNANTES

III. 2.1. Défauts détectables par analyse vibratoire (analyse spectrale) :

Les anomalies spectrales sont classées en trois catégories :

- Pics apparaissant à des fréquences multiples ou sous multiples de fréquence de rotation de rotor.
- Pics apparaissant à des fréquences non liées à la vitesse du rotor.
- Densité spectrale provenant de la composante aléatoire de la vibration.

III 2. 1.1. Pics apparaissant à des fréquences multiples ou sous multiples de la fréquence de rotation de rotor :

Les principaux défauts apparaissent dans cette catégorie sont :

- Le balourd.
- Le desserrage et jeu.
- Le désalignement.
- défauts d'engrenage.
- Instabilité d'huile dans le palier lisse.

A. Défaut de balourd [10] :

Un rotor est parfaitement équilibré si son axe principal d'inertie se confond avec son axe de rotation. Dans les autres cas, l'équilibre du rotor est perturbé et le rotor est affecté d'un balourd, il est donc impossible qu'il soit parfaitement équilibré et il existe donc toujours une vibration à la fréquence de rotation dont l'amplitude est directement proportionnelle à l'importance du balourd et au carré de la vitesse de rotation. Une modification brusque de l'amplitude correspond systématiquement à une modification du balourd dont l'origine peut-être une rupture ou la déformation d'une partie du rotor, si cette modification d'amplitude est plus lente, il peut s'agir d'une usure ou d'un encrassement de la partie tournante (suie, dépôt, etc.). Le phénomène se caractérise par une vibration radiale importante à la fréquence dérogation.

Le meilleur outil pour la détection de défaut est l'utilisation de l'analyse vibratoire (analyse spectral), l'utilisation d'un capteur de proximité (capteur à courant de Foucault) ou un accéléromètre avec intégrateur de signal, on prend deux mesures radiales déphasées de 90°, l'image vibratoire est une raie sur la fréquence de rotation qui présente un dépassement d'amplitude de seuil d'alerte, le spectre théorique de défaut est présenté dans la figure suivante:

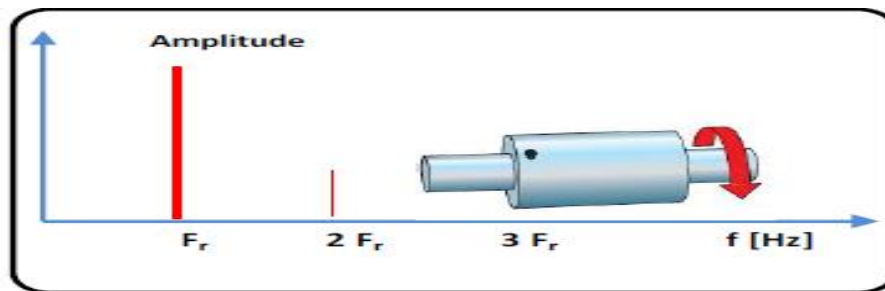


Fig. III.1 : Spectre théorique d'un défaut de balourd

f_0 est la fréquence de rotation de l'arbre

Une amplitude élevée sera visible dans la fréquence de rotation f_0 . L'apparition de défaut sera caractérisée par une vibration du rotor due à la création d'une force centrifuge.

$$F = m_b \omega^2 r_b [N] \dots \dots \dots (III.1)$$

Avec m_b : masse théorique du balourd [Kg].

r_b : rayon théorique du balourd [m].

ω : pulsation ou vitesse angulaire [rad /s].

F : force centrifuge [N].

Suivant la répartition du balourd sur le long du rotor, on distingue trois types de balourd.

❖ Balourd statique :

Deux balourds (représentés ici par des flèches sur Fig.III.2) peuvent avoir même importance, même position angulaire et même distance du centre de gravité. On obtient la même situation avec un seul balourd deux fois plus grand agissant dans le centre de gravité, il n'y a pas donc de déphasage entre les mesures prises aux mêmes angles sur les deux paliers.

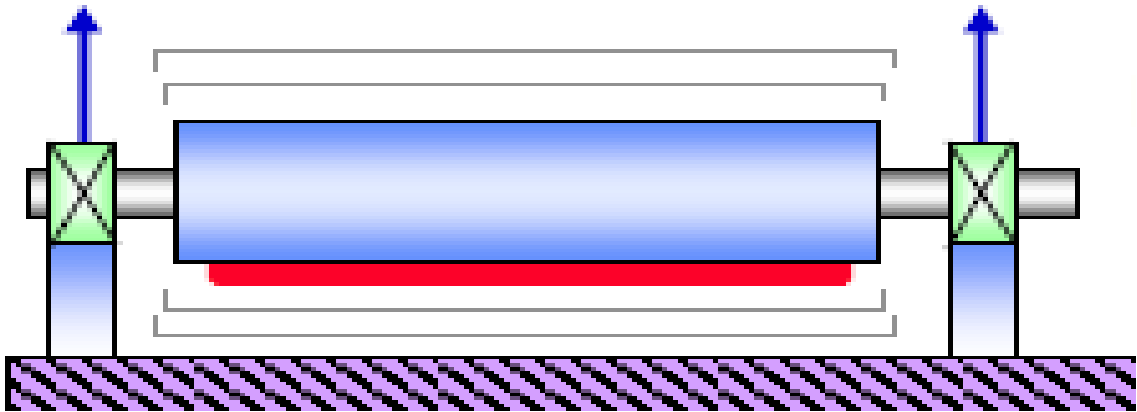


Fig.III.2 :Représentation d'un balourd statique

❖ Balourd couple

Deux balourds (représenté ici par des flèches fig.III.3) sont décalé de 180° l'un par rapport à l'autre dans leurs positions angulaires. Le déphasage proche de 180° observé entre les mesures effectuées aux mémés angles sur les deux paliers est révélateur d'un balourd couple.

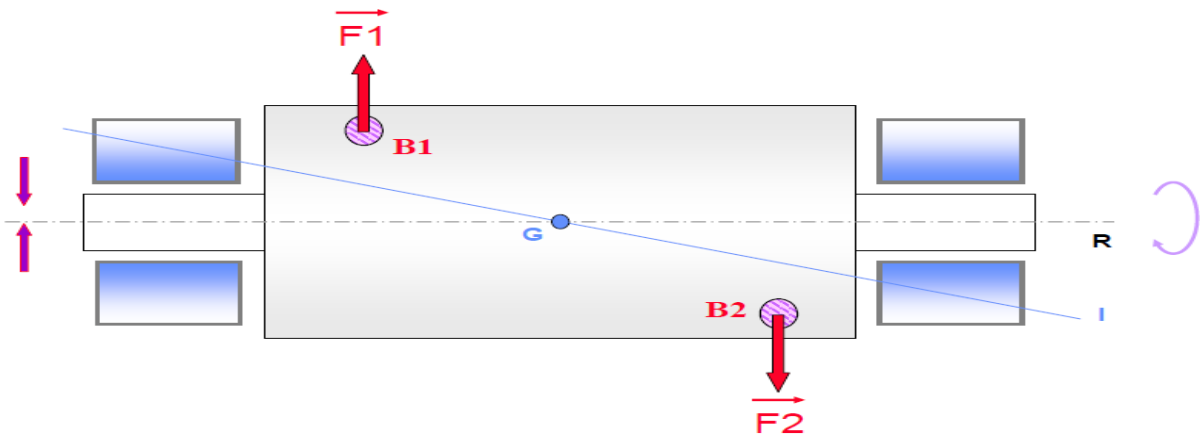


Fig. III.3 :Représentation de balourde de couple

❖ Balourd dynamique

Dans la réalité, le rotor ne possède pas qu'un seul balourd, mais en théorie une multitude des balourds répartie arbitrairement le long de l'axe de rotation, Cette multitude est présentée par deux balourds résultants placées dans deux plans quelconques et ayant en général des valeurs et des positions angulaires différentes. L'état de ce balourd ne peu être constaté vraiment qu'en rotation,

on parle de balourd dynamique. Il se décompose en un balourd statique et un balourd couple.

B. Défaut de désalignement [11] :

Un défaut désalignement peut apparaître lorsqu'un arbre doit entraîner un autre arbre, souvent par l'intermédiaire d'un accouplement, si les axes des deux paliers ne sont pas concentriques (Fig.III.5). Il y a deux types de désalignements possibles :

- Le décalage d'axe : les axes sont parallèles mais non concentriques.
- Le désalignement angulaire : les axes ne sont pas parallèles.

Dans la réalité, les défauts de désalignement sont une combinaison du décalage d'axe et du désalignement angulaire.

Un désalignement peut être également la conséquence :

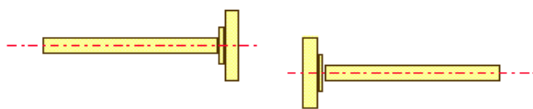
- D'un défaut de montage d'un palier.
- D'un mauvais calage des pattes de fixation.
- D'une déformation du châssis qui se traduit par une flexion de l'arbre du rotor.

Dans ce cas, les deux paliers ne sont pas concentriques.

Le défaut de désalignement est l'une des principales causes de réduction de la durée de vie des machines tournantes. Il engendre des efforts importants qui entraînent la dégradation rapide du système d'accouplement. Dans la plupart des cas, on peut y remédier facilement par un lignage.

Un défaut de désalignement est facilement détectable grâce à sa signature temporelle et par l'échauffement détecté sur l'accouplement, on retrouve un phénomène périodique à la fréquence de rotation mais également des phénomènes se répétant chaque $1/2$ tour et $1/3$ tour (Fig. III.5). Cela se traduira le plus souvent par la présence de composantes d'ordre deux, trois ou même quatre de la fréquence de rotation avec des amplitudes supérieures à celles de la composante d'ordre 1 (Fig. III.6). Pour mesurer ces vibrations on utilise un accéléromètre et on fait trois mesures, deux radiales et une axiale et pour la température on utilise une caméra infrarouge.

