MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA RECHERCHE



UNIVERSITE KASDI MERBAH-OUARGLA Institut des Sciences et des Techniques Appliquées Département : Génie Appliqué



Projet de Fin d'Etudes En vue de l'obtention du diplôme de Licence Professionnelle

Spécialité : Mesures, Métrologie et Qualité

Division : Optique et Mécanique de Précision

Domaine: Sciences et Technologie

Réalisé par l'étudiant :

AD Hana OUDDANE Ikram

Thème :

Analyse de Vibration D'une Turbine à Gaz

Soutenu le 14/06/2022 devant la commission d'examen composée de :

M. MECHRI Mohammed Laid MCB à l'Université de Ouargla **Président**

M. AZIZI Abdelghani EV à l'Université de Ouargla **Directeur du Mémoire**

M. MAHBOUB Med Abdelbasset MCB à l'Université de Ouargla Examinateur

Année Universitaire : 2021 / 2022

Dédicaces

Je dédié ce modeste travail à :

Mes parents, qui n'ont jamais cessé de m'encourager et me soutenir

Mes frères et mes sœurs

Mon ami Hana et sa famille

Mes amis

Tous les membres de ma famille

Ma grand-mère: puisse dieu l'accueillir dans son vaste paradis.

IKRAM OUDDANE

Je dédié ce modeste travail à :

A ma cher mère celle qui a attendu avec patience le fruit de sa bonne éducation et de ses dévouements

A mon père feu pour le gout à l'effort qu'il a suscité en moi, de par sa rigueur

A mes chères sœurs pour leurs encouragements permanents, et leur soutien moral, à mes chers frères pour leur appui et leur encouragement et a toute ma famille pour leur soutien tout au long de mon parcours universitaire

A tous mes collègues et amis

J'espère que ce travail sera l'accomplissement de vos soi-disant souhaits, et le résultat de votre soutien constant.

HANA AD

Remerciements

Nous tenons à remercier tout d'abord Dieu le tout puissant pour la volonté, la santé et la patience, qu'il nous a donné durant toutes ces longues années.

Ainsi, nous tenons également à exprimer nos vifs remerciements à notre encadreur Mr.AZIZI Abdelghani et Mr. MAHBOUB Mohamed Abdelbasset pour avoir accepté de nous encadrer, pour suivi continuel tout le long de la réalisation de ce mémoire et qui n'a pas cessé de nous donner ses conseils.

Nous tenons à remercier vivement le chef service diagnostic machine Mr. BENMABROUK Wahid, ainsi à tous ceux qui nous ont aidés de près ou de loin à accomplir ce travail.

En fin, nous tenons à exprimer notre reconnaissance à tous nos amis Et collègues pour le soutien moral et matériel...

AD Hana OUDDANE Ikṛam

Sommaire

Introduction Generale	1
Chapitre 01	2
GENERALITES SUR LES CENTRALES ELECTRIQUE HMN 3 ET HMO	3
1.1. Introduction	3
1.2. Présentation de la nouvelle centrale électrique (HMN3)	
1.2.1. Constitution de l'ouvrage et dates de mise en service	4
1.3. Présentation Centrale Hassi Messaoued Ouest	
1.3.1. L'unité de production HMO (492MW)	
1.3.2. Les missions principales de l'unité de production SPE/PPE/HMO sont	
1.3.3. Mise en service des Centrales	
Chapitre 02	9
LA MAINTENANCE CONDITIONNELLE PAR ANALYSE	
VIBRATOIRE DANS CENTRAL ELECTRIQUE	
VIDIATIONAL DINAGENTIALE ELECTRIQUE	10
2.1. Introduction	
	10
2.1. Introduction	10
2.1. Introduction	10 10 10
2.1. Introduction	

2.7.1. Maintenance conditionnelle off- line	14
2.7.2. Maintenance conditionnelle on-line	14
2.8 Techniques d'analyse	15
2.9. L'analyse vibratoire	15
2.10. Définition d'une vibration	16
2.10.1. Caractéristiques d'une vibration	16
2.10.2. Trois grandeurs représentatives de l'amplitude	17
2.10.3. Différentes formes de vibration	19
2.10.4. Vibration apériodique	20
2.10.5. Capteur de vibrations	
2.10.6. prosimètres	
2.10.7. Accéléromètre	
2.10.8. Problèmes et défauts détectés	
2.10.9. Chaîne de mesure des vibrations	
2.11. Méthode d'analyse vibratoire	
2.11.1. Méthode temporelle	
2.11.2. Méthode fréquentielle	
2.12. surveillance vibratoire	27
2.13. Conclusion	27
Chapitre 03	28
•	28
ANALYSE DE VIBRATION DE LA TURBINE A GAZ DANS LA	
•	
ANALYSE DE VIBRATION DE LA TURBINE A GAZ DANS LA	29
ANALYSE DE VIBRATION DE LA TURBINE A GAZ DANS LA CENTRAL ELECTRIQUE HMO	29 29
ANALYSE DE VIBRATION DE LA TURBINE A GAZ DANS LA CENTRAL ELECTRIQUE HMO	29 29 29
ANALYSE DE VIBRATION DE LA TURBINE A GAZ DANS LA CENTRAL ELECTRIQUE HMO	29 29 29
ANALYSE DE VIBRATION DE LA TURBINE A GAZ DANS LA CENTRAL ELECTRIQUE HMO	2929292929
ANALYSE DE VIBRATION DE LA TURBINE A GAZ DANS LA CENTRAL ELECTRIQUE HMO	292929292931
ANALYSE DE VIBRATION DE LA TURBINE A GAZ DANS LA CENTRAL ELECTRIQUE HMO	292929293131
ANALYSE DE VIBRATION DE LA TURBINE A GAZ DANS LA CENTRAL ELECTRIQUE HMO	29292929313132
ANALYSE DE VIBRATION DE LA TURBINE A GAZ DANS LA CENTRAL ELECTRIQUE HMO	29292929313132
ANALYSE DE VIBRATION DE LA TURBINE A GAZ DANS LA CENTRAL ELECTRIQUE HMO	2929292931313233
ANALYSE DE VIBRATION DE LA TURBINE A GAZ DANS LA CENTRAL ELECTRIQUE HMO 3.1. Introduction	2929292931313234
ANALYSE DE VIBRATION DE LA TURBINE A GAZ DANS LA CENTRAL ELECTRIQUE HMO	29292929313132333434
ANALYSE DE VIBRATION DE LA TURBINE A GAZ DANS LA CENTRAL ELECTRIQUE HMO	29292929313132333434

3.7. Les sections principales d'une turbine à gaz	37
3.7.1. Section compresseur	37
3.7.2. Section Combustion	
3.7.3. Section Turbine	
3.8. Compartiment auxiliaire turbine à gaz MS9001E	40
3.8.1. Démarrer le moteur	
3.8.2. Système de virage	41
3.9. Principe de fonctionnement	41
3.10. Matériel utilisé	41
3.10.1. VIBXPERT EX	42
3.11. Suivi de mesure de vibrations turbine à gaz MS9001E	43
3.11.1. Méthodes utilisées pour le dépistage et le diagnostic	43
3.11.2. Caractéristiques turbine à gaz MS9001E	
3.12. Les points de mesure	44
3.13. Résultats du contrôle vibratoire:	46
3.13.1. Cas d'un défaut de palier 4 d'alternateur	49
3.13.2. Représentation spectrale (fréquentielle):	49
3.14. Interventions recommandées	52
3.14.1. Protocole d'équilibrage	53
3.14.2. Résultats de mesure	53
3.15. Conclusion	54
CONCLUSIONS GENERALES	1

Liste des figures

Figure I 1:L'organigramme de HMN 3	4
Figure I 2: la central electrique HMN3	5
Figure 3:L'organigramme De L'unite De Production HMO	7
Figure I 4: Central HMO	8
Figure II 5: Les differents types de maintenance	11
Figure II 6 : Les differents indicateurs utilises pour le diagnostic	12
Figure II 7 : IMAGES THERMOGRAPHIQUES	13
FIGURE II 8 : LES DIFFERENTES ETAPES DU DIAGNOSTIC	14
Figure II 9 : Representation du mouvement d'un systeme masse	18
FIGURE II 10 : VIBRATION HARMONIQUE	19
Figure 11 : VIBRATION PERIODIQUE	20
Figure 12: VIBRATION ALEATOIRE	20
Figure II 13 : Capteurs de vibration	22
FIGURE II 14.: PROSIMETRES ET LEUR DRIVER	23
FIGURE II 15: PRINCIPE DU CAPTEUR INDUCTIF A COURANTS DE FOUCAULT	23
Figure II 16 : Schema de principe d'un accelerometre	24
Figure II 17 : Chaine de mesure	26
FIGURE III 18 : IMAGE VIBRATOIRE D'UN DEFAUT DE BALOURD	30
Figure III 19 : Type de defaut de balourd	30
FIGURE III 20 : DEFAUTS D'ALIGNEMENT D'ARBRES	31
Figure III 21 : Defaut de serrage	32
Figure III 22 : Images vibratoires d'un phenomene de jeu	32
FIGURE III 23 : DIFFERENTS TYPES D'ENGRENAGE	33
FIGURE III 24 : DEFAUTS DE ROULEMENT	33
FIGURE III 25 : POINTS DE MESURE SUR UN PALIER	34
FIGURE III 26 : CHOIX DE L'EMPLACEMENT DE CAPTEUR	35
FIGURE III 27: LES SURFACES DE CONTACT AVEC LES CAPTEURS DOIVENT ETRE LISSES ET PLANES	35
Figure III 28 : Moteur	36
Figure III 29 : Schema technique du comportement d'un TG	37
Figure III 30 : Compresser de turbine a gaz	38
FIGURE III 31 : DISPOSITION DU SYSTEME DE COMBUSTION	39
FIGURE III 32 : SECTION TURBINE	40
FIGURE III 33: MOTEUR DE LANCEMENT	40

FIGURE III 34 : SCHEMA TECHNIQUE DE PASSAGE DE GAZ DANS LA TURBINE	41
FIGURE III 35 : APPAREILS DE MESURE DE VIBRATIONS DE VIBXPERT	42
FIGURE III 36 : PLAN DES POINTS DE MESURE DE VIBRATION	45
Figure III 37 : Plié 4 (Alternator I)	45
Figure III 38 : Palie 1	46
Figure III 39 : Palier 4 vertical avant equilibrage	49
Figure III 40 : Palier 4 axial avant equilibrage	50
FIGURE III 41 : PALIER 4 HORIZONTAL AVANT EQUILIBRAGE	50
Figure 42 : Palier 4 vertical apres equilibrage	51
Figure III 43 : axial apres equilibrage	51
Figure III 44 : Palier 4 horizontal apres equilibrage	52
Figure III 45 : Palier 4 horizontal apres equilibrage	53
Figure III 46 : Plan d'equilibrage palier N°4 Alternateur	

Liste Des Tableaux

Tableau III 1: les propretes de turbine a gaz 9001 E	43
Tableau III 2 : Resultats du controle vibratoire Avant l'alignement	46
Tableau III 3: Vibrations prelevees sur MARK V	47
Tableau III 4 : Resultats du controle vibratoire Apres l'alignement	47
Tableau III 5 : Vibrations prelevees sur MARK V	48
TABLEAU III 6 : RESULTATS DES MESURES D'EQUILIBRAGE	53

LISTE DES ACRONYMES

HMN3: Hassi Messaoude Nord	3
HMO: Hassi Mesaoued Ouest.	5
SPE: Socite algerienne de la Production de l'électrique	3
TG: Turbine à Gaz	6

INTRODUCTION GENERALE

L'analyse vibratoire est la méthode la plus largement utilisée pour la surveillance, le diagnostic fiable et pour la détection d'apparition et du développement de la plupart des défauts d'origines diverses. Ce travail de maintenance est d'une grande importance économique, car il permet une transition d'une maintenance systématique à une maintenance conditionnelle plus efficace.

