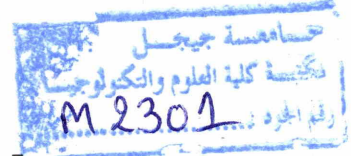


République Algérienne Démocratique et Populaire  
الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية  
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique  
وزارة التعليم العالي و البحث العلمي



UNIVERSITE DE JIJEL  
Faculté des Sciences et de Technologie  
Département de Génie Mécanique



# Projet de Fin d'Études

*Pour l'Obtention du Diplôme  
De Master 2 en Génie Mécanique  
Option : Mécanique des Matériaux et de Structures*



## Thème

**Diagnostic des défaillances d'une turbine à vapeur lors  
de démarrage à base de l'analyse vibratoire**

**Les membres du jury :**

*Mm Bouchelaghem.H Président  
Mr Boukherouba.W Examineur  
Mr Belhadef Rachid Encadreur*

**Présenté par :**

*Belhadef Mouloud  
Benchaabane Oussama*

**Promo 2015**

**Université de Jijel**

## RESUME :

Toutes les machines en fonctionnement produisent des vibrations qui permettent en effet de caractériser la plupart des efforts dynamiques et en particulier ceux engendrés par un fonctionnement anormal. Ainsi l'analyse des vibrations est devenue une technique très répandue pour apprécier l'état de santé d'une machine afin d'éviter la défaillance et n'intervenir qu'à bon escient et pendant des arrêts programmés de production.

Ce mémoire est consacré à la maintenance conditionnelle par analyse vibratoire. L'augmentation des vibrations permet de détecter un défaut, l'analyse des caractéristiques des vibrations de la machine permet d'en identifier la cause.

Dans notre travail, nous donnons une méthodologie pour l'application de l'analyse vibratoire en maintenance prédictive dans le cas d'une turbine à vapeur à haute pression.

Dans ce mémoire, nous proposons trois méthodes de suivi et de diagnostic des défauts des turbines à vapeur, premièrement le suivi de courbes de tendance, la deuxième est l'analyse spectrale et la troisième c'est l'analyse par l'orbite cinétique.

Les résultats expérimentaux obtenus sont clairs et efficaces, nous a permis de mettre en œuvre un bilan complet sur l'état de santé de la machine et permettes au futur d'améliorer les compétences pratiques, de gagner du temps et de rentabiliser l'unité de production.

## *Remerciement*

*Je remercie dieu de nous avoir donné la force*

*Pour accomplir ce travail.*

*J'adresse tout d'abord mes remerciements les plus sincères, au Mr. Rachid Belhadef, qui a très volontiers accepté d'être le promoteur de ce projet. Sa grande connaissance dans le domaine, ainsi que son expérience, ont joué un rôle important dans la conception de ce travail.*

*Mes remerciements s'adressent également à nos encadreurs dans la centrale thermique de Jijel qui nous aident et ont contribué grandement à l'élaboration de ce travail.*

*Et je n'oublie pas tous les enseignants du*

*Département de génie mécanique.*



## *Dédicace*

*Je dédie ce Modest travail,*

*Avant tout à les deux personnes les plus chères au  
monde ma chère mère et mon père qui ont sacrifié  
leur vie pour*

*Ma réussite, et pour leurs encouragements. Que dieu  
Les gardes éternellement heureux.*

*A toute la famille benchaabane,*

*A tous mes frères et toutes mes sœurs  
Mes amis et mes collègues, et à tous ceux qui*

*M'ont aidé pour réaliser ce mémoire.*





## *Dédicace*

*Je dédie ce Modest travail,*

*Avant tout à les deux personne les plus chères au  
monde ma chère mère et mon père qui ont sacrifié*

*leur vie pour*

*Ma réussite, et pour leurs encouragements. Que dieu  
Les gardes éternellement heureux.*

*A toute la famille Belhadef,*

*A tous mes frères et toutes mes sœurs  
Mes amis et mes collègues, et à tous ceux qui*