- Décalage d'axe :



- Désalignement angulaire :

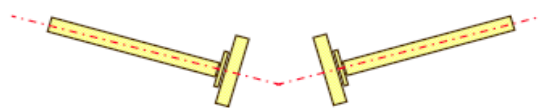


Fig. III.4 : Le type des défauts de désalignement

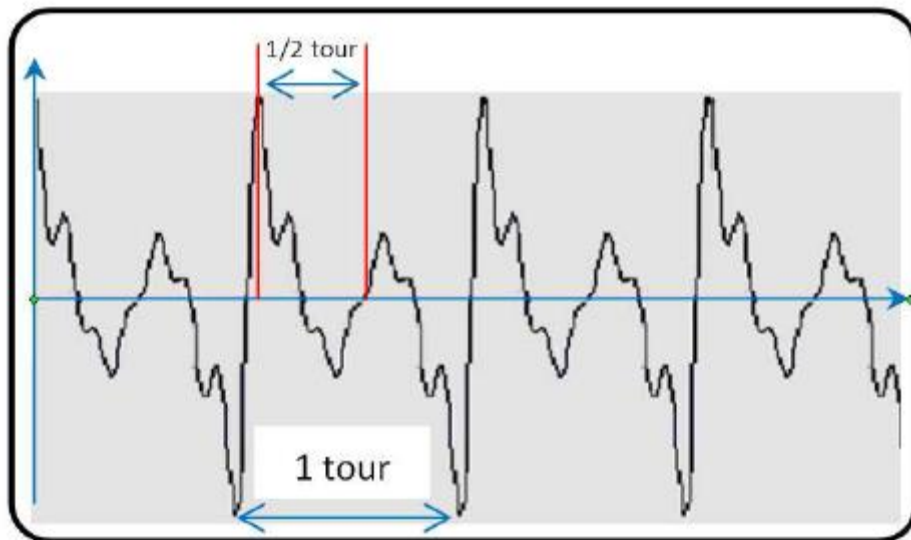


Fig. III.5 :Signature temporelle d'un défaut de désalignement

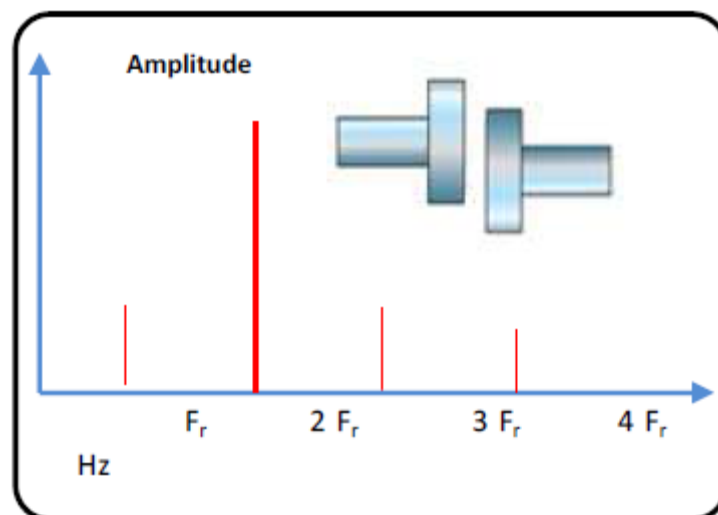


Fig. III.6 :Spectre théorique d'un défaut de désalignement

C. Défaut de desserrage et de jeu [11] :

Le défaut de desserrage est donné par un manque de rigidité de montage sur la structure. Cela peut être effectivement a un desserrage des vis de fixation de la structure mais également a une fissuration de bâti. Des défauts comme le balourd entraînent le bâti se désolidariser de la structure. Cela entraîne un signal temporel écrêté (Fig. III.7).

Le spectre fait apparaître des harmoniques de la fréquence de rotation, comme les autres défauts, mais également des sous-harmoniques a $[1/2 \ 1/3]$ de la fréquence de rotation (Fig.III.8). Le phénomène de jeu va avoir pratiquement la même signature vibratoire. Le jeu se retrouve en général dans les roulements. Il peut s'agir de jeu entre la bague extérieure et le palier, entre la bague intérieure et l'arbre ou un jeu excessif entre les billes/galets et les cages internes et externes. Pour

les paliers lisses, le jeu signifie un espace trop important entre l'arbre et le palier.

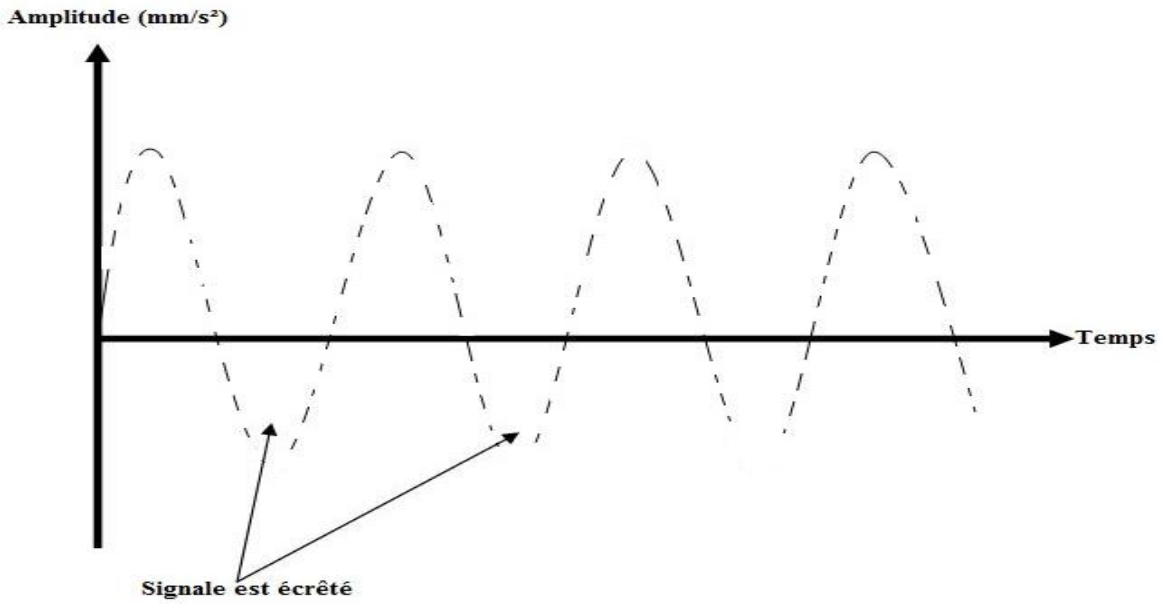


Fig. III.7 :Signal temporel d'un défaut de desserrage ou de jeu

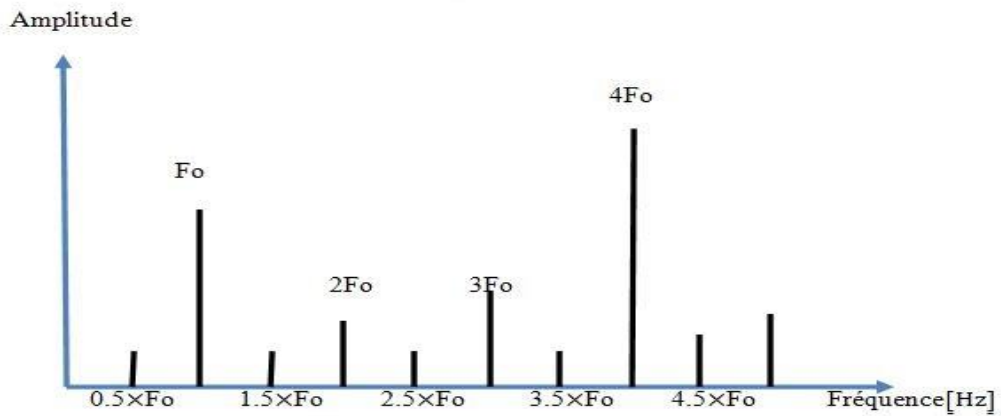


Fig. III.8 :Spectre théorique d'un défaut de désalignement

D. Défaut d'engrenage [10] :

Un engrenage est composé de deux roues dentées possédant un certain nombre de dents (noté Z) tournant à des vitesses différentes.

Un réducteur ou un multiplicateur peut être composé de plusieurs engrenages. L'engrènement se fait au rythme d'engagement des dents selon une fréquence d'engrènement f_e égale à la fréquence de rotation multipliée par le nombre de dents :

$$f_e = z \times f \dots\dots\dots (III.2)$$

Avec f_e : fréquence d'engrènement.

z : nombre de dent.

f : fréquence de rotation.

Il n'y a qu'une seule fréquence d'engrènement pour un engrenage par ce que

$$f_{e1} = f_{e2}$$

$$f_{e2} = z_2 \times f_e = z_2 \frac{z_1 \times f_1}{z_2} = z_1 \times f_1 = f_{e1} \dots \dots \dots (II.3)$$

avec z_1, z_2 : nombre de dent de 1^{er}, 2^{eme} roue.

f_1, f_2 : Fréquence de rotation de 1^{er}, 2^{eme} roue.

f_{e1}, f_{e2} : Fréquence d'engrènement de 1^{er}, 2^{eme} roue.

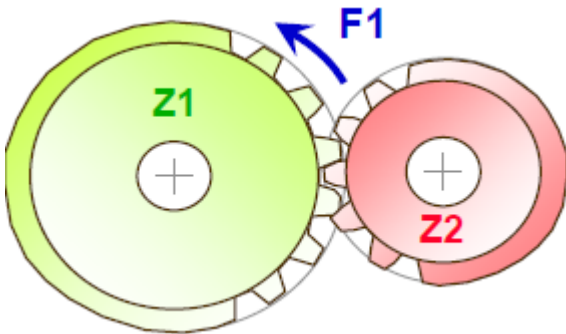


Fig. III.9 :Exemple d'engrenage

Si la denture est correcte et si aucun phénomène parasite ne vient perturber l'engrènement, le spectre vibratoire est constitué de composantes dont les fréquences correspondent à la fréquence d'engrènement f_e et ses harmoniques (Fig. III.9). Les défauts peuvent apparaitre dans les engrenages est :

- Détérioration d'une dent.

Si l'une des roues possède une dent détériorée, il se produit un choc périodique à la fréquence de rotation de la roue considérée. Le spectre montrera donc, non seulement la fréquence d'engrènement, mais aussi un pic : à la fréquence de rotation et de nombreuses harmoniques. Les nombreuses harmoniques de la fréquence constituent ce que l'on appelle un peigne de raie.

Elles sont dues au phénomène de choc. Des qu'un défaut se traduit par des chocs, cela se retrouve sur le spectre par un peigne de raie dont la fréquence est celle du défaut (Fig. III.11).

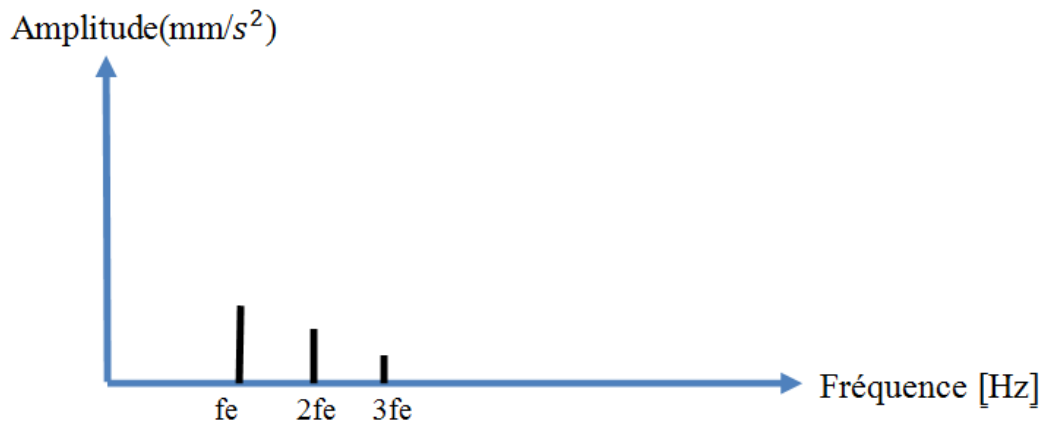


Fig.III. 10 :Spectre théorique d'un engrenage sain.