Le but de notre travail est d'appliquer l'analyse vibratoire dans le diagnostic de ces défauts afin d'améliorer la maintenance préventive des équipements et de connaître l'évolution de ces défauts pour permettre de planifier les opérations de remplacement des composants défectueux, le stock de pièces détachées et l'outillages nécessaires, ainsi que le personnel spécialisé.

Outre l'introduction et la conclusion générale, notre travail s'articule autour de Trois chapitres dont :

Chapitre un Généralité:sur les centrales électrique HMN3 et HMO

Dans la première partie du chapitre, nous avons présenté les centrales électrique HMN3 et HMO

Chapitre deux: la maintenance conditionnelle par analyse vibratoire dans central électrique

Dans le deuxième chapitre on a proposé une vue complète sur les techniques et les moyens d'analyse vibratoire, et la maintenance pour cela on a approché les notions fondamentales de diagnostic vibratoire.

Chapitre trois : Analyse de vibration de la turbine à gaz dans la central électrique

Dans le troisième chapitre nous avons présenté une étude des principaux défauts sur les machines tournantes et Description de la turbine à gaz MS9001E et Suivi de mesure de vibrations turbine à gaz

Chapitre 01

Generalites sur les centrales eélectrique HMN 3 ET HMO

1.1. Introduction:

La production d'électricité de grande puissance de plusieurs centaines de mégawatts est obtenue en convertissant l'énergie chimique contenue dans le combustible (charbon, fioul ou gaz naturel) ou l'énergie en énergie thermique, puis en énergie mécanique, et en énergie électrique. Dans ce chapitre, nous fournirons quelques informations sur la centrale électrique de Hassi Messaoud (HMN3) et HMO

1.2. Présentation de la nouvelle centrale électrique (HMN3)

La nouvelle centrale de Hassi Messaoud (HMN3) d'une capacité terminale de 660,94 MW (3 x 220,31 MW conditions de site) est située sur la route nationale N°3 à environ 13 km au nord-ouest de la capitale de la daïra de Hassi Messaoud, elle s'étend sur une superficie de 15 hectares.

La nouvelle centrale de Hassi Messaoud (HMN3), rattachée au pôle de production Ouest TV/TG de la société algérienne de production d'électricité « SPE », a été construite dans le cadre du programme 4000 MW et est conçue pour répondre aux exigences suivantes :

- répondre aux besoins énergétiques liés au développement des pôles pétroliers et parapétroliers de Hassi Messaoud ;[1]
- Renforcer la sécurité de l'approvisionnement électrique régional ;
- Assurer une meilleure fiabilité et qualité de service aux clients ;
- Assurer la sauvegarde du réseau Internet national.

1.2.1. Constitution de l'ouvrage et dates de mise en service

La structure est constituée de 3 groupes turbines à gaz d'une puissance unitaire de 220,31 MW, V94.3A version 4 du constructeur ANSALDO ENERGIA (Italie).

L'appariement des groupes se fait selon le calendrier suivant :

- 05.08.2015 : Accouplements du Groupe N°01 ;
- 14.03.2016 : Accouplements du Groupe N°02 ;
- 26 juin 2016 : Accouplement du Groupe N°03 ; [1]

1.2.2. L'organigramme de HMN 3 :

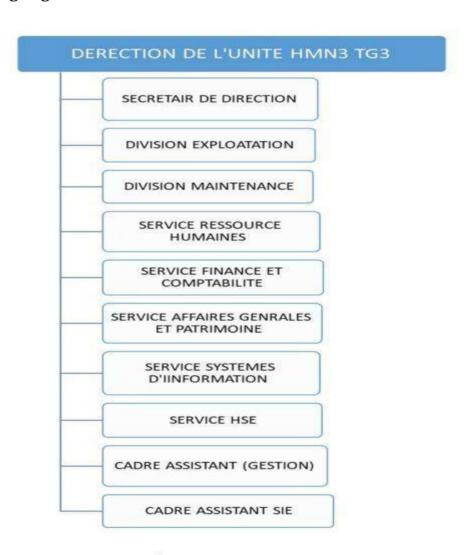


Figure | 1 :L'organigramme de HMN 3



Figure | 2: la central électrique HMN3

1.3. Présentation Centrale Hassi Messaoued Ouest :

L'unité de production HMO (Hassi Messaoud Ouest) est un ensemble de centrales TG, réparties à travers un espace délimité, est chargée d'assurer l'exploitation et la maintenance des moyens de production et des installations annexes. L'ensemble formé, constitue une unité de production de l'énergie électrique.

L'Unité de production HMO et ses trois centrales HMO, HMC et Ouargla d'une puissance installée de , dépendant du Pôle de Production TV/TG Est de la Société Algérienne de Production de l'Electricité « SPE » contribue à:

assurer l'alimentation de la région de Hassi Messaoud et Ouargla.

renforcer le réseau national interconnecté

Assurer la fiabilité, la continuité et la qualité de service requise

1.3.1. L'unité de production HMO (492MW)

Phas1:

Groupes 1,2,3 TG:

Puissance: 3x123 MW

Constructeur: NUOVO PIGNON (Italie)

Date mise en service: 1999

Phase2:

Groupe TG 04:

Puissance 123MW

Constructeur NUOVO PIGNON (Italie)

Date de mise en service 2003 a. Mission de l'unité:

1.3.2. **Les** missions principales de l'unite de production SPE/PPE/HMO sont :

- Réaliser le programme de production fixé par l'opérateur système.
- Garantir la disponibilité du matériel, la continuité et la qualité de service.
- Veiller à la sécurité des personnes et du matériel et à la protection de l'environnement.
- Respecter les doctrines d'exploitation et de maintenance définies par SPE.
- Veiller à l'utilisation et l'entretien du matériel dans les meilleures conditions de couts et de fiabilité.[2]

1.3.3. Mise en service des Centrales

MSI du groupe 1 : 29 / 12 / 1999

MSI du groupe 2 : 13/5/2000

MSI du groupe 3 : 08 / 12 / 1999

MSI du groupe 4: 26 / 10 / 2003

1.3.4. L'organigramme De L'unité De Production HMO :

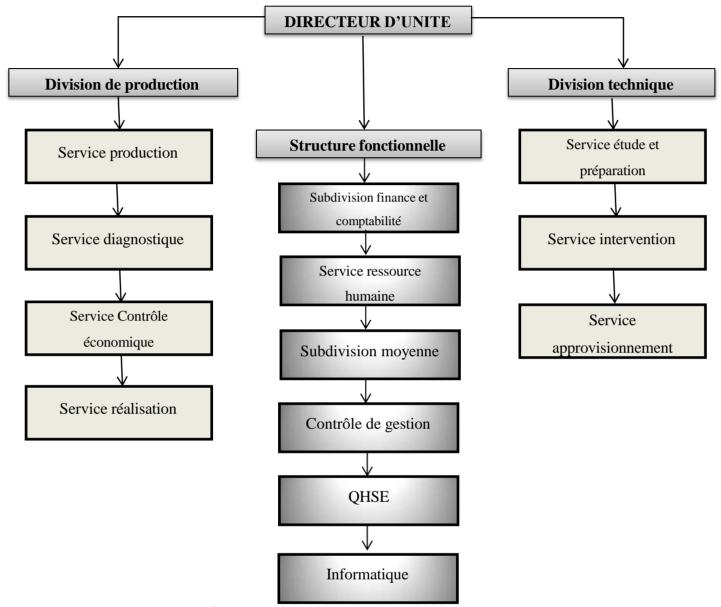


Figure 13: L'organigramme De L'unité De Production HMO



Figure | 4: Central HMO

Chapitre 02

LA MAINTENANCE CONDITIONNELLE PAR ANALYSE VIBRATOIRE DANS CENTRAL ELECTRIQUE

2.1. Introduction:

A l'époque moderne, la tâche principale de l'entretien des machines électriques tournantes est de diagnostiquer les pannes avec précision, ce qui est essentiel. Cet effort de maintenance a des implications économiques importantes car il permet de passer de la maintenance du système à une surveillance plus efficace de l'état. Le principe de l'analyse vibratoire est que toutes les machines tournantes (moteurs, pompes, compresseurs, turbines...) sont basées sur l'idée que les vibrations sont générées pendant le fonctionnement et que les vibrations sont causées par des défauts

Dans ce chapitre, nous introduisons l'approche de maintenance, nous donnons les différents types de maintenance et présentons techniques de la maintenance conditionnelle

2.2. Définition de la Maintenance

Cest un ensemble des action permettant de maintenir ou de rétablir un bien (machine , équipement , procède,,,,, dns un état spécifie ou en mesure d'assurer un service déterminé

2.3. But de la maintenance :

Les objectifs de la maintenance peuvent être classés en deux types

2.3.1. **Objectifs financiers**:

- Minimiser les coûts de maintenance.
- Fournir des services de maintenance dans les limites du budget.

2.3.2. Objectifs opérationnels :

• Maintenir le matériel en parfait état.

- Assurer une disponibilité maximale des équipements à moindre coût.
- Augmenter la durée de vie de l'équipement.
- Entretenir les équipements avec un minimum d'économie et les remplacer aux heures prévues.
- Assurer un fonctionnement sûr et efficace en tout temps.

2.4. Différents types de maintenances:

On distingue deux principaux types de la maintenance.[3]

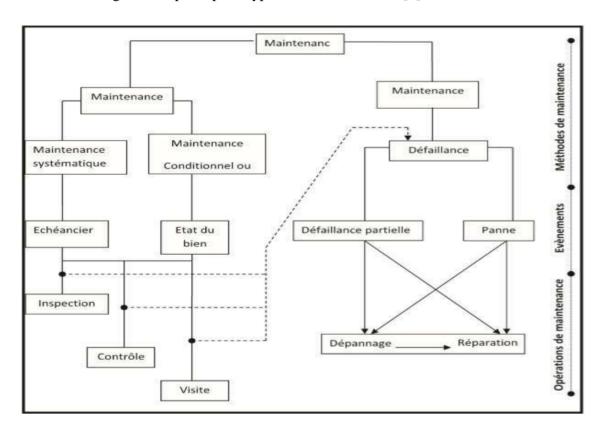


Figure | 5: Les différents types de maintenance.

2.4.1. La maintenance corrective :

On l'appelle aussi entretien fortuit, accidentel ou thérapeutique. Effectuez les opérations de maintenance après l'apparition d'un défaut. C'est l'attitude d'attendre un défaut d'intervention. Elle peut être divisée en deux branches : la maintenance palliative et la maintenance thérapeutique.