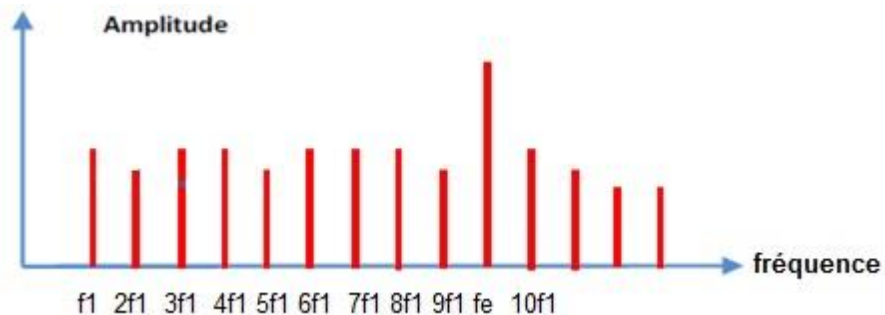


Fig. III. 11 :Spectre théorique d'un défaut d'engrenage

Dans le cas où l'ensemble de la denture est usée, l'engrènement prend l'aspect d'un choc pour chaque rencontre de dent. Il se produit dans ce cas encore un train d'impulsion à la période d'engrènement. Ce qui se traduira par un spectre de raies de la fréquence fondamentale f_e (Fig.III.12).

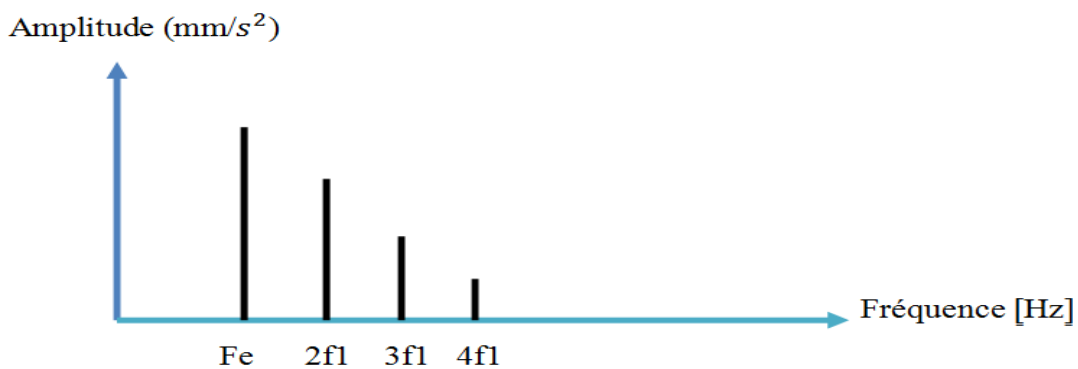


Fig. III.12 :Spectre théorique d'un défaut d'usure complet d'une denture.

E. Défauts propres aux pompes et turbines [10] :

Les pompes et les turbines sont des machines formées de deux roues à aubes (rotor, stator), La dégradation de l'état des roues tournantes (rotor) crée une vibration de ces roues, on utilise l'analyse spectrale nous allons observer une amplitude trop importante à la fréquence de passage des aubes et de ses harmoniques si :

- L'entrefer entre les aubes en rotation et les aubes du diffuseur n'est pas constant.
- Des aubes sont légèrement décalées sur leur support ou si elles n'ont pas l'orientation voulue.
- Des aubes de la roue mobile ou du diffuseur sont corrodées ou fissurées.
- Le flux est perturbé par une déformation ou obstruction de conduite.

La fréquence de défaut de passage d'aube f_p est donnée par :

$$f_p = f \times n \dots \dots \dots (II.4)$$

Avec :

f : Fréquence de rotation de la machine [Hz]

n : Nombre des aubes

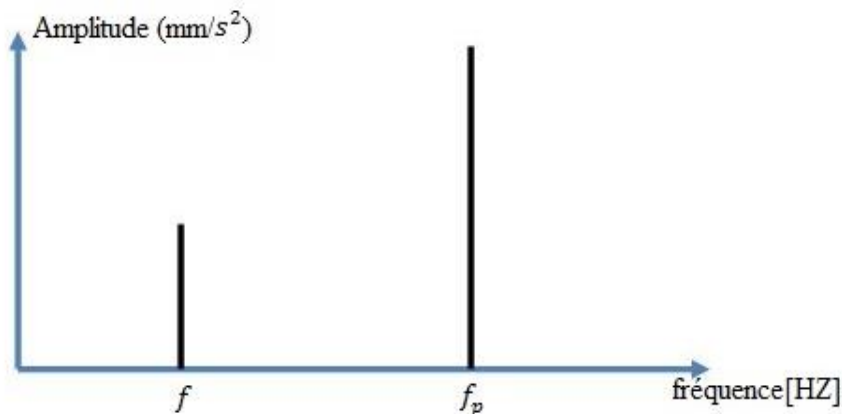


Fig. III.13 : Spectre théorique d'un défaut d'usure d'une ailette d'une turbine.

G. Défaut d'instabilité d'huile dans les paliers lisses :

❖ Tourbillon d'huile (Oil-Whirl) [14] :

Le tourbillon d'huile (en anglais «Oil—Whirl») est une instabilité de la position d'équilibre de l'arbre dépendant de la vitesse de l'huile dans le palier. Il peut commencer avec des basses vitesses de rotation, sa fréquence est située habituellement vers 42% à 49% de la fréquence de rotation (Fig. III.15). Un meilleur équilibrage a plutôt tendance à aggraver ce phénomène car la force centrifuge due au balourd compense les instabilités du palier. Cette instabilité peut être soit amplifiée soit atténuée par :

- Une modification de la charge.
- Un changement de la température de l'huile.
- Une dilatation thermique de la machine modifiant l'alignement des paliers.

Ces instabilités ne sont pas nécessairement répétitives, en réduisant la vitesse du rotor puis en retournant à la vitesse nominale, l'instabilité peut avoir disparu.

On peut diminuer ce phénomène par une augmentation de la pression ou un changement de viscosité d'huile.

La figure ci-dessous (Fig. III.14) montre l'orbite cinétique typique d'un tourbillon d'huile : on observe un mouvement de précession de l'axe du rotor dans le sens de rotation de l'arbre, dont la fréquence égale à 0,42 jusqu'à 0,49 fois la fréquence de rotation. C'est pourquoi l'orbite contient deux marques de références de phases.

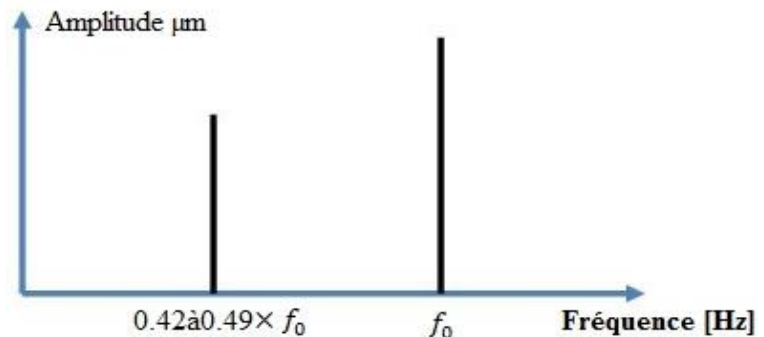
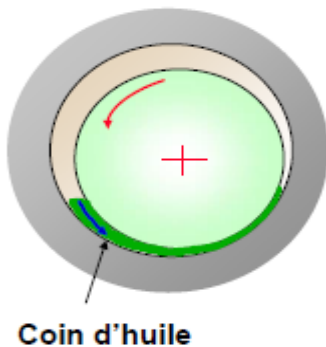


Fig. III.14 : Tourbillon d'huile Fig. III.15 : Représentation spectrale d'un tourbillon d'huile

❖ Fouettement d'huile (Oil -Whip) [14] :

Lorsque la fréquence de précession du tourbillon d'huile coïncide ou elle est supérieure à la première fréquence critique de l'arbre, il apparaît une augmentation importante des vibrations: le rotor est soulevé périodiquement par le film d'huile puis retombe. Cette instabilité appelée fouettement d'huile (en anglais Oil-Whip) n'apparaît que pour des rotors dont la vitesse est supérieure à environ 3000 tour/min. Elle peut être l'origine de graves dommages pour les paliers et le rotor.

Le mouvement de précession de l'axe du rotor dans le sens de rotation de l'arbre, dont la fréquence fixe est égale à 0,3 jusqu'à 0,5 fois la fréquence de rotation. L'amplitude du mouvement peut devenir suffisamment importante pour qu'il y ait finalement rupture de film d'huile et contact de rotor avec le palier, dont la fréquence est égale à 0,5 fois la fréquence de rotation (en anglais dry frictional whirl).

Théoriquement il faut agir en :

- Modifiant la conception des paliers (taille, jeu, système de lubrification).
- Modifiant la fréquence propre du rotor (diminution de la distance entre les paliers, augmentation du diamètre du rotor).

Dans la pratique, on agit surtout en :

- Modifiant les paliers: paliers à plusieurs lobes, améliorations du système de lubrification.
- Augmentant la charge spécifique des paliers.
- Diminuant la viscosité de l'huile.
- Modifiant l'état d'équilibre.

III. 2. 1.2. Pics apparaissant à des fréquences non liée à la vitesse du rotor [4] :

Les divers phénomènes qui créent des vibrations non liées à la fréquence de rotation du rotor sont en générale :

- Vibrations des machines voisines.
- Vibrations d'origine électrique.

A. Vibrations des machines voisines :

Le sol ou les socles de fixation peuvent transmettre les vibrations d'une machine à une autre. Ces vibrations sont aléatoires et indépendantes de la fréquence de rotation du rotor, Si on arrête la machine voisine le pic spectral va disparaître.

B. Vibrations d'origine électrique :

Les vibrations des paliers ou du stator dans les moteurs électriques sous l'excitation du champ électromagnétique produisent des pics sur la fréquence du courant (la fréquence de notre réseau électrique est 50HZ) ou: ces harmoniques. Ces pics doivent disparaître lorsqu'on coupe l'alimentation au moteur.

C. Défauts de frottements [12]

Si au passage par un orifice (paliers, joint d'étanchéité par exemple), l'arbre s'échauffe de manière dissymétrique, soit parce qu'il frotte, soit parce que le passage d'huile provoque un échauffement plus intense d'un coté de l'arbre que de l'autre, si de plus, la déformation de l'arbre qui résulte de cet échauffement déplace a son tour de point chaud (vibration maximum décalée par rapport au point chaud qui lui donne naissance), alors toutes les conditions sont réunies pour amorcer un phénomène de variations cycliques du déséquilibre.

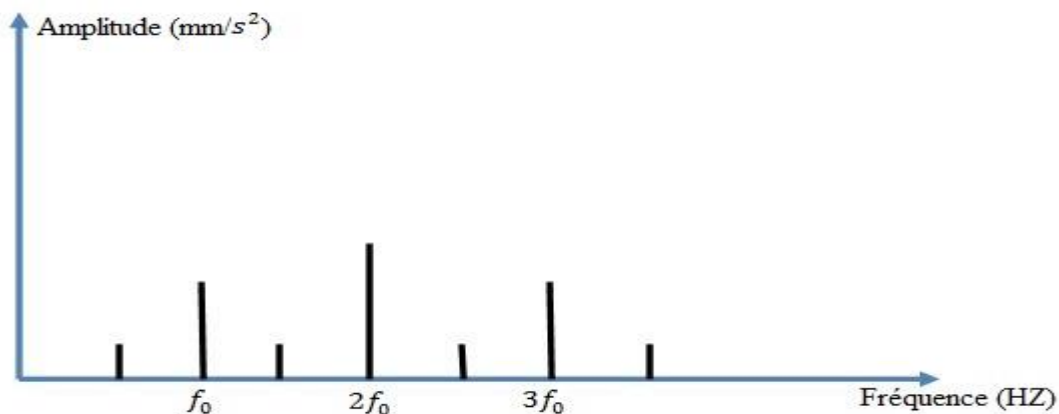


Fig. III.16 : Spectre théorique d'un défaut de frottement

III. 2.2. Défauts détectables par analyse des huiles :

Plusieurs défauts apparaissent avec les méthodes d'analyses utilisées, parmi ces défauts on distingue:

III. 2. 2. 1. défauts d'étanchéité [8] :

Les défauts d'étanchéités qui peuvent exister sont dus à la détérioration des systèmes d'étanchéités ou de fuite dans le circuit de refroidissement, une présence d'eau est détectée au niveau d'analyse d'huiles.