2.4.2. Maintenance préventive :

Le but de la maintenance préventive est d'identifier toutes les actions à effectuer sur le procédé afin qu'il ne soit pas affecté par des défaillances. Deux approches possibles peuvent être distinguées pour cela : la maintenance préventive du système et la maintenance préventive conditionnelle[3]

2.5. Techniques de la maintenance conditionnelle :

La maintenance conditionnelle se base sur l'analyse des grandeurs mesurées afin de détecter ou signaler une anomalie au niveau d'un système. Ces grandeurs peuvent être :[3]

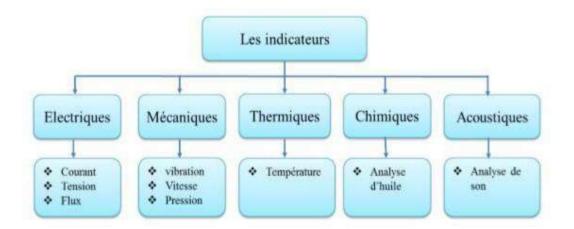


Figure II 6 : Les différents indicateurs utilisés pour le diagnostic.

2.5.1. Mesure des vibrations :

Toutes les machines, notamment les machines tournantes, vibrent, et lorsqu'elles sont en bon état de marche, leur image vibrante a un profil bien particulier. Une fois l'usure, la fatigue, le vieillissement, la luxation, le déséquilibre et d'autres phénomènes se produisent. apparaît, l'aspect de cette image change, ce qui permet de quantifier l'intervention. La plupart des défauts mécaniques peuvent être détectés par cette technique.

2.5.2. Thermographie infrarouge:

thermographie infrarouge est l'une des techniques utilisées pour surveiller l'état des structures et des systèmes industriels. Il mesure l'intensité des émissions infrarouges (c'est-à-dire la chaleur) à travers une caméra infrarouge pour déterminer la santé de l'appareil. En détectant les anomalies thermiques, où certaines zones sont plus chaudes ou plus froides

qu'elles ne devraient l'être, des inspecteurs expérimentés peuvent localiser et identifier les incidents dès leur apparition. Les domaines d'application de cette technologie sont très larges et on peut citer :

• Détection de points chauds dans des équipements électriques (conducteurs surdimensionnés, bornes sous-serrées, etc.) ou mécaniques (dégradation des roulements)

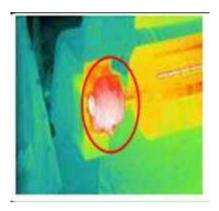


Figure II 7 : Images thermographiques

2.5.3. L'analyse des mesures ultrasonores :

Tout mouvement relatif entre les pièces génère des ondes tribologiques. La mesure et l'enregistrement réguliers des signaux ultrasonores, ainsi que leur suivi dans le temps, permettent de détecter de nombreux problèmes de manière simple, efficace et peu coûteuse. Cette technologie offre des applications variées dans le contrôle d'équipements hydrauliques et pneumatiques (détection de fuites, contrôle d'étanchéité), et peut également détecter les ondes ultrasonores émises par des défauts électriques (mauvais contacts, effets corona, effets arc, etc.).[3]

2.6. Différentes étapes de diagnostic d'un système :

Le diagnostic des systèmes industriel nécessite un certain nombre d'étapes résumées à la figure

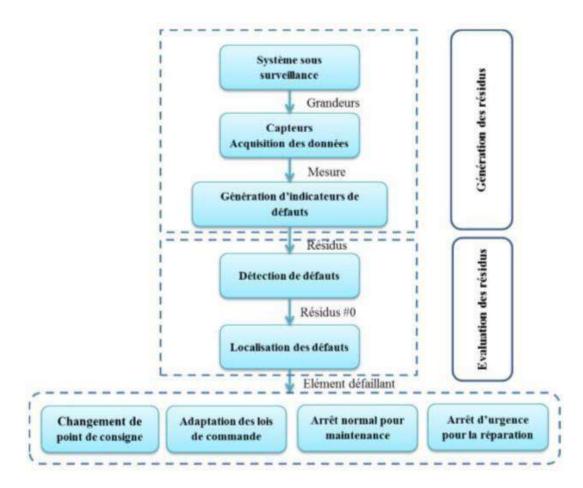


Figure II 8 : les différentes étapes du diagnostic

2.7. Différents types de la maintenance conditionnelle

Il existe deux types de maintenance conditionnelle :

2.7.1. Maintenance conditionnelle off-line:

Il s'agit de la surveillance périodique (off -line) de l'évolution des paramètres (par exemple les vibrations), souvent accompagnée d'une surveillance d'autres paramètres (analyse du lubrifiant, performances, évaluation sensorielle, etc.). Cela permet de détecter l'apparition de défauts évoluant lentement. La fréquence des relevés est variable (entre 2 semaines et 6 mois, selon la taille et le coût de la machine en question).

2.7.2. Maintenance conditionnelle on-line :

C'est une surveillance continue (on - line) qui suit l'évolution de tous les paramètres dont il dispose, en plus il a l'avantage de détecter les défauts évoluant rapidement et d'assurer

une installation en toute sécurité en arrêtant la machine à l'approche d'un défaut. Seuil de danger connu. Seules les pannes explosives (telles que la perte brutale d'aubes de turbine ou de compresseurs axiaux) ne peuvent pas être détectées de manière précoce, mais le déclenchement d'alarmes machine lorsqu'elles se produisent peut limiter les dommages causés par ces pannes.[3]

2.8. Techniques d'analyse :

Surveillez l'équipement de la machine en lisant périodiquement les indicateurs de dégradation ou d'état des performances.

Il existe différentes techniques d'analyse telles que l'analyse vibratoire, l'émission acoustique, l'imagerie thermique, l'analyse des huiles et lubrifiants, les variations de résistance des circuits électriques, etc.

Le choix des indicateurs dépend du type de machine à investiguer et du type de panne à détecter. Pour les machines tournantes, un indicateur vibrant peut détecter la plupart des défauts, créant un graphique de l'évolution de l'indicateur dans le temps. Sur cette courbe, différents seuils sont définis correspondant à des niveaux d'alarmes, des alarmes, des niveaux de défaut, qui sont établis empiriquement ou en appliquant des normes de roulement, et des tableaux de sévérité vibratoire permettent de définir différents seuils [17]

2.9. L'analyse vibratoire :

Elle est la plus connue et la plus utilisée car elle s'applique au fonctionnement des composants mécaniques et des machines industrielles. Il détecte la plupart des défauts pouvant survenir dans les machines tournantes.

Objectifs l'analyse vibratoire:

- Détection des défauts.
- Analyse détaillée des pannes.

Les paramètres calculés sont utilisés à cette fin :

- ou dans le domaine temporel.
- Dans le domaine fréquentiel.
- Dans les deux à la fois.

! Les avantages :

- Détection précoce des pannes.
- Possibilité de diagnostic approfondi.
- Permet une surveillance continue.
- Vous permet de surveiller.
- Appareil à distance.

! Les inconvénients:

• Les spectres sont parfois difficiles à interpréter.[8]

2.10. **Définition d'une vibration:**

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.

2.10.1. Caractéristiques d'une vibration :

Une vibration est caractérisée par trois paramètres : La fréquence, L'amplitude, La phase

• a fréquence: La fréquence est le nombre de fois qu'un phénomène se répète dans un temps donné, lorsque l'unité de temps choisie est la seconde, la fréquence est exprimée en hertz (Hz) une vibration qui se produira 50 fois par seconde aura donc un 50hz la fréquence. Donc, par définition : 1 Hertz = 1 cycle / second

la période est l'inverse de la fréquence T= 1/50 de seconde

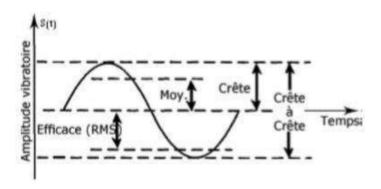
• l'amplitude : L'amplitude du mouvement vibratoire est son écart par rapport à la position d'équilibre. Selon cette définition générale, la complexité d'un signal vibratoire réel conduit à définir plusieurs grandeurs pour caractériser son amplitude.

• l'amplitude crête (Xc). Il représente l'amplitude maximale du signal par rapport à sa valeur d'équilibre.[4]

$$s_{eff} = \frac{s_c}{\sqrt{2}} = \frac{s_{cc}}{2\sqrt{2}}$$
$$s_c = \sqrt{2}. s_{eff} = \frac{s_{cc}}{2\sqrt{2}}$$

$$s_{cc} = 2\sqrt{2}.s_{eff} = 2s_c$$

• l'amplitude effective (Xeff) ou RMS (Root Mean Square) en anglais. Comme l'électricité, il représente l'amplitude corrigée "statique" du signal redressé, et donc l'énergie donnée par le mouvement vibratoire.



$$s_{eff} = \sqrt{\frac{1}{2}(s_{1eff}^2 + s_{2eff}^2 + \dots + s_{neff}^2)}$$

Avec:
$$s_{ieff} = \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T s_i^2(t) . dt}$$

• Valeur moyenne:

Signal périodique $s_{may} = \frac{1}{T} \int_0^T s(t)$

Signal transitoire $s_{moy} = \frac{1}{t_v - t_z} \int_{t_1}^{t_2} s(t) dt$

2.10.2. Trois grandeurs représentatives de l'amplitude :

Si nous reprenons l'exemple du système mécanique (figure II. 3), on constate que le mouvement de la masselotte se traduit par

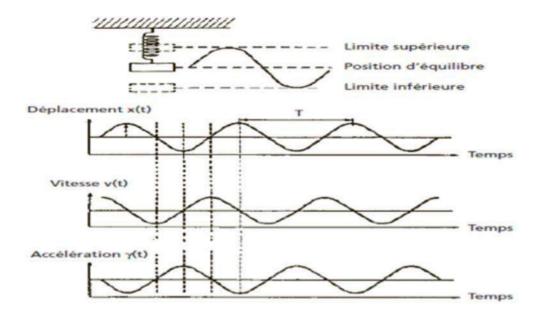


Figure II 9 : Représentation du mouvement d'un système masse.

- ❖ Le déplacement : La position des masselottes varie de part et d'autre de la position d'équilibre, de la limite supérieure à la limite inférieure du mouvement.
- ❖ La Vitesse de déplacement : Cette vitesse est nulle aux points les plus élevés et les plus bas du mouvement de la masselotte et est maximale près du point d'équilibre. Un vecteur représentant la dérivée du déplacement par rapport au temps

$$V(t) = \frac{s(t)}{dt}$$

❖ L'accélération : Cela permet à la masselotte de passer de sa vitesse minimale au début de la course à sa vitesse maximale au point d'équilibre, puis de décélérer en fin de course.[10]

$$A(t) = \frac{dv(t)}{dt} = \frac{d^2v(t)}{d^2t}$$

$$S(t) = s \sin(\omega t)$$

$$S'(t) = v(t) = s \cdot \omega \cos(\omega t) = s \cdot \omega \sin(\omega t + \frac{\pi}{2})$$

$$S''(t) = a(t) = -s \cdot \omega^{2} \sin(\omega t) = s \cdot \omega^{2} \sin(\omega t + \pi)$$

- Détecter l'amplitude de déplacement des phénomènes basse fréquence.
- Détecter l'amplitude de l'accélération pour les phénomènes à haute fréquence.
- Détecter les grandeurs de vitesse pour les phénomènes à grande échelle.

2.10.3. Différentes formes de vibration :

Les vibrations mécaniques sont des mouvements oscillatoires autour d'une position d'équilibre moyenne. Ces mouvements oscillatoires sont caractéristiques de l'effort qui les a produits et peuvent être périodiques ou apériodiques (transitoires et aléatoires) selon qu'ils se répètent à l'identique après un laps de temps déterminé.

- -Harmoniques
- Périodiques.
- apériodiques

2.10.3.1. Vibration harmonique:

La vibration harmonique est une vibration dont le diagramme amplitude-temps est représenté par une sinusoïde

Elle est décrite par l'équation :

$$x(t) = X \cdot \sin(\omega t + \varphi)$$

Avec:

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

f = fréquence du mouvement.

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

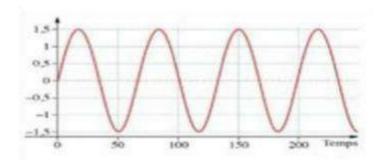


Figure II 10 : vibration harmonique.

Le meilleur exemple d'une vibration harmonique est celle généré par le balourd d'un rotor en mouvement.

2.10.3.2. Vibrations périodiques :

La vibration périodique est telle qu'elle se reproduit juste après un temps précis appelé période. De telles vibrations sont produites par des excitations elles-mêmes périodiques. C'est la situation la plus courante rencontrée sur la machine. Cette forme de vibration est composée de plusieurs vibrations harmoniques

Elle est décrite par l'équation.

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

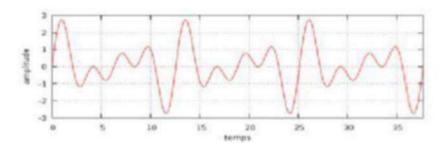


Figure 11: vibration périodique

2.10.4. Vibration apériodique :

A . Vibrations aléatoires : La vibration aléatoire est telle que son comportement temporel est arbitraire, c'est-à-dire que la reproductibilité dans le temps n'est jamais observée. C'est le cas des chocs enregistrés sur le broyeur

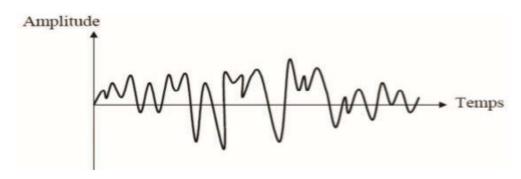


Figure 12 : vibration aléatoire.

Elle est décrite par l'équation ci-dessous :

$$x(t) = \sum_{i=1}^{\infty} [X_i. \sin(\omega_i.t + \phi_i)]$$

b. Vibrations transitoires : Produit par des forces discrètes (chocs). Ils peuvent avoir ou non un aspect oscillatoire qui revient à une position d'équilibre après amortissement. Lorsqu'il y a vibration, pour une structure où la structure vibre après un choc et le coefficient d'amortissement est faible, on dit qu'il y a amortissement sous-critique, le mouvement est pseudopériodique, et si l'amortissement est important, la structure revient à l'équilibre. Sans position oscillante, on dit que l'amortissement est trop critique et le mouvement est apériodique.

La Tableau ci-dessous illustre la représentation temporelle des vibrations en fonction de leurs natures :[5]

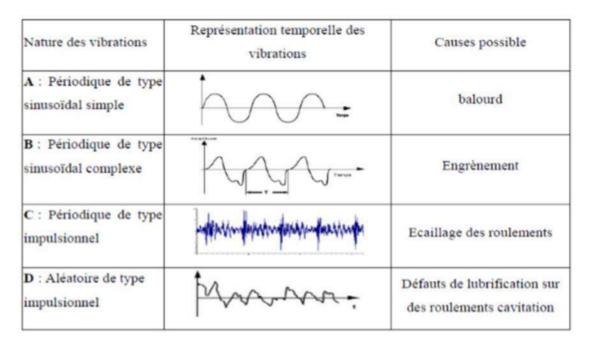


Tableau II 11: Nature de la vibration selon les variations

2.10.5. Capteur de vibrations :

Les trois grandeurs qu'une personne mesure en technologie vibratoire - déplacement, vitesse et accélération - peuvent être comprises par des systèmes très différents les uns des autres. Il existe trois principes plus spécifiquement utilisés :

• Déplacement : principe des courants de Foucault

- Vitesse : principe électrodynamique
- Accélération : principe piézoélectrique

Ils ont tous le même objectif : convertir les vibrations mécaniques en signaux électriques.

Les capteurs utilisant ces principes peuvent être actifs ou passifs. Les capteurs actifs ne nécessitent pas d'alimentation, tandis que les capteurs passifs ne peuvent pas fonctionner sans alimentation auxiliaire[16]

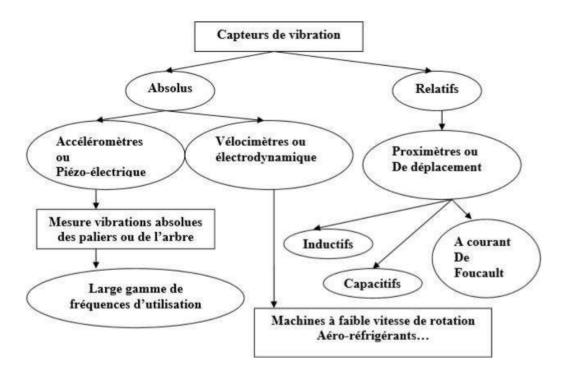


Figure II 13: Capteurs de vibration.

2.10.6. prosimètres:

La sonde Prosimètre ou capteur de déplacement sans contact est proportionnelle au déplacement relatif des vibrations de l'arbre ou du rotor, elle est installée à demeure dans le roulement [Figure 12], les mesures de déplacement ne peuvent pas être quantifiées sur toutes les gammes de fréquence, ces mesures seront limité aux basses fréquences (< 100 Hz).

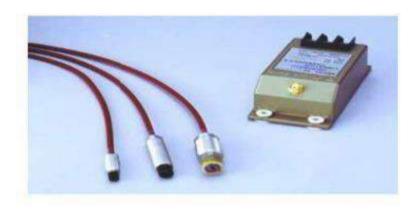


Figure II 14. : prosimètres et leur driver.

Les capteurs de déplacement sont utilisés dans toutes les applications où le jeu entre les arbres et les roulements doit être surveillé.

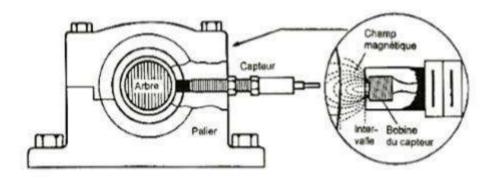


Figure II 15 : Principe du capteur inductif à courants de Foucault

2.10.6.1. Avantages et inconvénients :

* Avantage:

- Mesure directe du mouvement de l'axe
- Même capteur pour butée axiale, vibration radiale et vitesse
- Mesure directe du déplacement
- Aucune pièce mobile

. inconvénients:

- Sensible au matériau de l'arbre
- Installations

- Gamme de fréquence limitée. Pas de détection de défaut de roulement
- Température limite. [6]

2.10.6.2. Problèmes et défauts détectés :

- Arbre
- Palier lisse
- Butée

Généraux : balourd, désalignement,

2.10.7. Accéléromètre:

Les accéléromètres piézoélectriques sont constitués d'un disque de matériau piézoélectrique (quartz) qui agit comme un ressort sur lequel est placée une masse sismique précontrainte.

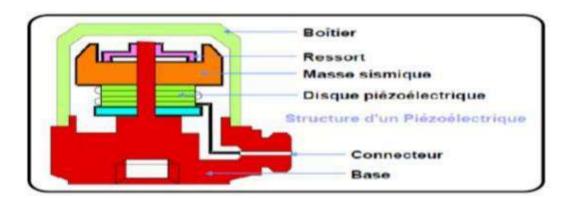


Figure II 16 : Schéma de principe d'un accéléromètre

Les accéléromètres piézoélectriques sont en train de devenir le capteur de vibration absolu le plus largement utilisé pour la surveillance. Ils ont les propriétés suivantes :

- O Peut être utilisé sur une très large gamme de fréquences.
- o Excellente linéarité sur une plage dynamique très large (typiquement 140 dB).
- Le signal d'accélération peut être intègre électroniquement pour donner le déplacement et la vitesse
- o Aucun élément mobile, donc extrêmement durable.[8]

a. Avantages et inconvénients :

a. Les avantage:

- o Facile à installer
- o petit et léger
- Résistance aux hautes températures
- Aucune pièce mobile

b. les inconvénients:

- o Le mouvement nécessite une double intégration
- Nécessite une source extérieure
- o Fournit des informations limitées sur la dynamique des axes
- Décalage horaire à basse vitesse

2.10.8. Problèmes et défauts détectés :

- o Roulements
- o Engrenage
- o Machine à pales
- o machine électrique
- o Général : balourd, désalignement, usure, etc.

2.10.9. Chaîne de mesure des vibrations :

Il existe deux types de surveillance des vibrations, en ligne, où les capteurs sont installés en permanence sur la machine, et hors ligne, où la mesure est effectuée manuellement avec des capteurs.

La chaîne de mesure des vibrations doit remplir les fonctions suivantes :

- Convertir les vibrations mécaniques en signaux électriques.
- Conditionnez le signal de sortie du capteur pour qu'il soit utilisable et transportable.
- Intégrer les signaux
- plage de fréquence limitée
- Amplifier à nouveau le signal obtenu
- Signaux numérisés.[8]

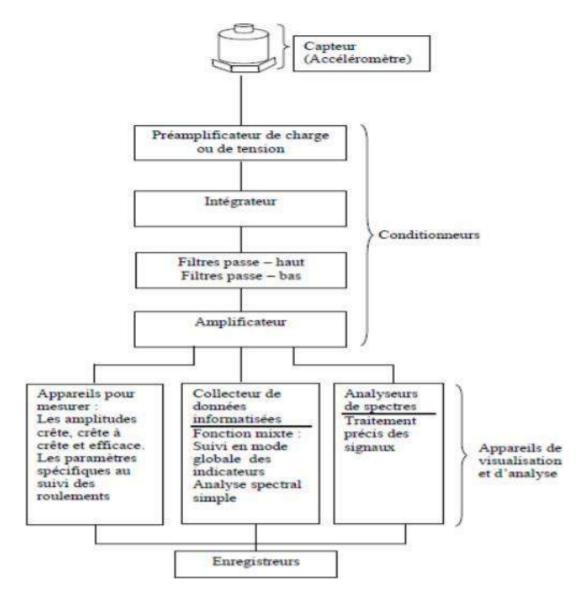


Figure II 17: Chaine de mesure.

2.11. Méthode d'analyse vibratoire :

Il existe une variété d'outils d'analyse des vibrations disponibles pour détecter et diagnostiquer l'apparition de défaillances de roulements. De nombreuses publications synthétisent ces différentes méthodes ou outils, qui se répartissent généralement en deux grandes catégories.

2.11.1. Méthode temporelle :

Les méthodes temporelles sont basées sur l'analyse statistique des signaux collectés, et elles sont adaptées aux machines simples, notamment en effectuant des mesures de vitesse

dans la gamme des basses fréquences et des mesures d'accélération dans la gamme des hautes fréquences. L'objectif est de minimiser les effets des vibrations causées par la rotation de l'arbre. La méthode utilise des métriques scalaires qui peuvent suivre l'évolution des quantités dérivées de la puissance du signal ou de l'amplitude de crête. Sa valeur n'a peut-être aucune signification intrinsèque, mais son évolution dans le temps est le problème important.