Si ce problème persiste, on risque de rencontrer un problème de corrosion. Après une détection d'eau dans l'huile, il faut procéder à une réparation de la fuite et un changement d'huile.

III.2. 2.2. Défauts d'usure [13] :

L'usure est un phénomène inévitable, l'usure sévère provoque une détérioration rapide des pièces en contact, afin de diminuer les risques d'apparition des types graves d'usure, un système de surveillance basé sur le comptage de particules véhiculées dans les huiles doivent exister.

Le comptage de particules véhiculées dans l'huile montre la présence des différentes particules de plusieurs tailles dans 100 ml d'échantillons. Chaque type d'usure est caractérisé par un dépassement de nombre de particules mesurées, le nombre d'alerte ou critique, ou apparition de particules de tailles critiques.

III. 2.3. Défauts détectés par analyse thermographique [6] :

Les images thermographiques déterminent les températures des éléments surveillés, une comparaison avec l'état sain détecte les variations de température, cette variation indique l'apparition d'une défaillance, suivant la nature de l'élément analysé, et son fonctionnement.

On distingue plusieurs types de défauts détectables par ce outil :

- Désalignement des paliers.
- Desserrage ou jeu du palier.
- Défauts de graissage.
- Défauts dans le circuit de refroidissement.
- Défauts de frottement.

III. 3.MOYENS DE MESURES POUR LES MACHINES TOURNANTES

III. 3.1.Chaine de mesure [2] :

La chaine de mesure doit remplir les fonctions suivantes :

- Transformer la vibration mécanique en signal électrique, c'est le rôle du capteur muni ou non d'un préamplificateur du signal.
- Transmettre le signal et le mettre en mémoire, c'est le rôle des appareils d'enregistrement analogique ou des appareils de numérisation du signal.
- Analyser le signal, c'est le rôle de l'analyseur.

III.3. 1. 1. Capteurs :

Le capteur est un organe chargé de prélever une grandeur physique à mesurer et de la transformer en une grandeur exploitable. Donc c'est un organe de saisie d'informations. C'est le premier maillon de toute une chaîne de mesure, acquisition de données, de tout système d'asservissement, régulation et de tout dispositif de contrôle.

Selon la gamme des fréquences étudiées les capteurs doivent mesurer soit le déplacement, soit la vitesse ou l'accélération dans les phénomènes d'analyse vibratoire.

Pour chaque grandeur on utilise un capteur spécifique comme suite :

- Le capteur de vitesse régi par principe électrodynamique.
- Le capteur d'accélération régi par principe piézo-électrique.

Il existe des capteurs spécifiques à chacun de ces paramètres mais l'accéléromètre ou le 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 il est caractérisé par une faible dimension.

A.Capteurs d'accélération (capteurs piézoélectriques) :

Les éléments actifs de ce type de capteur sont des disques de cristal piézo-électrique présentant la propriété de transformer une sollicitation mécanique (pression ou cisaillement) en charges électriques. Ces disques sont pris entre deux masses relativement importantes par l'intermédiaire d'un ressort. Lorsque le capteur est soumis à une vibration, les masses exercent une pression alternative sur les disques qui, grâce à leur effet de piézo-électrique, créent une variation de charge électrique proportionnelle à la force appliquée et donc à l'accélération de la masse.

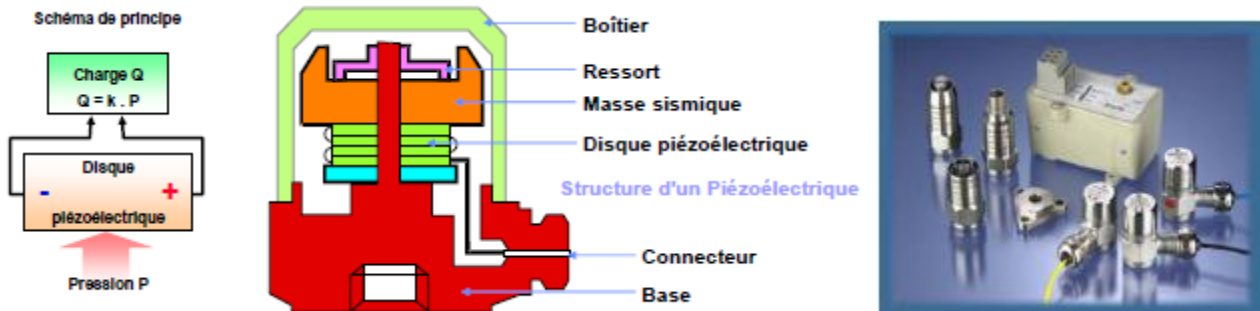


Fig. III.17 : capteur d'accélération

❖ **Caractéristiques :**

- excellente dynamique.
- large réponse en fréquence.
- accélération faible en basse fréquence.

B. Capteurs de vitesse (principe vélocimétrie) [1] :

C'est un capteur électrodynamique, auto générateur d'une tension proportionnelle à la vitesse de déplacement de la bobine. Un aimant permanent génère une induction magnétique constante B . Les lignes de champs se referment par l'intermédiaire du boîtier. Une bobine suspendue par des membranes peut se déplacer dans la direction des lignes de champs. Une force électromotrice (f.e.m) d'induction est générée. Cette force est le produit de la vitesse de vibration, de l'induction magnétique B et de la longueur l de l'enroulement.

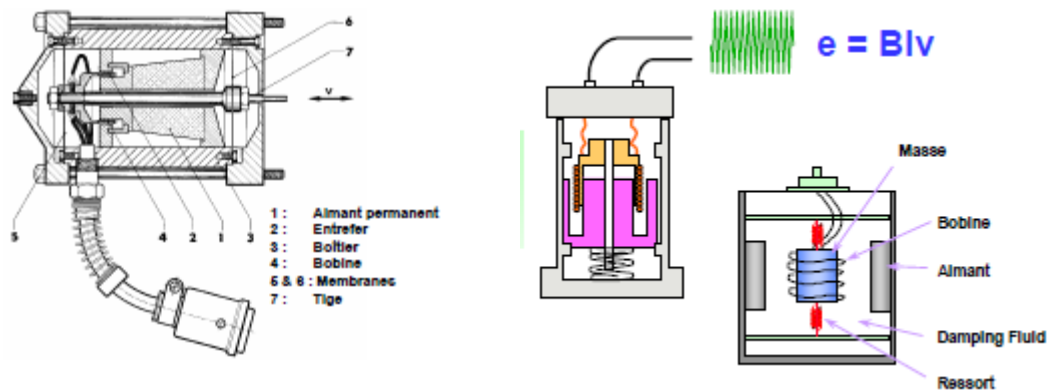


Fig. III .18 :Capteur de vitesse

❖ Caractéristique :

- Mesure de mouvement de structure.
- Efficace en basses et moyennes fréquences (10 Hz à 1KHz).
- La plage de fréquence allant de 8 Hz à 2KHz.

III. 3. 1.2. Enregistreurs [2] :

Les informations sont collectées : soit sur magnétophones portatifs qui conservent le signal en analogique et permettent pour certains de prendre la mesure de plusieurs points simultanément et d'étudier le déphasage révélateur de nombreux défauts.

Soit sur des appareils d'enregistrements qui souvent d'un encombrement plus faible et qui permettent la programmation de la tournée d'inspection.

III. 3. 2. Chaîne d'acquisition :

Le capteur délivre un signal qui est amplifié et converti généralement en volts par un conditionneur. Le système d'acquisition n'a pas alors à traiter qu'un courant électrique dont l'intensité est directement reliée à l'amplitude, en général le signal acquit sous forme analogique, il doit être numérisé avant que l'on puisse en effectuer la transformée de FOURIER.

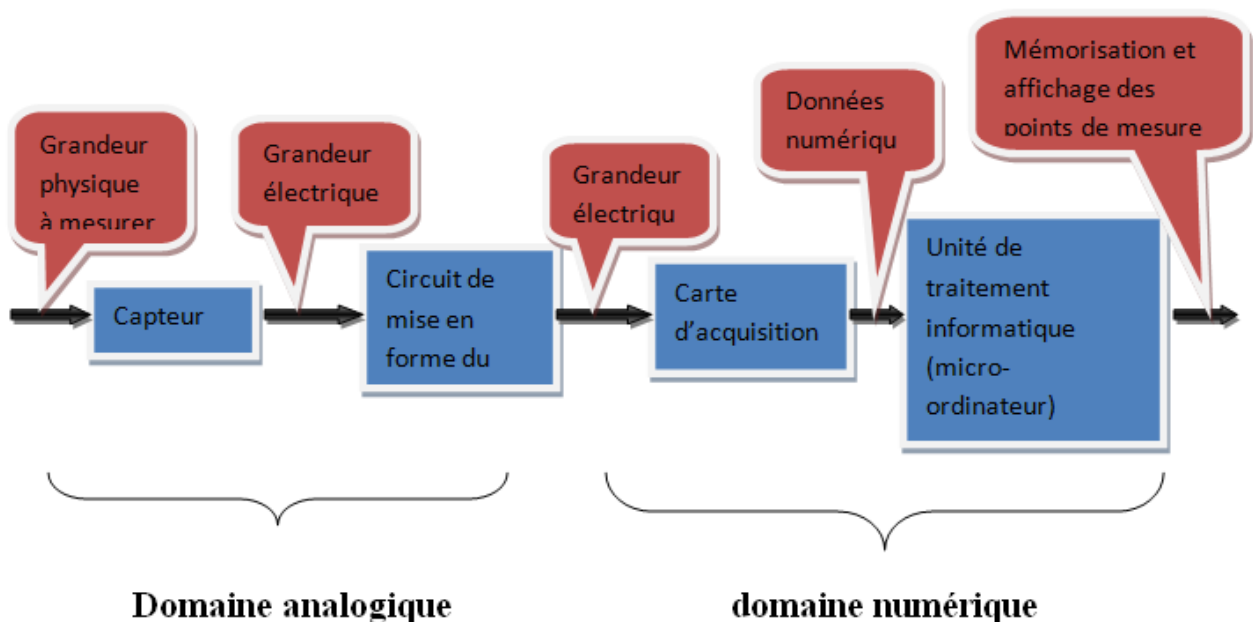


Fig. III.19 : les 4 composants constituant une chaîne d'acquisition

❖ Chaîne d'acquisition numérique :

Le signal issu du capteur est transformé par un conditionneur de signaux qui comprend généralement les éléments suivants :

- Convertisseur de mesure: qui transforme généralement le signal en un courant électrique aisément transportable dans les chaînes d'acquisitions modernes.
- L'amplificateur: qui a pour but d'augmenter l'intensité du signal et de le rendre moins sensible au bruit de fond ambiant.