2.11.2. Méthode fréquentielle

La méthode fréquentielle est basée sur la transformée de Fourier. La connaissance des fréquences propres permet d'identifier et de localiser les défauts causés par les composants mécaniques en analysant leur spectre de fréquence. Ils sont souvent utilisés dans des machines complexes comportant de nombreuses pièces[15]

2.12. surveillance vibratoire

Turbines, pompes, moteurs, compresseurs, alternateurs, centrifugeuses, ventilateurs... toutes ces machines, dites tournantes, ont un point commun : elles comportent des pièces tournantes, et selon les cas, elles peuvent être relativement simples à la fabrication constituée d'un seul arbre tournant à travers un ou plusieurs roulements, ou de machines plus complexes constituées de plusieurs arbres tournant à des vitesses différentes... mais la caractéristique la plus importante de ces machines est qu'il s'agit de pièces composites fragiles (en particulier les roulements et les engrenages) contraintes mécaniques importantes et environnements industriels difficiles[6]

2.13. Conclusion

La maintenance est l'un des processus les plus importants dans la gestion d'une entreprise. A cet effet, l'organisation et la gestion d'une politique de maintenance stratégique assurent la prospérité et le développement de l'entreprise. L'utilisation de l'analyse des signaux vibratoires comme méthode de diagnostic remonte aux années 1960. Largement utilisé dans la plupart des installations industrielles, notamment dans la prévention des pannes mécaniques.

En phase de diagnostic, l'analyse vibratoire est l'une des meilleures méthodes, notamment pour l'étude des défauts mécaniques sur les machines tournantes

.

Chapitre 03

ANALYSE DE VIBRATION DE LA TURBINE A GAZ DANS LA CENTRAL ELECTRIQUE HMO

3.1. Introduction:

Toutes les machines tournantes génèrent des vibrations qui sont fonction de la dynamique de ces machines, comme l'alignement et l'équilibre des pièces tournantes. La mesure des amplitudes de vibration à des fréquences spécifiques peut révéler des informations précieuses sur l'alignement du rotor et la précision de l'équilibrage, le comportement des roulements et des engrenages et d'autres structures.

3.2. But de travail:

L'objectif de nos travaux est d'étudier le comportement vibratoire des machines tournantes et de diagnostiquer leur état mécanique. Dans notre pratique, nous avons une méthode d'acquisition "off ligne" non permanente des indicateurs d'état les plus importants à l'aide d'un collecteur ou d'un analyseur de données

3.3. **Origine des vibrations :**

Sans une bonne compréhension de la panne, il ne peut y avoir de bon diagnostic. C'est pourquoi une étape importante de la surveillance des opérations consiste à connaître les événements les plus fréquemment rencontrés sur les machines et à déterminer leur comportement, c'est-à-dire déterminer leur signature vibratoire. L'expérience acquise sur les problèmes vibratoires des machines tournantes a conduit à la classification des défauts rencontrés de différentes origines

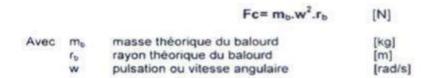
3.3.1. Défaut de balourd :

C'est la cause la plus courante et la plus courante de vibration. Ce phénomène se produit à des vitesses de rotation et peut être provoqué par une mauvaise répartition spatiale des masses dans la structure, entraînant une déviation du centre de gravité par rapport à l'axe géométrique du rotor de la machine électrique tournante. [9] En pratique, il est impossible de

centrer parfaitement tous les éléments du rotor. Il y a toujours un déséquilibre pour les raisons suivantes :

- Défauts d'usinage
- Défaut de montage : Aubes de turbine désalignées, pôles de rotor d'alternateur asymétriques.
- Dommages mécaniques : les pointes d'ailerons sont manquantes. érosion. sale.

Ce déséquilibre appelé " balourd " va générer.au repos, une rotation du rotor due à la force de gravitation et à vitesse nominale, une vibration radiale due à la force centrifuge :



La vibration radiale exprimée en mm/s ou um est sinusoïdale de fréquence égale à la fréquence de rotation f0=N/60.

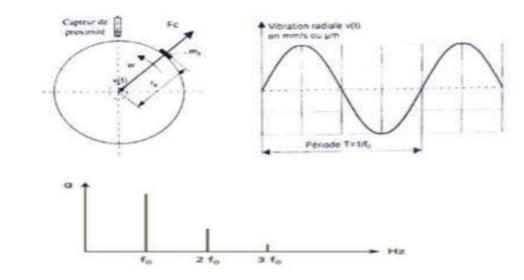


Figure III 18 : image vibratoire d'un défaut de balourd

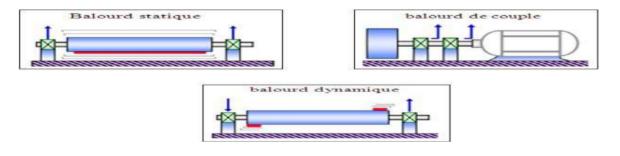


Figure III 19 : Type de défaut de balourd

3.3.2. Défaut d'alignement

Le désalignement est l'une des principales raisons de la réduction de la durée de vie des machines tournantes. Cela génère beaucoup de forces qui vont : Provoque une détérioration rapide du système d'accouplement, dans le cas des roulements à billes ou à rouleaux, et dans le cas des paliers lisses, peut conduire à un film d'huile instable et mettre la machine en danger. Il crée des équipements. Il s'agit de deux arbres reliés par un accouplement, ou de deux paliers supportant le même arbre.

Désalignement de l'accouplement : Les arbres des deux rotors peuvent présenter un désalignement angulaire ou un désalignement radial (défauts de concentricité) ou une combinaison des deux au niveau de l'accouplement.[16]

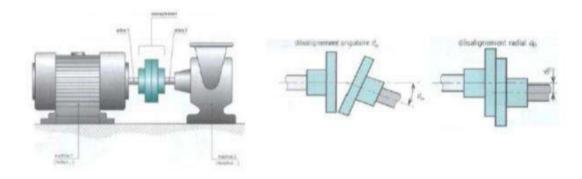


Figure III 20 : Défauts d'alignement d'arbres.

3.3.3. **Défauts de serrage :**

Une structure de machine mal serrée générera des vibrations et du bruit. Un spectre typique mesuré sur une machine avec jeu contient un grand nombre de pics de fréquence qui sont des multiples de la fréquence de rotation. Des défaillances telles qu'un déséquilibre peuvent entraîner la séparation du cadre de la structure. Cela produit un signal temporel écrêté. Le spectre montre des harmoniques de la fréquence de rotation, comme d'autres défauts, mais montre également des sous-harmoniques à 1/2, 1/3 de la fréquence de rotation.

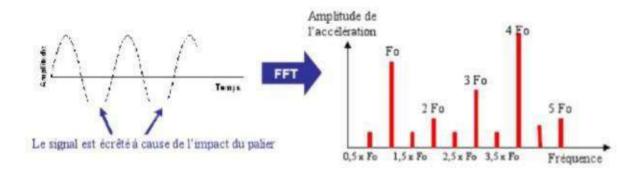


Figure III 21 : Défaut de serrage

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



Figure III 22 : Images vibratoires d'un phénomène de jeu

3.3.4. Défauts des engrenages :

Les engrenages consistent en un ensemble de deux engrenages qui s'engrènent l'un avec l'autre, permettant à la puissance d'être transmise dans un rapport constant entre deux arbres qui se rapprochent. Selon la position relative des deux arbres, il existe trois types d'engrenages. [Figure]

- ☐ Engrenages parallèles (deux axes parallèles).
- ☐ Engrenages parallèles (deux extensions d'arbre se rencontrent).
- ☐ Engrenage gauche (2 axes occupent n'importe quelle position relative)



Figure III 23 : Différents types d'engrenage

3.3.5. Les défauts de roulement :

Les roulements sont l'une des pièces les plus sollicitées d'une machine et sont une source courante de défaillance. Les défauts pouvant être rencontrés sont les suivants : pelage, grippage, corrosion (provoquant un écaillage), etc. Pour chaque type de roulement et selon ses dimensions de fabrication [Figure], les fréquences propres données dans les équations suivantes peuvent être considérées

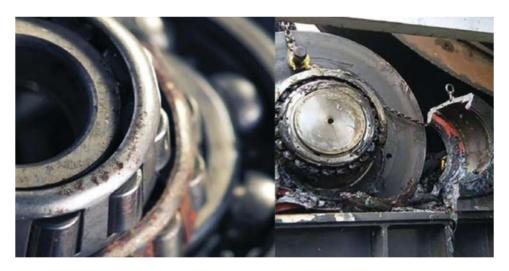


Figure III 24 : Défauts de roulement

Pour obtenir une image vibratoire complète (en trois dimensions), des mesures doivent être effectuées selon trois directions verticales sur chaque palier de la machine surveillée : deux radiales (horizontale et verticale) et une axiale.[11]

3.4. Recherche des images vibratoires :

3.4.1. Points de mesure :

Il est également important d'avoir un accéléromètre sur la machine. Chaque activité de mesure doit être effectuée au point exact et toujours au même point. En effet, les phénomènes mécaniques peuvent donner des images vibratoires sensiblement différentes selon le point de mesure.

Nous essaierons toujours de placer le point de mesure le plus près possible du roulement. Cela permet d'obtenir l'image la plus fidèle des défauts mécaniques (bande passante maximale de la chaîne d'acquisition, amortissement minimal).

Pour obtenir une image vibratoire complète (en trois dimensions), des mesures doivent être effectuées selon trois directions verticales sur chaque palier de la machine surveillée : deux radiales (horizontale et verticale) et une axiale.[15]

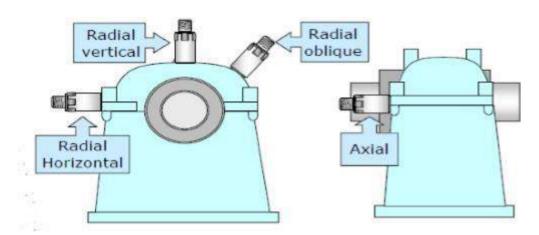


Figure III 25 : Points de mesure sur un palier.

3.4.2. Consigne pour la fixation des capteurs :

- Le capteur doit être relié le plus directement possible au roulement en limitant au maximum le nombre de pièces pour assurer l'interface entre l'équipage mobile et le capteur (Figire).
- L'emplacement du point de mesure doit être propre (aucune trace de graisse ou de peinture) et la surface de contact avec le capteur est lisse, plane et perpendiculaire à la direction de mesure

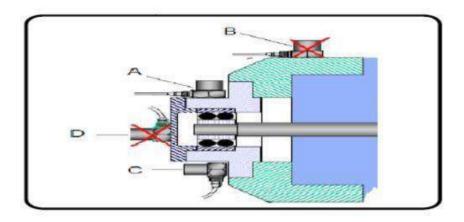


Figure III 26 : Choix de l'emplacement de capteur

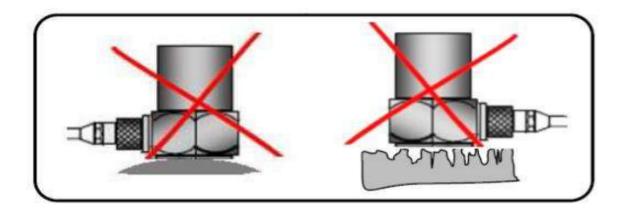


Figure III 27 : Les surfaces de contact avec les capteurs Doivent être lisses et planes

3.5. Moteur électrique :

Un moteur électrique est une machine électromécanique capable de transformer l'énergie électrique en énergie mécanique.

Les moteurs électriques sont tous réversibles : ils sont capables de produire du courant électrique si on les fait tourner par un moyen mécanique. Un moteur électrique à courant alternatif peut devenir un alternateur, et un moteur électrique à courant continu peut aussi bien être utilisé comme une dynamo (machine dynamoélectrique). C'est pourquoi les spécialistes préfèrent parler de machines électriques.