Plusieurs dispositifs de traitement de signal, mettant en œuvre des fonctions très variées allant des filtres aux corrélations entre signaux en passant par la conversion en valeur efficace ou la linéarisation.

En sortie du conditionneur de signaux, le signal est échantillonné et numérisé par les éléments suivants :

- L'échantillonneur bloqueur (E/B) a pour mission, au moment indiqué par le système logique de commande, de filtrer la valeur instantanée du signal puis le convertisseur analogique numérique effectue sa conversion.
- Le convertisseur analogique numérique (CAN) a pour rôle de coder la valeur instantanée du signal en entrée en un nombre. Son fonctionnement est géré par le système logique de commande qui peut être un microprocesseur.

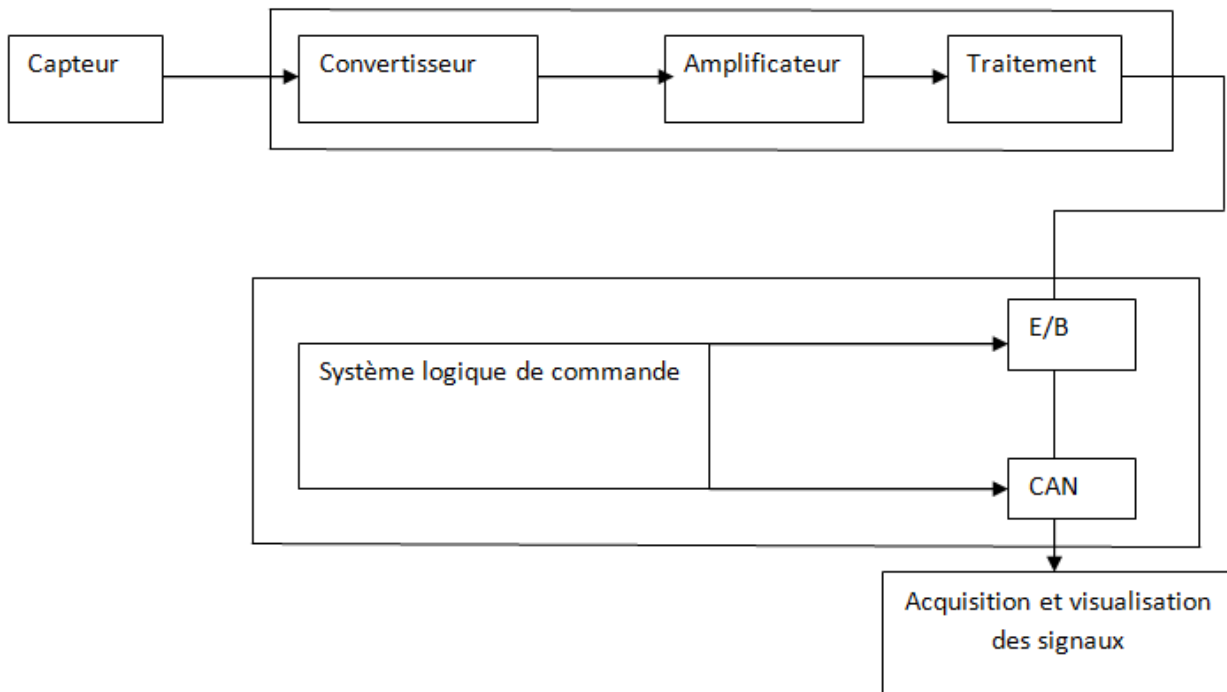


Fig.III .20 :Chaîne d'acquisition numérique

Les composants principaux des chaînes d'acquisition utilisées dans les essais de vibration, à savoir :

- Les capteurs : ils sont chargés de la mesure proprement dite. Leurs caractéristiques autant physiques que fonctionnelles offrent une large gamme de choix permettant leur emploi dans les différents types d'essais de vibrations.
- Les conditionneurs : premier élément de la chaîne d'acquisition après le capteur, ils ont un rôle important sur la qualité de la mesure.

Il est nécessaire de rendre discret le domaine fréquentiel afin de limiter la résolution de l'analyse.

III. 3. 3. Instrument d'analyse de comptage de particules :

Deux méthodes sont utilisées :

- Comptage par microscope.
- Comptage par compteur automatique.

A . Comptage de particules par microscope [7]

Elle consiste à contrôler un échantillon de 100 ml, prélevé dans des conditions rigoureuses est filtré dans des conditions parfaitement définies, au travers d'une membrane filtrante quadrillée de diamètre moyen de pore égal à $0,8\mu\text{m}$. On procède ensuite à un comptage des particules sur la membrane, par classes de dimensions.

En pratique, on procède de manière statistique en effectuant le comptage sur plusieurs zones de surface déterminée et on ramène les résultats à la surface totale de la membrane pour un volume d'échantillon de 100 ml.

Des systèmes de visualisation sur écran (système vidéo) montés sur le microscope permettent de faciliter les opérations de comptage. Il existe également des systèmes d'analyse d'images permettant de réaliser le comptage de manière semi-automatique ou automatique. Ces équipements sont encore peu utilisés en raison de leur coût élevé.

Ce type d'analyse s'applique uniquement aux systèmes hydrauliques où il est important de surveiller le niveau de pollution de manière à limiter l'usure et les défaillances.

Ce type d'analyse qui, malgré un temps d'exécution relativement long, est toujours très utilisée dans l'industrie car elle permet d'observer (taille, forme, couleur) la pollution et donc de faire un diagnostic plus précis sur son origine. C'est une méthode de laboratoire.

B. Comptage de particules par compteur automatique [7] :

C'est un appareil qui utilise un compteur YAK (variation d'intensité lumineuse) permettant de détecter les particules solides dans un fluide. Le prélèvement s'effectue en continu par dérivation d'une partie du débit de l'installation dans l'appareil.

Ce type d'appareil utilisable sur site donne en temps réel le niveau de pollution circulant dans la machine. Il permet en outre de faire une surveillance permanente d'une installation (arrêt de la machine si la pollution est importante) et de mener à bien des diagnostics sur des installations hydrauliques défectueuses (détection de l'élément polluant).

Les particules sont comptées dans les intervalles de dimensions suivantes : [2-5], [5-15], [15-25], [25 - 50], [50 -100] et >100. Les particules de dimensions inférieures à 2 μ m ne sont pas comptées.

III.3.4. Instruments d'analyse thermographique

Thermographie infrarouge : technique permettant d'obtenir au moyen d'un appareillage approprié l'image thermique d'une scène thermique dans un domaine spectral de l'infrarouge. La thermographie infrarouge, c'est un moyen de déterminer une température de surface sans contact non destructif et en fonctionnement.



Fig. III.21 : *Caméra infrarouge*

Mise en place d'un programme de thermographie

- Etablir un initial des installations.
- Se créer une base de données des installations à inspecter.
- Effectuer un suivi régulier des installations.
- Raisonner toujours par rapport à une charge des équipements.
- Fixer des critères de défauts.
- Pour chaque défaut, établir une fiche de travail.
- Réaliser un nouveau contrôle après chaque réparation.
- Faire un historique des défauts.
- Utiliser la thermographie comme un outil complémentaire.

III. 4. CONCLUSION

Dans ce chapitre nous sommes intéressés à l'explication de la plupart des défauts des machines tournantes existant et les moyens de mesure, leurs signatures et les outils de surveillance et de diagnostic nécessaires. Une détection à travers ces signatures est devenue plus facile. Après l'identification d'un défaut dans les machines tournantes.

Les compétences d'un expert en surveillance et diagnostic de machines sont essentielles pour définir les techniques de traitement du signal spécifiques adaptées à chaque type d'installation. Ainsi, la fiabilité du diagnostic repose essentiellement sur une bonne connaissance des défauts. C'est pourquoi la première démarche d'une action de surveillance est de rechercher les incidents les plus fréquemment rencontrés sur la machine à surveiller, comment ils se manifestent et quelle est leur signature.

CHAPITRE IV:

ETUDE DE CAS

IV. 1. INTRODUCTION

Le but de ce chapitre est d'appliquer la maintenance conditionnelle à un turboalternateur de la centrale SPE de TIARET de la production électrique. L'objectif de notre travail est d'utiliser les outils de la maintenance (analyse vibratoire, analyse d'huile et comptage de particule, analyse thermographie) pour déterminer l'état de cette équipement, afin d'intervenir sur elle au bon moment.

IV. 2. DESCRIPTION DE L'EQUIPEMENT

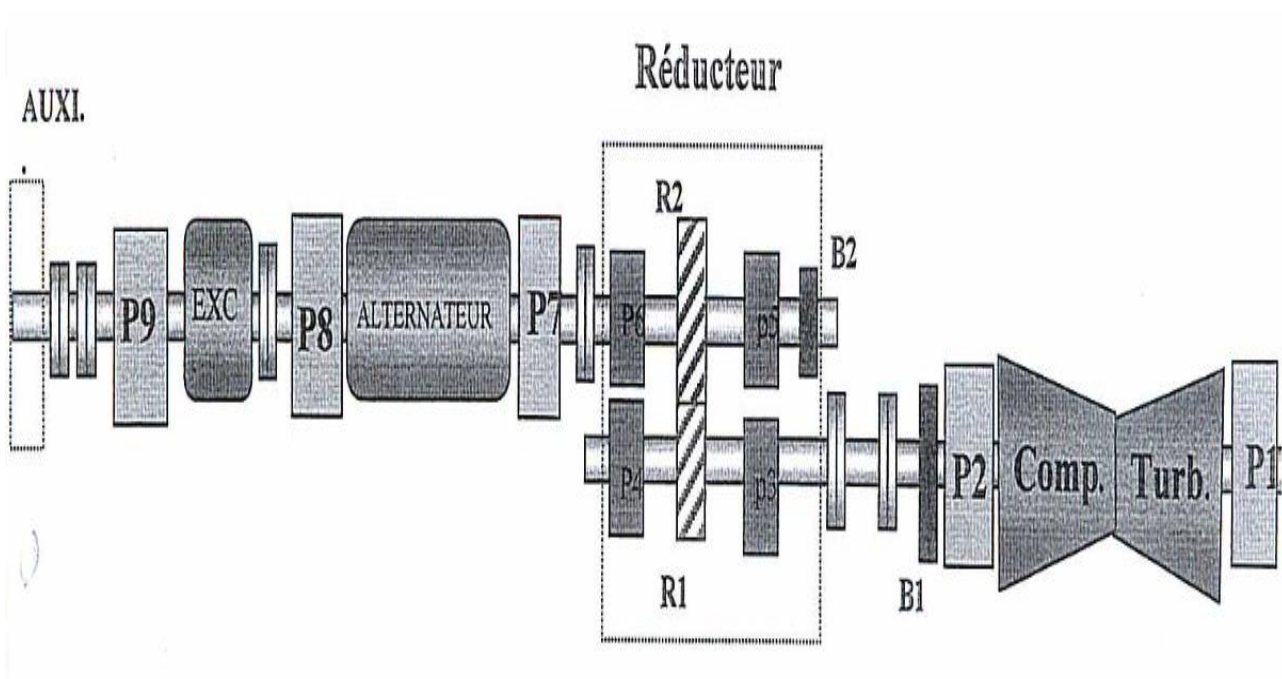


Fig. IV.1 : Schéma descriptive des éléments de l'équipement.