Figure III 28: Moteur

3.6. Généralités sur Turbine { Gaz :

Sous tous les angles, une turbine à gaz est un moteur à combustion interne. Il peut être considéré comme un système autonome. En effet, il absorbe et comprime l'air atmosphérique dans son propre compresseur, augmentant l'énergie de l'air dans sa chambre de combustion et convertissant cette énergie en énergie mécanique utile lors du processus de détente qui se produit dans la section turbine. L'énergie mécanique générée est transmise par l'accouplement à la machine réceptrice, qui génère la puissance utile au processus industriel. Son rôle est : la production d'électricité, la cogénération de chaleur, le pompage et la compression.[14]

3.6.1. Présentation de la turbine { gaz MS9001E :

L'alternateur à turbine MS9001E est la machine la plus importante dans le processus de génération et de production d'électricité, combinant chaleur, pompage et compression. La turbine à gaz MS9001E comprend :

- un arbre
- Cycle simple conçu pour un fonctionnement continu et utilisé pour piloter un alternateur
- La combustion du mélange air-carburant est utilisée pour générer la puissance nécessaire à l'entraînement de l'arbre du compresseur, de certains équipements auxiliaires, principalement l'alternateur

- Système de contrôle MARQUE
- Moteur de lancement avec coupleur hydraulique relié au système de marche arrière (embrayage) du réducteur auxiliaire.
- Compresseur axial à 17 étages, flux axial, avec aubes directrices à admission variable. Il s'agit donc d'une turbine à gaz à arbre unique tournant à une vitesse nominale de 3000 tr/min

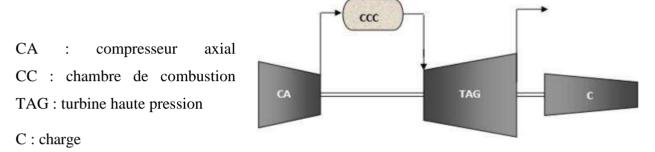


Figure III 29 : Schéma technique du comportement d'un TG

3.7. Les sections principales d'une turbine { gaz :

3.7.1. **Section compresseur:**

La section du compresseur axial comprend le rotor et le corps du compresseur contenant dix-sept (17) étages de compression, des aubes directrices variables et deux déflecteurs de sortie. Dans un compresseur, l'air est comprimé par une série d'aubes de rotor qui fournissent la force nécessaire pour comprimer l'air à chaque étage de compression, et les aubes de stator guident l'air, le forçant dans le compresseur, les étages suivants du rotor.



Figure III 30 : Compresser de turbine à gaz

Dans la section compresseur, la section stator (corps du compresseur) se compose de quatre éléments principaux :

- Corps côté aspiration du compresseur.
- Corps avant du compresseur.
- Corps arrière du compresseur.
- Corps de compresseur côté refoulement

3.7.2. **Section Combustion:**

Le système de combustion est de type "contre-courant" et se compose de 14 chambres de combustion avec les composants suivants :

Tubes de flamme, manchons d'écoulement, pièces de transition et tubes d'interconnexion, bougies d'allumage, détecteurs de flamme et injecteurs de carburant. Dans un système à contre-courant, l'air sortant du compresseur contourne la pièce de transition puis pénètre dans l'espace annulaire entourant chacun des 14 tubes à flamme.

L'air comprimé entourant le tube à flamme passe radialement à travers ce dernier déflecteur à travers une série d'ouvertures et entre en contact avec l'anneau soudé sur le déflecteur dans le tube à flamme. Ces anneaux ou bagues servent à diriger l'air le long de la paroi interne du tube à flamme, formant ainsi un film qui protège la paroi interne du tube des gaz de combustion chauds. Le carburant est introduit dans chaque chambre de combustion par des injecteurs.[14]



Figure III 31 : Disposition du Système De Combustion

3.7.3. **Section Turbine:**

C'est au niveau des trois étages de la turbine que l'énergie est convertie en énergie mécanique sous forme de gaz sous pression produits par le compresseur et le système de combustion. Chaque étage de turbine est constitué d'un guide et d'une roue à aubes. La partie turbine comprend le rotor, le carter, les rails de guidage, la section de protection, le cadre d'échappement et le diffuseur d'échappement. Le roulement numéro 3 est situé au centre du cadre d'échappement.[15]

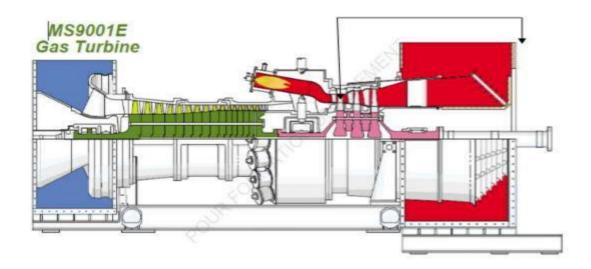


Figure III 32: Section Turbine.

3.8. Compartiment auxiliaire turbine { gaz MS9001E :

Le compartiment auxiliaire de la turbine comprend :

- Lancer le moteur.
- Convertisseur de couple associé au variateur.
- Embrayage.
- Système rotatif entraîné par moteur à courant continu.
- Un réducteur auxiliaire.

3.8.1. Démarrer le moteur :

Le système de lancement assure :

- Décollez et lancez de la ligne des arbres à la vitesse de vol stationnaire.
- Commencer le nettoyage de l'axe du compresseur.



Figure III 33 : Moteur de lancement

3.8.2. Système de virage :

Le système de direction est utilisé pour faire tourner l'axe après l'arrêt afin d'éviter qu'il ne s'affaisse.

Afin de s'assurer que le système d'arbre est uniformément refroidi après l'arrêt, il tourne de 1/8 de tour toutes les trois minutes. L'embrayage reste fermé pendant toute la période de refroidissement.[15]

3.9. Principe de fonctionnement :

Avec le système de démarrage (Start), le rotor de la turbine démarre à 20% de sa vitesse nominale. Les compresseurs axiaux aspirent l'air de l'atmosphère et le repoussent dans la chambre de combustion, où une alimentation en carburant créera une pression constante de fluide moteur (gaz chauds). Ainsi, les gaz chauds résultants se détendent sur la roue haute pression, puis dans la roue basse pression, avant de s'échapper dans l'atmosphère. Nous générons donc un travail utile à partir du même rotor pour entraîner la charge.[16]

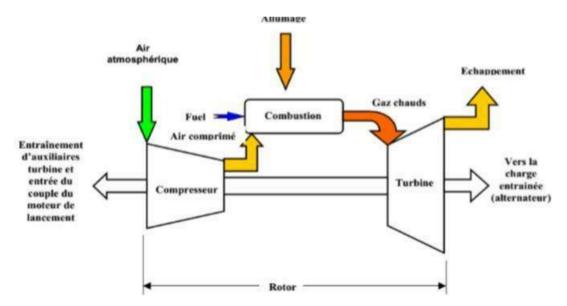


Figure III 34 : schéma technique de passage de gaz dans la turbine

3.10. Matériel utilisé:

- Le service DIAGNOSTIC MACHINES de la centrale -électrique de HMO (Hassi Messaoud Ouest) utilise un Appareils de mesure de vibrations de marque VIBXPERT.
- 02 capteurs de vitesse disposés sur les paliers en direction radiale.

• 01 Cellule photo-électrique pour la mesure de la phase et de la vitesse de rotation disposée en direction horizontale.

3.10.1. **VIBXPERT EX:**

Les analyseurs de signaux VIBXPERT EX sont équipés d'une protection contre les explosions pour l'acquisition de données, l'analyse des vibrations et l'équilibrage opérationnel. Cet analyseur de signaux mesure de routine convient également à la surveillance et au dépannage de machines et d'installations dans plusieurs domaines d'activité : pétrochimie, raffineries, plates-formes de forage, etc. L'appareil capture facilement les vibrations de la machine, les valeurs propres de l'état des roulements, les inspections et les données de processus. Avec de puissantes fonctions d'analyse : courbe de sortie élevée, analyse ODS, etc. Cet analyseur de signaux est également idéal pour l'analyse détaillée des turbines, compresseurs ou turbomachines.



Figure III 35 : Appareils de mesure de vibrations de VIBXPERT

Caractéristique de l'appareil :

- Utilisation intuitive via joystick (gaucher ou droitier)
- Utilisez les graphiques de tendance pour saisir rapidement des données
- Boîtier en aluminium robuste

ANALYSE DE VIBRATOIRE SUR DE LA TURBINE A GAZ DANS LA CENTRAL ELECTRIQUE HMO

CHAPITRE 3

• Compatible avec les enregistreurs VIBCODE

• Résolution maximale pour une analyse détaillée des fréquences

• Interface avec les systèmes de protection des machines pour une analyse[6]

3.11. Suivi de mesure de vibrations turbine { gaz MS9001E:

Service de diagnostic de la machine pendant le test de fonctionnement en charge suivi

de la mesure des vibrations de la turbine à gaz MS9001E après que GE a effectué l'opération

d'étalonnage de l'alternateur/de la turbine

3.11.1. Méthodes utilisées pour le dépistage et le diagnostic :

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

a-Méthode au niveau global:

C'est notre méthode de dépistage de choix. La vitesse effective de vibration est

mesurée avec un vibromètre et comparée au seuil donné par la norme ISO10816. Une fois les

vibrations nocives identifiées, on passe au deuxième niveau (spectre) qui va permettre de

localiser et de caractériser les vibrations.

b- La méthode du spectrale :

C'est notre méthode de diagnostic de choix.

3.11.2. Caractéristiques turbine { gaz MS9001E :

Tableau III 1: les propretés de turbine à gaz 9001 E

p. 43

Marque	GENERALE ELECTRIQUE
- Fabricant	NUOVO PIGNONE
- Série du model	MS 9001E
- Cycle	Simple
- Rotation de l'arbre	sens inverse des aiguilles d'une montre
- Type de fonctionnement	Continu
- Vitesse de l'arbre	3000 tr/min
- Commande	MARK V
- Température à l'échappement	560°C
- Débit carburant	5.77 kg/s
- Système de démarrage	Moteur électrique
Rendement thermique	≈ 33%
- Atténuation du bruit	silencieux d'admission et d'échappement selon les exigences locales
Section	du compresseur :
- Nb des étages du compresseur axial	17
- Type du compresseur	flux axial industriel, variable;
- Plan de joint	.bride horizontale ;
- Type d'aubes directrices d'entrée	variable
Pression à l'admission	1 bar
Pression de refoulement	7 bars
Section	on de la turbine :
Nombre des étages de la turbine	03
- Plan de joint	bride horizontale;
Directrice du premier étage	fixe
Directrice du deuxième étage	fixe
Directrice du troisème étage	fixe
Section	n de combustion :
- Туре	14 multiples foyers, types à flux inverses
- Configuration des chambres	concentrique autour du compresseur
- Combustible	Gaz naturel
- Bougies d'allumage	02 , types à électrodes à ressort, auto rétractant;
- Détecteur de flamme	04 , type ultraviolet ;
Ens	emble paliers :
- Quantité	04
- Lubrification	sous pression ;

3.12. Les points de mesure :

Localisation des points de mesure Pour chaque niveau :

- Les mesures de vibration sont faites au niveau (?) des paliers de la machine
- L'emplacement du capteur doit assurer un chemin direct pour les vibrations (structure du rotor).
- Les accéléromètres sont placés dans trois orientations (axiale, verticale et horizontale)

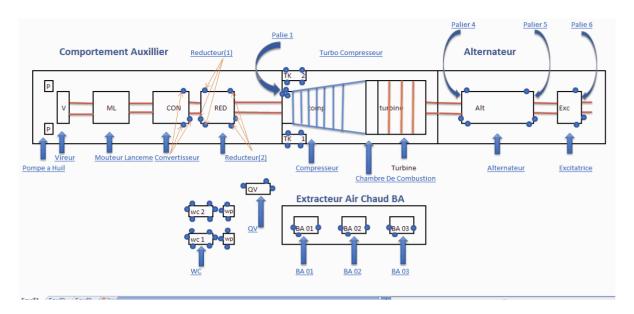


Figure III 36 : Plan des points de mesure de Vibration



Figure III 37 : Plié 4 (Alternator I)



Figure III 38 : Palie 1

3.13. Résultats du contrôle vibratoire:

❖ Avant l'alignement de l'alternateur : Vibrations collectées par VibXpert (PRUFTECHNIK)[16]

Tableau III 2 : Résultats du contrôle vibratoire Avant l'alignement

Palier et direction de mesure	Démarrage à vide A 2700tr/min 2éme phase critique
Palier 4 Avant Alternateur AXIALE	20.58
Palier 4 Avant Alternateur H	5.76
Palier 4 Avant Alternateur V	6.31
Palier 5 Arrière Alternateur AXIALE	3.55
Palier 5 Arrière Alternateur H	2.53
Palier 5 Arrière Alternateur V	1.41
Palier 6 Excitatrice AXIALE	3.64
Palier 6 Excitatrice H	5.26
Palier 6 Excitatrice V	1.97

Tableau III 3: Vibrations prélevées sur MARK V

Palier	Seuils limites (mm/s)	(mm/s) 80 MW 11 MVAR à 10h00
Palier 1 turb BB1		1.6
Palier 1 turb BB2	Alarme 16.8	1.8
Palier 3 turb BB4	Alarine 10.8	4
Palier 3 turb BB5		3.9
Palier 4 avant Alternateur L39VG1A		6.4
Palier 4 avant Alternateur L39VG1B		11.3
Palier 5 arrière Alternateur L39VG2A	Alarme 12.7	3.8
Palier 5 arrière Alternateur L39VG2B	Alamic 12.7	1.1
Palier 6 excitatrices L39VG3A		3.6
Palier 6 excitatrices L39VG3B		7

NB: Le groupe était limité en charge à cause du niveau vibratoire du palier 4 (palier avant alternateur)

❖ Après l'alignement de l'alternateur : Vibrations collectées par VIBX pert (PRUFTECHNIK)

Tableau III 4 : Résultats du contrôle vibratoire Après l'alignement

Palier et direction de mesure	(mm/s eff) 100 MW 17,9 MVAR à 08h30	(mm/s eff) 129 MW 17 MVAR à 11h30
Palier 4 Avant Alternateur AXIALE	7.85	8,41
Palier 4 Avant Alternateur H	3.48	2,84
Palier 4 Avant Alternateur V	3.44	3,13
Palier 5 Arrière Alternateur AXIALE	2.24	3,15

Palier 5 Arrière Alternateur H	2.92	3,17
Palier 5 Arrière Alternateur V	1.44	2,2
Palier 6 Excitatrice AXIALE	4.66	5,68
Palier 6 Excitatrice H	5.80	6,5
Palier 6 Excitatrice V	0.89	1,36

Tableau III 5: Vibrations prélevées sur MARK V

Palier	Seuils limites (mm/s)	(mm/s) 100 MW 17,9 MVAR à 08h00	(mm/s) 129 MW 17 MVAR à 12h00
Palier 1 turb BB1		1	1,1
Palier 1 turb BB2	Alarme 16.8	1.1	1,2
Palier 3 turb BB4	Décl : 25.4	4.7	5.4
Palier 3 turb BB5		4.6	4.7
Palier 4 avant Alternateur L39VG1A		2	2,4
Palier 4 avant Alternateur L39VG1B		6.2	6,1
Palier 5 arrière Alternateur L39VG2A	Alarme 12.7	2.9	2,9
Palier 5 arrière Alternateur L39VG2B	Décl : 22.3	2.6	2,7
Palier 6 excitatrices L39VG3A		4	3,6
Palier 6 excitatrices L39VG3B		6.9	6,7

Interprétation des résultats :

Compte tenu des résultats enregistrés, et conformément aux directives de la norme internationale ISO 10816-2, le comportement vibratoire de la turbine à gaz MS9001E après l'opération de centrage est considéré comme acceptable pour une utilisation à long terme sans aucune restriction et à une charge de 129 MW 17 de puissance réactive.

Après l'opération de centrage, le niveau vibratoire du roulement avant de l'alternateur (roulement 4) s'est amélioré dans les trois directions.

3.13.1. Cas d'un défaut de palier 4 d'alternateur :

Suite à l'évolution des niveaux vibratoires sur l'alternateur du groupe à 17 :00, atteint des seuils d'ordre 18mm/s enregistrées au niveau du palier N°4 (Palier avant alternateur).

Le service diagnostique à fait une mesure de vibration sur le palier N°4 utilisons l'appareille de service (VIBERXPER) pour confirmer les valeurs déclaré, âpre la confirmation des valeurs,

3.13.2. Représentation spectrale (fréquentielle):

Le graphe représente l'état vibratoire de la turbine à gaz au niveau de palier N°3 en direction (Axial, vertical et horizontale)

❖ Avant équilibrage

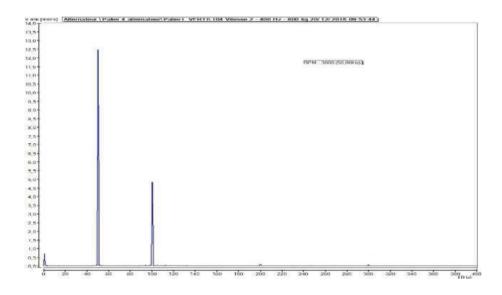


Figure III 39 : Palier 4 vertical avant équilibrage

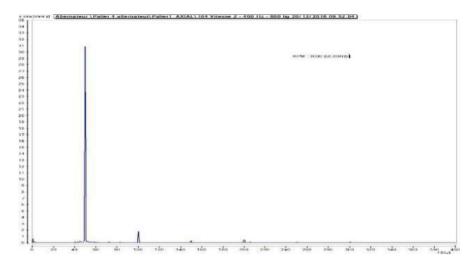


Figure III 40 : Palier 4 axial avant équilibrage

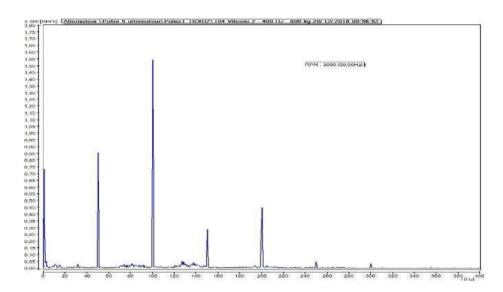


Figure III 41 : Palier 4 horizontal avant équilibrage

L'analyse spectrale montre une fréquence dominante de fréquence de rotation 1F (50 Hz) dans la direction verticale de l'alternateur portant le numéro 4, et montre que la dominance de la fréquence de rotation 1F (50 Hz) est assez élevée, environ 17,98 mm/s rms.

Là, nous avons dû décider d'une intervention d'équilibrage pour le groupe alternateur turbine $N^{\circ}3.[17]$

❖ Après équilibrage

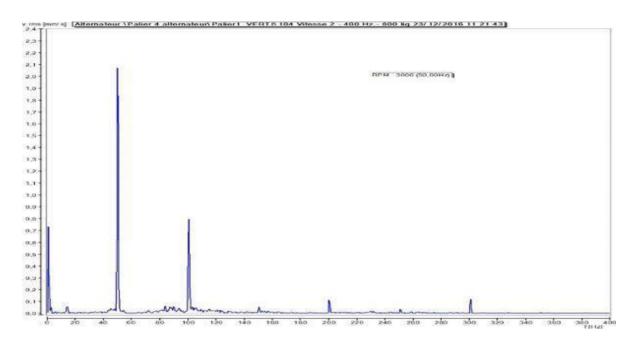


Figure 42 : Palier 4 vertical après équilibrage

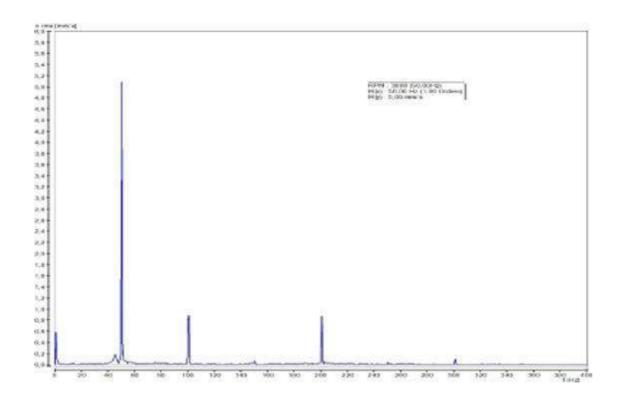


Figure III 43 : axial après équilibrage

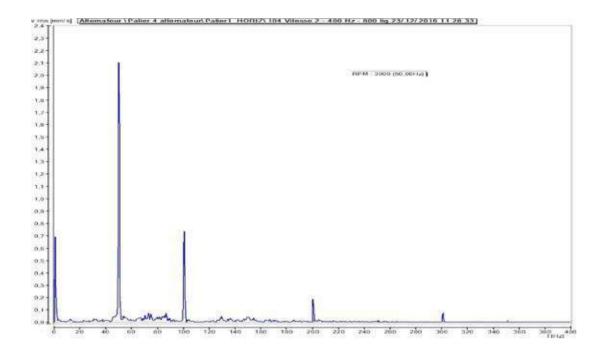


Figure III 44 : Palier 4 horizontal après équilibrage

3.14. Interventions recommandées :

Pour les raisons ci-dessus, les interventions suivantes ont été utilisées :

Équilibrage des roulements N3 : La méthode la plus courante d'équilibrage d'un roulement consiste à ajouter une bague d'équilibrage à l'arbre ou au cylindre d'accouplement. L'anneau contient des trous percés pour plus de poids.[15]



Figure III 45 : Palier 4 horizontal après équilibrage

3.14.1. Protocole d'équilibrage:

Emplacement d'une masse d'essai (tarage) de 105 g à la position 270° et démarrage du groupe



Figure III 46 : Plan d'équilibrage palier N°4 Alternateur

3.14.2. Résultats de mesure :

Les mesures de vibrations effectuées sur le palier n°4 de l'alternateur à l'aide d'un instrument portable SPE/HMO sont les suivantes : 3,4 mm/s eff en position verticale de 230° lorsque le groupe électrogène est déchargé Puissance 80Mw Remesurée : 5,4 mm/s eff à 244°

Date et	opération	Amplitude		
heure		mm/s eff	Phase	Remarque
	Mesure considéré			Mesure fait en direction verticale
22/12/2016	comme lancée initiale	17.98	13°	sur palier 04
à 17:00				
	Installation masse			Masse de 105g installée en position
23/12/2016	d'essai	3.4	230°	270°
à 11:00				
23/12/2016	Mesure de vibration à	5.4	244°	
à 11 :30	une charge de 80mw			

En effet, l'installation du balourd correcteur à 270° permet d'améliorer significativement le comportement vibratoire de la machine dans les trois directions sous charge maximale et d'assurer une meilleure stabilité dans son fonctionnement.[15]

3.15. Conclusion:

L'analyse vibratoire est une méthode utilisée pour surveiller l'état des machines tournantes en fonctionnement.