L'équipement est un système composé de :

- Turbocompresseur
- Le réducteur de charge
- Alternateur
- Excitatrice

IV. 3. ROLE DE LA L'EQUIPEMENT

Le rôle de la turbine fournit une énergie mécanique et l'alternateur transforme cette énergie en énergie électrique pour la production de l'électricité.

IV. 4. PRINCIPE DE FONCTIONNEMENT ET CARACTERISTIQUES

Le turbocompresseur : Au démarrage, de l'air comprimé fourni par un post de GAZ au sol met en rotation un compresseur qui aspire et comprime l'air ambiant pour l'envoyer vers une ou plusieurs chambres de combustion

Ce mélange air comprimé/carburant est enflammé dans cette ou ces chambres par une bougie ou plusieurs bougies (allumeurs), ce qui permet de dilater fortement les gaz. Ces gaz traversent une turbine qui entraîne à l'aide d'un arbre rotatif le compresseur et les accessoires indispensables au fonctionnement du réacteur alternatif, ce qui permet d'assurer la continuité du mouvement. Les gaz s'échappent ensuite dans une tuyère de section convergente afin de les accélérer en sortie.

- Vitesse de rotation : 4600tour/min.
- Nombre d'étage : trois étages.
- Type du pallier N°1 : palier lisse N01
- Type du pallier N°2 : palier lisse N02

Alternateur : Machine synchrone pour production d'énergie électrique couplée à la turbine qui sert comme moteur d'entraînement

Caractéristique de l'alternateur :

Stator :

Triphasé couplé en étoile.

- Puissance apparent : 126.000 KVA.
- Tension nominale : 111500V.
- Courant nominale : 6370A.
- $\cos \Phi$: 0.80.
- Fréquence : 50 Hz.
- Vitesse : 30

Rotor :

- Tension : 148V continue.
- Courant : 2123A.

Excitateur: système d'excitation assure l'alimentation du rotor (inducteur) d'alternateur pour produire le champ magnétique nécessaire à la création de la tension dans le stator.

Donc et pour que l'ensemble de l'excitation assure cette fonction, il comporte plusieurs étapes qui seront comme suit :

1. Régulateur de tension
2. Excitateur : alternateur auxiliaire

- 3. Redresseur tournant
- 4. Bloc de refroidissement

Stator:

- Tension d'excitation : 47 V continue
- Courant d'excitation : 101A

Rotor:

- Type polyphasé
- Puissance : 314 KW
- Tension nominale : 148 V
- Courant nominale : 2123A
- Vitesse : 3000 tr/mn

IV.5. DEFAUT ET FREQUENCE CARACTERISTIQUES

Les défauts est la fréquence caractéristique de chaque organe de l'équipement sont présents dans les tableaux suivant

Tab.IV.1 : défaut et fréquence spécifiques du moteur électrique.

Turbocompresseur FIAT TG 20 B2		
	Vitesse de rotation[tour/min]	4600
	Fréquence de rotation[Hz]	76.66
Fréquence des Défauts Hz	Balourd mécanique ou thermique	76.66
	désalignement	153.33 et 230
	Défaut de palier	
	Tourbillon d'huile	[32.19-37.56]

Tab. IV.2.défauts et fréquence spécifiques réducteur de charge.

Réducteur de charge Citroën	
Défaut d'engrenage	
Fréquence d'engrènement	4600
Dent détériorée de la roue menant	Peignes de raies d'un pas de 76.66
Dent détériorée de la roue menée	Peignes de raies d'un pas de 50

Tab. IV.3 : *Défauts et fréquence spécifiques de l'alternateur GOULAUT.*

		Alternateur Jeumont Electric	
Fréquence des Défauts Hz		Vitesse de rotation[tour/min]	3000
		Fréquence de rotation[Hz]	50
		Balourd mécanique ou thermique	50
		désalignement	100 et 150
		Défaut de palier	
	Tourbillon d'huile	[21-24.5]	

Tab. IV.4 : *défauts et fréquence spécifiques de l'excitatrice.*

		Excitatrice Jeumont Electric	
Fréquence des Défauts Hz		Vitesse de rotation[tour/min]	3000
		Fréquence de rotation[Hz]	50
		Balourd mécanique ou thermique	50
		désalignement	100 et 150
		Défaut de palier	
	Tourbillon d'huile	[21-24.5]	

IV.6.APPLICATION DE LA MAINTENANCE CONDITIONNELLE

Le schéma suivant représente les étapes de la maintenance conditionnelle

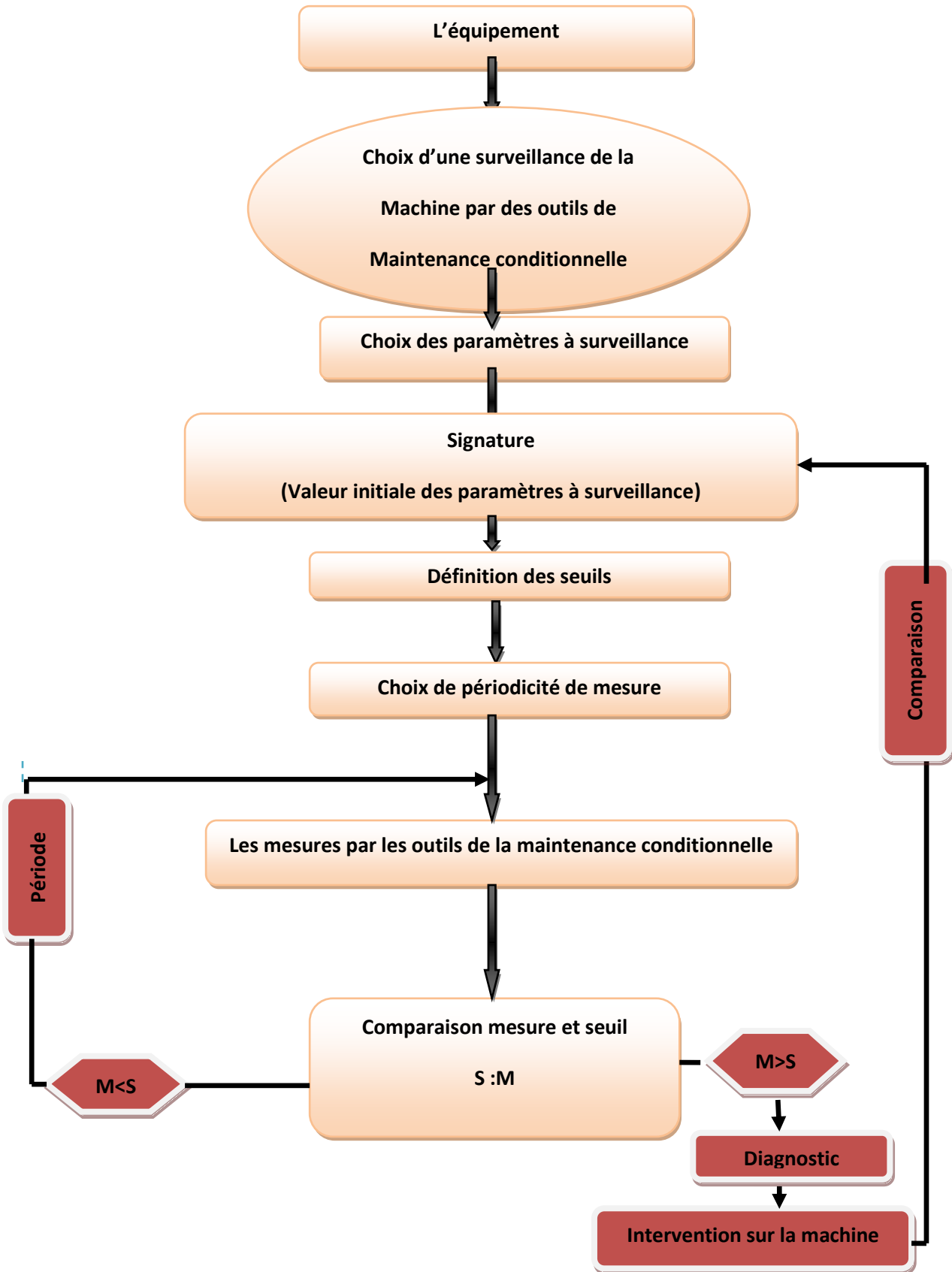


Fig. IV.2 : Schéma synoptique Plan de maintenance conditionnelle.

IV. 6. 1. L'équipement

L'équipement choisi pour notre étude est le turboalternateur N01.

IV. 6. 2. Outils de la maintenance conditionnelle utilisés

Les outils de la maintenance conditionnelle que nous allons utiliser pour suivre l'état de ce turbin sont :

- L'analyse vibratoire.
- L'analyse d'huile et comptage particules.
- Analyse thermographique.

IV. 6. 3. Paramètres et exigences de la surveillance

Les paramètres qui nous renseignent sur l'état de la machine sont :

- Vibrations.
- Température.
- Nombre de particules d'usures.
- Dégradation de l'état d'huile.

Pour une surveillance plus précise l'exigence opératoire requise pour la surveillance du turboalternateur.

IV. 6. 4. Points de mesures

Les points de mesures varient avec les moyens de surveillances utilisés et l'équipement concerné.

◆ Analyse vibratoire

La plupart des vibrations des 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. Selon les neuf points de mesure donnés par l'équipe de vibration, on effectue des relevés dans les directions Axial, vertical et horizontal.

◆ Analyse d'huile et comptage de particules

Les équipements concernés par ces mesures sont le coupleur et le réducteur de charge. La mesure est faite sur la sortie du circuit de graissage.

◆ Analyse thermographique

Tout équipement concerne par cette mesure.

IV. 6. 5. Seuils de surveillance

Les seuils de surveillance sont classés suivant les outils utilisés comme suite :

◆ Analyse vibratoire

La norme utilisée pour la surveillance des seuils vibratoires est ISO 2372. Donc ce turboalternateur appartient au groupe IV de la classification ISO 2372 (voir annexe).

Le seuil d'alerte donné par cette norme pour le groupe IV en vitesse de vibration est 7 mm/s et le seuil critique est 18 mm/s en valeur efficace.

◆ Comptage de particules

Le seuil d'alerte du nombre de particules dans les lubrifiants est donné par les recommandations de BENTLY NEVADA, pour un palier lisse le seuil est donné par la norme ISO 17/15/12.

Tab. IV.5 : *Recommandation de BENTLY NEVADA pour un palier lisse.*

Norme iso	Nombre de particules max dans 100ml		
	>2µm	>5µm	>15µm
17/15/12	64000	16000	2000µ

◆ Analyse thermographique infrarouge

La surveillance par l'analyse thermographique infrarouge se fait par comparaison des mesures obtenues avec les mesures faites lors de premier fonctionnement de la machine, surveillée (état sain).

IV. 6. 6. Mesures

Les mesures effectuées sont données par classe suivant les outils de maintenance conditionnelle utilisés comme suite :

A. Analyse vibratoire

Nous avons fait des mesures à l'aide du matériel suivant :

- Analyseur VIBROTEST 60 : c'est un collecteur de données portable. Il permet la collecte des données vibratoire qui seront transférés dans un micro-ordinateur par l'intermédiaire d'une carte PCMCIA.

- Logiciel d'analyse VIBRO-EXPERT CM 400: c'est un Logiciel qui aide au diagnostic et permet d'exploiter les données de mesure a partir des signaux récupérés de l'analyseur. Une carte PCMCIA est utilisée pour échanger les données entre l'analyseur et le logiciel d'exploitation des données.



Fig. IV.3 : VIBROTEST 60 et ces accessoires.

Les mesures vibratoires que nous avons faites par un vibrotest60 sont représentées dans des courbes. Parmi toutes les courbes de niveaux globaux, une courbe présentent un niveau de vibration élevé. Cette mesure donnée au-dessous.

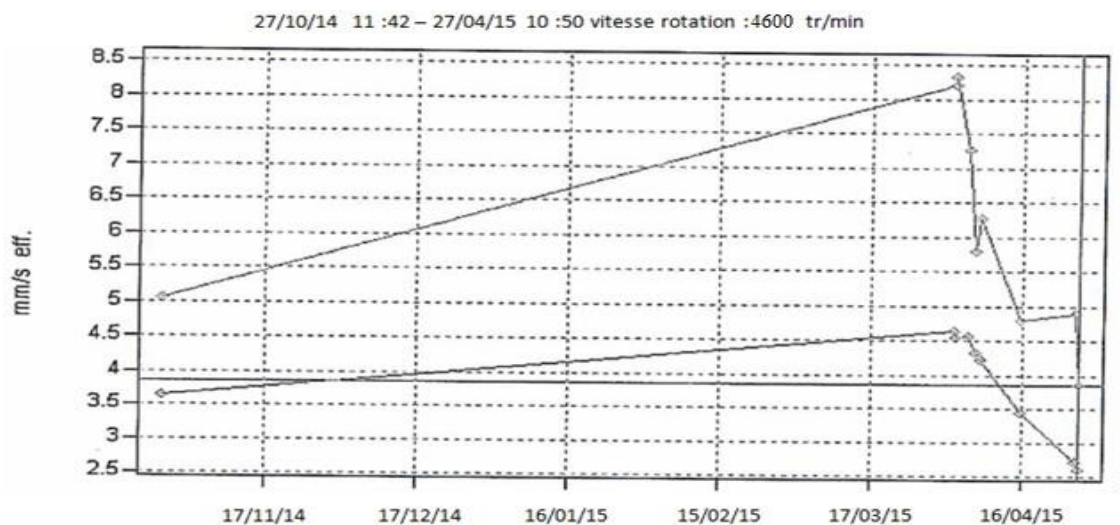


Fig. IV. 4 : Mesure de la valeur globale de vitesse de vibration de palier 1.

L'analyse des résultats et la lecture des courbes de niveaux globaux donnent

- La 1^{ère} observation la courbe de niveaux globaux montre une longue période d'arrêt, de 25/10/14 à 01/04/15.pour la réparation
- Les mesures montrent une entrée de seuil d'alerte au niveau des paliers 1, la valeur de dépassement est 8.3 mm/s.
- L'analyse de niveau globale ne permet pas d'identifier le type de défaut, un recours à l'analyse spectrale est indispensable.

B. Analyse d'huile et comptage de particules

◆Comptage de particules

L'appareil que nous avons utilisé pour cette mesure est CM20 ces caractéristiques sont :

- Durée d'essai : 4min.
- Principe de mesure : par balayage optique et mesure dimensionnelle des particules.
- Taille de Comptage : $>2\mu\text{m}$, $>5\mu\text{m}$, $>15\mu\text{m}$
- Code des résultats : ISO
- Pression max : 420 bar.
- Débit max : 400 litre/min.
- Condition d'essai : essai sur machine en fonctionnement.



Fig.IV.5 : compteur de particules solides CM20.

Les résultats que nous avons obtenus par l'appareil de mesure CM20 sont donnés dans le tableau suivant :

Tab. IV.7 : Résultats de mesure (comptage de particule).

Tailles de particules μm	Résultat : nombres de particules pour 100 ml
$>2\mu\text{m}$	10372
$>5\mu\text{m}$	2351
$>2\mu\text{m}$	213

Chapitre IV : étude de cas

D'après les recommandations d'BENTLY NEVADA pour les paliers lisses (la norme ISO 17/15/12), nous avons constaté que notre mesure est nettement inférieure au seuil d'alerte, donc on peut dire que notre équipement (réducteur de charge) est en bon état de fonctionnement. Les paliers lisses du réducteur, le coupleur et les engrenages présentent un taux d'usure dans les tolérances.

◆ Analyse d'huile de laboratoire

L'huile utilisée dans cette turbine est TORBA32, les analyses d'huile sont faites pour surveiller son état, les résultats obtenus sont donnés dans le tableau suivant :

Tab.IV.8 : résultats d'analyse d'huile

paramètre	unités	Normes	résultats	Valeur limite des Caractéristiques techniques
Aspect	visuel		limpide	
Viscosité cinématique	cSt	ASTMD445	à 40°C 32,78	(28.8-35.8)
Teneur en eau			0.011	0.5

- Une analyse d'aspect visuel montre que l'huile est toujours limpide.
- Une analyse de viscosité cinématique à 40°C donne une valeur de 32.78 cSt, cette valeur est dans la plage admissible (28.8-35.8) [cSt].
- Une analyse de présence d'eau donne un résultat 0.011% très inférieur à 0.5%, la valeur admissible.

Donc d'après ces résultats on constate :

- L'huile est toujours en bon état.

C. Analyse thermographique

L'appareil que nous avons utilisé est la caméra CAM P65, ces caractéristiques sont :

- Plage de mesure de température du sujet : -20 °C à 1500 °C
- Précision de mesure: ± 2 %
- Sensibilité thermique : ≤ 0.15 °C



Fig.IV.6: thermo CAM P65.

Les résultats de mesure que nous avons obtenus sont donnés comme suite :

Tab. IV.8 : le résultat thermographique de l'équipement.

Equipements	Date de contrôle	T° MAX mesurée sur les différents points de l'équipement	Commentaires
Compresseur	23/04/2015	184°	R-A-S
Chambres de combustion	23/04/2015	>275°	R-A-S
Détecteur de flamme	23/04/2015	194°	à surveiller
Turbine	23/04/2015	>275°	R-A-S
Conduit d'échappement	23/04/2015	180°	R-A-S
Alternateur	23/04/2015	48.9°	R-A-S
Excitatrice	23/04/2015	43.8°	R-A-S
Réducteur	23/04/2015	93.4°	R-A-S
Moteur de lancement	23/04/2015	Inaccessible	

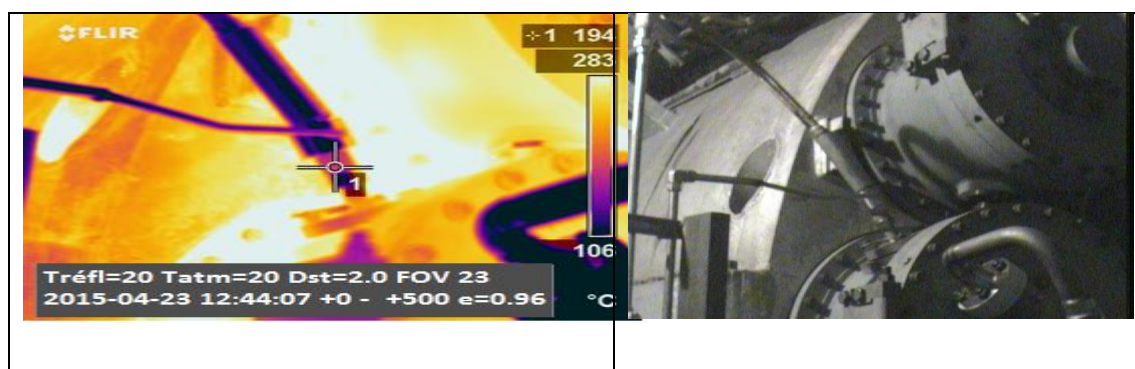


Fig.IV.7 : Image thermique de détecteur de flamme.

IV. 6.7. Comparaison et interprétation des résultats

La comparaison des résultats obtenus avec les normes de surveillance utilisées ou par l'état référence du matériel donne :

- L'analyse d'huile de laboratoire montre que l'huile est bonne état.

- L'analyse thermographique montre qu'il y a un Point chaud constaté sur le détecteur de flamme N°02.
- Le comptage de particules d'huile donne des résultats inférieure au seuil d'alerte, donc le taux d'usure est dans les tolérances.
- L'analyse vibratoire montre une entrée du seuil d'alerte de vitesse de vibration dans la mesure horizontale au niveau de palier 1. L'identification du défaut nécessite un diagnostic à travers l'analyse spectral.

IV.6.8. Diagnostic

Le spectre de mesure qui représente un seuil vibratoire est :

[1]22/04/15– 15 :50 vitesse de rotation : 4600tr/min

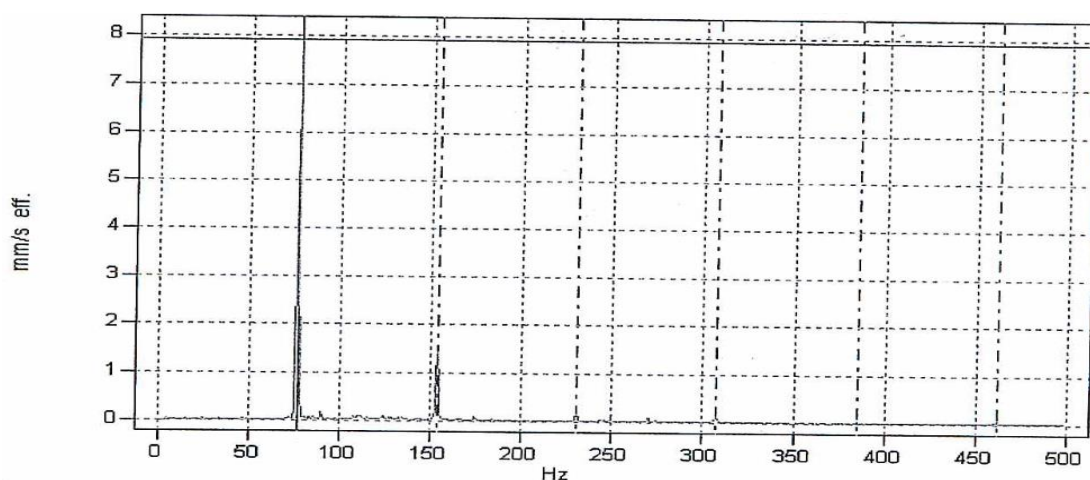


Fig. IV.8 : *Spectre de mesure horizontale de palier 1*

- La 1^{ère} raie dans la (fig. IV.8) à une amplitude de 7.933 mm/s cette valeur est le seuil d'alerte, la fréquence de cette raie est 76.66Hz (4918 tour/min), cette vitesse est la vitesse de rotation du rotor.
- la 2^{ème} raie dans le même spectre (fig. IV.8) à une amplitude de 1.6 mm/s et une fréquence 153.76HZ. Cette valeur est au-dessous de seuil d'alerte et ne constitue pas un danger.

Le 1^{ère} raie sur le spectre (fig. IV.8) Fréquence de rotation de l'arbre et aussi de vitesse de vibration élevée sur la direction horizontale, donc ce symptôme renseigne d'un défaut de balourd.

Recommandations

Les recommandations qu'on peut donner après l'interprétation des résultats sont :

- Un équilibrage de l'arbre de la turbine au niveau de palier 1.
- Surveillance de l'évolution de l'échauffement au niveau du détecteur de flamme N°02.