Si une augmentation des vibrations de la machine peut aider à détecter un défaut, l'analyse des caractéristiques de vibration de la machine peut aider à en déterminer la cause. Nous pouvons alors déduire avec précision la latence avant qu'elle ne devienne critique.

CONCLUSIONS GENERALES

L'objectif de notre travail est d'appliquer l'analyse vibratoire dans le diagnostic de ces défauts afin d'améliorer la maintenance préventive des équipements et de connaître l'évolution de ces défauts pour permettre de planifier les opérations de remplacement des composants défectueux

La procédure consiste à détecter l'apparition du dysfonctionnement sans démonter l'appareil en prélevant le signal de vibration avec des capteurs de vibration. Les informations extraites du contenu de la vibration sont très essentielles pour déterminer les défauts des machines tournantes

Références Bibliographiques

- [1] Document de SPE (HMN3/HMO
- [2] mémoire licence final nedjar et midouni Etude de risques dans les centrales électrique mobile
- [3] Omar DJEBILI ; « Contribution à la maintenance prédictive par analyse vibratoire Des composants mécaniques tournants. Application aux butées à billes soumises à la fatigue De contact de roulement ». Thèse de doctorat, Université De Reims Champagne Ardenne
- [4] Ilyes KHELF, « DIAGNOSTIC DES MACHINES TOURNANTES PAR LES TECHNIQUES DE L'INTELLIGENCE ARTIFICIELLE ». Thèse de Doctorat Spécialité Génie M´mécanique,UNIVERSITE BADJ MOKHTAR ANNABA
- [5] CHERIFI, F.& SMAILI, Y, « Application de l'analyse vibratoire à la maintenance préventive Conditionnelle », Mémoire de Master spécialité Électrotechnique, Université A. MIRA de Bejaia
- [6] Landolsi Foued, « Cours De Techniques de Surveillance, Partie I Surveillance Des Machines Par Analyse Vibratoire ».
- [7] KADDOURI, I & SERAH, Y, « Détection des défauts d'une machine tournantes par l'analyse FFT », Mémoire de Master spécialité MAINTENACE INDUSTRIELLE, UNIVERSITE MOHAMED BOUDIAF M'SILA
- [8] CLAUDE PICHOT « Surveillance des machines par analyse des vibrations » version Dunod
- [9] Nejmiddin Boughattas, «Analyse vibratoire», Techni cal Report
- [10] HACHEMI Mohammed, « Application de l'ODS à l'analyse des problèmes de vibration des Machines tournantes », Mémoire de Master spécialité Maintenance Industrielle, UNIVERSITE
- [13] BISKRI, Z & FEDALI, Z & HANIECHE, A, « Analyse comparative relative au choix entre « Analyse comparative relative au choix entre Turbine à gaz et une turbine à vapeur utilisées dans les installations « GNL » », Mémoire de Master spécialité mécanique des chantiers pétroliers, UNIVERSITE KASDI MERBAH OUARGLA,
 - [14] DRIS HICHEM, « Etude des Performances de la Turbine à Gaz MS6001-b à 40 MW Port II Master spécialité mécanique des chantiers pétroliers, UNIVERSITE KASDI MERBAH
 - [15] AKBI BRAHIM & HAMZAOUI Med ESSAID, « Analyse vibratoire des défauts courants défauts courants Dans le parc machine de la centrale thermique RAS-DJINET », Mémoire de Master spécialité MECATRONIQUE, Université M'Hamed Bougara Boumerdes

[16] Kious Mohammed Moncef Bousbia salah Ammar mémoire master (Maintenance conditionelle par analyse vebratoire vibratoire dans central electrique à turbine à gaz} Universite e kasdi Merbah OUARGLA

Le Guide de mesure vibratoire des machines tournantes :

Les normes les plus utilisées dans le cadre de la maintenance vibratoire des machines tournantes sont les suivantes :

- Iso 10816
- Iso 2372 AFNOR E90-300

Ces normes ont pour objectif d'établir des directives générales pour le mesurage et l'évaluation des vibrations mécaniques prises sur les parties non tournantes des machines (si rotor rigide) et ainsi caractériser leurs conditions de marche en ce qui concerne un fonctionnement sans incident et leur influence sur les machines adjacentes

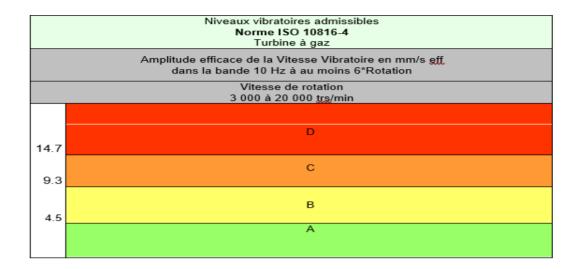
Ces normes peuvent être utilisées pour des opérations de contrôle de routine, des essais de réception et pour indiquer les lignes directrices d'un diagnostic plus précis

NORME ISO 10816-2

	Niveaux vibratoires admissibles Norme ISO 10816-2 Turbo alternateurs – Puissance supérieure à 50 MW Amplitude efficace de la Vitesse Vibratoire en mm/s eff dans la bande 10 Hz à au moins 500 Hz				
	Vitesse de rotation 1500 – 1800 trs/min Vitesse de rotation 3000 – 3600 trs/min				
8.5	D	11.8	D C		
5.3	C B	7.5 3.8	В		
2.8	A	3.0	А		

Turbo alternateurs – Puissance supérieure à $50~\mathrm{MW}$ Vitesse normale de fonctionnement de $1500-1800-3000-3600~\mathrm{trs/mn}$.

NORME ISO 10816-4



Ensemble de Turbines à gaz, à l'exception de turbines dérivées de celles utilisées en aéronautique

Zone A : Les vibrations des machines récemment mises en service doivent normalement se situer dans cette zone.

Zone B : Les machines dont les vibrations se situent dans cette zone sont normalement considérées comme acceptables pour un service de longue durée sans la moindre restriction.

Zone C : Les machines dont les vibrations se situent dans cette zone sont normalement considérées comme non satisfaisantes pour un service de longue durée en continu. En général, la machine peut fonctionner dans ces conditions pendant une durée limitée, jusqu'à ce que l'occasion se présente pour prendre les mesures correctives qui s'imposent.

Zone D : Les valeurs de vibrations constatées dans cette zone sont normalement considérées comme suffisamment importantes pour provoquer des détériorations de la machine.

Remarque:

- Ces valeurs se rapportent à des conditions de fonctionnement en régime permanant et à vitesse nominale.
- Points de mesure : directions radiales sur tous les paliers ainsi que la direction axiale pour les paliers de butée.

Rapport d'équilibrage groupe N°03 centrale HMO

I/- BUT DE LA MISSION :

Suite l'évolution des niveaux vibratoires sur l'alternateur du groupe N°03 de la centrale HMO atteint des seuils de déclenchement à la 2eme phase critique d'ordre 25.4 (0-pk) enregistrées au niveau du **palier N°4** (Palier avant alternateur), et suite à la demande de la centrale HMO, une équipe de service contrôle vibratoire du Pôle Est ces déplacer à la centrale de HMO pour mesure et diagnostique et intervention d'équilibrage sur le groupe turboalternateur N°3.

II /- MATERIEL UTILISE

- 01 Analyseur de vibrations de marque OROS du Pôle Est.
- 08 capteurs accéléromètre disposés sur les paliers N°4, N°5 et N°6 de l'alternateur en direction radiale et axial.
- 01 Cellule photo-électrique pour la mesure de la phase et de la vitesse de rotation disposée en direction horizontale.

Fiche Signalétique:

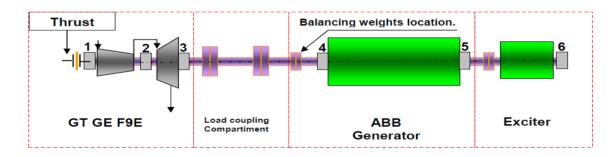
- Constructeur : GE

Type : Frame MS9001EPuissance installée : 123MW

- Date de mise en service : 28/02/1999

_

Schéma synoptique des groupes de HMO



III/- DEROULEMENT DES ESSAIS

La primaire journée

- Contrôles et mesures des vibrations sur les paliers N°4 de L'alternateur sur la direction Verticale à 3000tr/min.
- ✓ <u>Constat</u>: Après diagnostic et analyse des résultats, nous pouvons remarquer ce qui suit

- 1- L'analyse spectrale a révélé l'existence d'une fréquence Prédominante à la fréquence de rotation 1F (50 Hz) dans la direction verticale sur le palier N°4 de l'alternateur, et Amplitude attient un seuil de déclenchement à la 2eme phase critique
- 2- Il est à signaler une prédominance de la fréquence de rotation 1F (50 Hz) assez importante en direction verticale atteignant l'ordre de **08.9 mm/s eff**) à 3000tr/min

En effet, s'agissant d'un balourd d'origine mécanique, il a été décidé de procéder à une opération d'équilibrage sur le Palier N°4 de l'alternateur en direction verticale pour réduire ces niveaux de vibrations.

La désaime journée

Protocole d'équilibrage : Emplacement d'une masse d'essai (tarage) de 135g à la position 210° et démarrage du groupe.

IV- REPERAGE DES MASSES D'EQUILIBRAGE:

- Le plan N° 4 de l'alternateur consistait en une bride d'accouplement composée de **trous d'équilibrage** au nombre de **12 trous** sur sa circonférence à raison de **30**° entre 2 trous.

VI/- PROTOCOLE D'EQUILIBRAGE

La vitesse d'équilibrage est de 3000 tr/mn

1- Lancer initial:

Groupe à 3000 tr/min des vibrations atteintes 09.8 mm/s en direction verticale au niveau du **palier N°4**

2- Lancer de tarage

Emplacement d'une masse d'essai sur le plan $N^{\circ}4$ de Me = 135 gr à la position 210° à 3000 tr/min

Paliers	Verticale	Horizontale	Axiale
P4	6.75 mm/s eff	8.15 mm/s eff	32.98 mm/s eff

3-Lancer de tarage

Emplacement d'une masse de correction sur le plan $N^{\circ}4$ de Me = 243 gr à la position 270° à 300tr/min

Paliers	Verticale	Horizontale	Axiale
P4	3.73 mm/s eff	2.36 mm/s eff	17.73 mm/s eff

3- Démarrage à 100MW

Paliers	Verticale	Horizontale	Axiale
P4	1.47 mm/s eff	3.99 mm/s eff	4.70 mm/s eff

Constat:

En effet, l'implantation d'un balourd correcteur, dans la position 270° a permit d'améliorer considérablement le comportement vibratoire de la machine dans les trois directions au maximum de charge et a permit d'assurer une meilleur stabilité de son fonctionnement.

VII-CONCLUSION

Compte tenu des résultats obtenus et analyses effectuées avec l'analyseur de vibration OROS lors des essais à vide et en charge, et conformément à la norme internationale ISO 10 816-2, le comportement vibratoire du GTA N°03 de la centrale de Hassi Messaoud Ouest après l'opération d'équilibrage est considéré comme Bon et que le groupe peut être exploité à pleine charge.