IV.7.CONCLUSION

L'analyse des résultats des mesures montre la présence d'un défaut de balourd au niveau de palier de la turbine. Ce défaut est la cause d'une longue période d'arrêt et les mauvaises conditions présentent pendant l'arrêt, pour y remédier on recommande un équilibrage du rotor de la turbine.

Afin d'éviter des problèmes similaires sur d'autre turbine on recommande :

- De minimiser la durée d'arrêt.
- De ne pas laisser le rotor de la turbine dans la même position du repos pendant une longue période d'arrêt.

CONCLUSION GENERALE

Conclusion générale

Dans ce mémoire, nous sommes intéressés à l'application de la différente technique de la maintenance conditionnelle (analyse vibratoire, analyse thermographique, analyse d'huile et comptage de particule) sur un équipement important d'une le centrale de production électricité, on a pu a partir de cette étude s'initier a l'application des différent techniques citées auparavant, leurs analyses et déterminer l'état de la machine.

Pour ce faire on a commencé en premier lieu par présenter l'entreprise, après on a passé à la partie méthodes de surveillance et de diagnostic, une présentation de la maintenance conditionnelle, sa pratique et ces outils, ces avantages et ces limites ont été aussi introduites, une présentation complète et principe de fonctionnement des trois outils suivant : analyse vibratoire, thermographie infrarouge, analyse d'huile et comptage de particule présent dans l'huile, puis a la partie sur les différents défauts qui peuvent infecter les machines tournantes, leur symptômes et leur moyens de détection.

L'application des différent analyse, nous a mené à déterminer l'état de l'équipement et les défauts présent qui sont le balourd au niveau de palier de turbine a partir de l'analyse vibratoire et un échauffement au niveau de détecteur de flamme a partir de l'analyse thermographique.

Bibliographies

- [1] applications à la maintenance conditionnelle; vibrations équilibrage sur site.
- [2] guide de l'utilisateur; vers le zéro panne avec la maintenance conditionnelle
AFNOR A. Boulenger. 3^{ème} édition. France. 1988
- [3] études des performances thermo élasto-hydrodynamique de paliers soumis à des conditions sévères, Jean Bouyer Thèse de doctorat d'état et science présentée devant l'INSA. 14 octobre 2003.
- [4] Analyse vibration. 2009.
- [5] Technique d'ingénieurs ; Analyse, surveillance et contrôle. BM5145 Analyse vibratoire des machines tournantes.
- [6] Surveillance et maintenance des lubrifiants industriels, Centre technique des industries mécaniques. Service lubrifiants industriels, CETIM. 1996. France.
- [7] Comptage de particule et contamination des réseaux dans le système thermodynamique. John S. Evan. Document d'entreprise 2003
- [8] Formation analyse des huiles. Document entreprise 2006
- [9] Thermographie infrarouge ; image est mesure
François Papini, Paulin Gallat . Édition Masson, 1994
- [10] localisations des défaillances
F. Champavier. Version 2009. WWW.hubertfaigner.com
- [11] Diagnostic prédictif et défaillance des machines
Philippe Arques. Edition Technip. 2009 paris
- [12] Expertise dynamique ; la maintenance prédictive des machines tournantes par surveillance vibratoire .C.Mesurele.juin 2001
- [13] Cours de formation continue du personnel des centrales thermo-electrique.
Lebid Mouloud, octobre 1990. Ref, Cours 02/FOR/XPTR
- [14] Lubrification hydrodynamique palier et butées.
Jean Frene, Daniel Nicolas, Bernard Degueurce, Daniel Berthe, Maurice Godet.
Edition 1990, Eyrolles, 61, Bd Saint-Germain. Paris.

ANNEXES

Norme de surveillance d'analyse vibratoire AFNOR E90-300 OU ISO 2372

Selon la norme AFNOR E 90-300 : l'intensité vibratoire est une grandeur caractérisant, de la façon simple et global, l'état vibratoire d'une machine.

Dans le jargon de la vibration, l'intensité vibratoire a pour synonymes : sévérité vibratoire, mesure globale, tranquillité de marche. Tout cela montre que cette mesure permet de porter un jugement simple mais grossier sur l'état d'une machine, sans préjuger de l'origine des éventuels défauts. la mesure la plus facile de l'intensité vibratoire d'une machine consiste à poser la main sur un palier pour en apprécier le comportement.

Cette norme distingue six groupes. Distingue six groupes. Les critères de distinction sont la puissance, les fondations et la présence d'effets de masse alternatifs non composables. Ces groupes sont définis comme suit:

- **GROUPE I**

Eléments de moteurs ou de machines qui dans leurs conditions normale de fonctionnement, sont intimement solidaires de l'ensemble d'une machine (par exemples moteurs électriques produits en série, puissance jusqu' à 15kw).

- **GROUPE II**

Machine de taille moyenne (en particulier moteurs électriques de puissance comprise entre 15 et 75 kW) sans fondations spéciales. Moteurs montés de façon rigide ou machines (puissance jusqu'à 300kw) sur fondation spéciales.

- **GROUPE III**

Moteurs de grandes dimensions et autres grosses machines ayant leurs masses tournantes montées sur des fondations lourdes et relativement rigides dans la direction des vibrations.

- **GROUPE IV**

Moteurs de grandes dimensions et autres grosses machines ayant leurs masses tournantes montées sur des fondations relativement souples dans la direction des vibrations. (Par exemple groupes turbogénérateurs, particulièrement ceux qui sont installés sur des fondations légères).

- **GROUPE V**

Machines et dispositifs mécaniques d'entraînement avec effets non équilibrés (dus au mouvement alternatif des pièces), monté sur des fondations relativement souples dans la direction des vibrations.

ANNEXES

Machine avec masses tournantes accouplées souplement (par exemple arbres de broyeurs).machine telles que centrifugeuses avec déséquilibres variables, capables de fonctionner isolement, sans l'aide d'élément de liaison. Cribles, machines à tester la fatigue dynamique et génératrice de vibrations pour les industries de transformation.

La norme propose pour chacun des quatre premiers groupes des seuils de jugement qui déterminent les domaines suivants:

- ▶ Bon
- ▶ Admissible
- ▶ Encore admissible (seuil d'alerte)
- ▶ Inadmissible (seuil critique)

Ces seuils ne sont qu'une proposition basée sur une statistique regroupant de très nombreuse machines de types très différents. Il est de la responsabilité de l'utilisateur d'affiner ces seuils, machine par machine, en fonction de leur historique. Ces seuils pourront ainsi être modifiés à la baisse ou à la hausse.

La norme ne propose aucun seuil de jugement pour les machines des groupes V et VI, car ils comprennent les machines alternatives, présentant des comportements très variables en fonction du nombre de cylindres, de l'angle entre ces cylindres et du calage des manetons. Ces groupes comprennent également des machines à balourd variable ou des machines construites spécialement pour vibrer.

Les seuils de jugement pour les machines des groupes V et VI ne pourront donc être déterminés que par le constructeur ou l'utilisateur.

ANNEXES

	Machine		Class I Small Machines	Class II Medium Machines	Class II Large Rigid Foundation	Class III Large Soft Foundation
	in/s	mm/s				
Vibration Velocity Vrms	0.01	0.28				
	0.02	0.45				
	0.03	0.71	GOOD			
	0.04	1.12				
	0.07	1.80				
	0.11	2.80	SATISFACTORY			
	0.18	4.50				
	0.28	7.10	UNSATISFACTORY			
	0.44	11.20				
	0.70	18.00				
	1.10	28.00	UNACCEPTABLE			
	1.77	45.90				

Norme iso 2372

ANNEXES

Norme de surveillance de comptage de particule

Les recommandations de BENTLY NEVADA sont données dans le tableau suivant:

Equipement	Classification iso
Palier lisse	17/15/12

Tab. Recommendations de BENTLY NEVADA

Nombre de tranche	Nombre de particule pour 100ml	
	Seuil d'alerte	Seuil critique
24	8×10^6	16×10^6
23	4×10^6	8×10^6
22	2×10^6	4×10^6
21	1×10^6	2×10^6
20	500×10^3	1×10^6
19	250×10^3	500×10^3
18	130×10^3	250×10^3
17	64×10^3	130×10^3
16	32×10^3	64×10^3
15	16×10^3	32×10^3
14	8×10^3	16×10^3
13	4×10^3	8×10^3
12	2×10^3	4×10^3
11	1×10^3	2×10^3
10	500	1×10^3
9	250	500
8	130	250
7	46	130
6	32	46
5	16	32
4	8	16
3	4	8
2	2	4
1	1	2

Tab Codes ISO

ANNEXES

Différents défauts et leurs identifications

Défaut	Signature fréquentielle	Remarques
Déséquilibre (balourd)	$1 * \omega$	Amplitude proportionnelle au carré de la vitesse de rotation déphasage de 90 sur 2 mesures orthogonales
Déclignage	$2 * \omega$ (par fois 3)	Direction axiale importante si le déclignage comporte un angulaire
Déformation des arbres	$1 * \omega$ (par fois 2 ou 3)	Direction axiale
Défaut de palier	Très élevée (plusieurs ω)	
Défaut sur engrenage	$z \times \omega$	Dépend du nombre de dents
Mauvais serrage défaut de fixation	1, 2, 3, et 4 fois ω	Direction radiale
jeu	$\frac{1}{2}, 1, 1\frac{1}{2}, 2, 2\frac{1}{2}, 3$ fois ω	
Courroie défectueuse	1, 2, 3 et 4 fois ω	Direction radiale importante
Tourbillon d'huile	Inférieur à ω 0,42 à 0,48	Uniquement sur palier lisses hydrodynamiques à grande vitesse
Inférieur à ω De 0,42 à 0,48	Inférieur à ω	

Avec :

ω : La vitesse de rotation.

Résumé

Résumé

Dans ce mémoire, nous sommes intéressés à l'application de la différente technique de la maintenance conditionnelle (analyse vibratoire, analyse thermographique, analyse d'huile et comptage de particule), et appliqué ces technique par les méthodes de surveillance et de diagnostique pour déterminer l'état de la machine.

Dans notre cas pratique au sien SPE (central de production électricité), nous allons faire L'application des différent analyse, nous a mené à déterminer l'état de l'équipement et les défauts présent qui sont le balourd au niveau de palier de turbine a partir de l'analyse vibratoire et un échauffement au niveau de détecteur de flamme a partir de l'analyse thermographique.

Abstract

In this theses, we are interested in the application of different technical condition monitoring (vibration analysis, thermography analysis, oil analysis and particle counting), and applied these methods by technical surveillance and diagnosis to determine the state of the machine.

In our practice to his case SPE (power generation central), we will make the application of different analysis led us to determine the state of the equipment and defects that are present in the unbalance turbine bearing level from vibration analysis and heating the flame detector level from the thermography analysis.

ملخص

في هذه المذكرة نحن مهتمون بتطبيق مختلف تقنيات الصيانة الشرطية (تحليل الاهتزازات، والتحليل الحراري، وتحليل الزيت وعد لجسيمات) وتطبيق هذه التقنية المتمثلة في المراقبة والتشخيص من أجل تحديد حالة الجهاز.

قد قمنا بتطبيق هذه التقنية في مركز توليد الطاقة الكهربائية بتيارات وذلك بتشخيص حالة المعدات وأخطاء عدم التوازن على مستوى محور الدوران للجهاز (التوربين) والناجة عن تحليل إهتزازات. وارتفاع نسبة الحرارة على مستوى مراقب النار وذلك بالتحليل الحراري.