*M'ont aidé pour réaliser ce mémoire.*

# Liste des tableaux

<u>Tableau I.1 : Type de montage de l'accéléromètre</u> .....	15
<u>Tableau III.1 Caractéristiques pour la pleine charge</u> .....	31
<u>Tableau III.2 caractéristique de groupe</u> .....	35
<u>Tableau III.3 : défauts de la turbine</u> .....	40
<u>Tableau III.4 : Défauts et fréquences correspondants</u> .....	41
<u>Tableau IV.1 : valeur de vibration avant l'intervention sur le palier 04</u> .....	52
<u>Tableau IV.2 : valeur de vibration durant l'intervention sur le palier 04</u> .....	52
<u>Tableau IV.3 : valeur de vibration après l'intervention sur le palier 04</u> .....	54
<u>Tableau IV.4 : valeur de vibration avant révision générale</u> .....	55
<u>Tableau IV.5 : Tableau récapitulatif des mesures de contrôle de révision générale</u> .....	56
<u>Tableau IV.6 : tableau récapitulatif des mesures de contrôle à 3000 tr/min (non excité)</u> .....	57
<u>Tableau IV.7 : tableau récapitulatif des mesures de contrôle à 3000 tr/min (excité)</u> .....	57
<u>Tableau IV.8 : tableau récapitulatif des mesures de contrôle à 50 MW</u> .....	57
<u>Tableau IV.9 : tableau récapitulatif des mesures de contrôle à 100 MW</u> .....	57
<u>Tableau IV.10 : tableau des résultats de l'analyse spectrale à 3000 tr/min (non excité)</u> .....	58
<u>Tableau IV.11 : tableau des résultats de l'analyse spectrale à 3000 tr/min (excité)</u> .....	58
<u>Tableau IV.12 : tableau des résultats de l'analyse spectrale à 50 MW</u> .....	59
<u>Tableau IV.13 : tableau des résultats de l'analyse spectrale à 100 MW</u> .....	59
<u>Tableau IV.14 : tableau des résultats de l'analyse spectrale à 150 MW</u> .....	60
<u>Tableau IV.15 : tableau des résultats de l'analyse spectrale à 196 MW</u> .....	60

# Liste des figures

<u>Fig.I.1 : Les différents types de la maintenance</u> .....	4
<u>Fig.I.2 : Naissance d'une vibration</u> .....	7
<u>Fig.I.3 : Vibrations harmoniques</u> .....	7
<u>Fig.I.4 : Vibrations périodiques</u> .....	8
<u>Fig.I.5 : Vibrations apériodiques</u> .....	8
<u>Fig.I.6 : Une chaîne de mesures type en analyse vibratoire</u> .....	9
<u>Fig.I.7 : Les modes de détections</u> .....	11
<u>Fig.I.8 : Les grandeurs de mesure</u> .....	12
<u>Fig.I.9 : Capteurs de vibration</u> .....	13
<u>Fig.I.10 : Capteurs de vibration</u> .....	13
<u>Fig.I.11 : Vélocimètre fonctionnant selon le principe électrodynamique</u> .....	14
<u>Fig.I.12 : Capteur d'accélération (accéléromètre)</u> .....	14
<u>Fig.I.13 : Capteur de référence de phase</u> .....	15
<u>Fig.II.1 : Schéma de la centrale thermique</u> .....	17
<u>Fig.II.2 : Schéma bloc de la centrale thermique</u> .....	19
<u>Fig.II.3 : Schéma précis de la centrale thermique</u> .....	21
<u>Fig.II.4 : Schéma de turbine</u> .....	28
<u>Fig. III.1 : Turbine à condensation de 210 MW à 3000 tr/mn en 3 corps</u> .....	32
<u>Fig. III.2 : Turbomachine motrice</u> .....	36
<u>Fig. III.3 : Abaque de démarrage de la turbine à froid</u> .....	37
<u>Fig. III.4 : abaque de démarrage de la turbine à chaud (CHP = 300 °C – CMP = 270 °C)</u> .....	38
<u>Fig. III.5 : abaque de démarrage de la turbine à chaud (CHP = 400 °C – CMP = 360 °C)</u> .....	38
<u>Fig. III.6 : abaque de démarrage de la turbine à chaud (CHP = 450 °C – CMP = 470 °C)</u> .....	39
<u>Fig.III.7 : Défaut de balourd</u> .....	41
<u>Fig.III.8 : Défaut de cambrure et fléchissement d'arbre et le spectre correspond</u> .....	42



<u>Fig.III.9 : Spectre typique de désalignement angulaire</u> .....	43
<u>Fig.III.10 : Spectre typique de désalignement parallèle</u> .....	43
<u>Fig.III.11 : Caractéristiques des roulements</u> .....	44
<u>Fig.III.12 : Effet du jeu de palier et le spectre correspond</u> .....	46
<u>Fig.III.13 : Défaut de frottement</u> .....	47
<u>Fig.IV.1: suivi de la courbe de tendance du (Palier 04) avant l'intervention</u> .....	53
<u>Fig.IV.2 : l'analyse spectrale du palier 04 H avant l'intervention</u> .....	53
<u>Fig.IV.3 : l'orbite cinétique du Palier 04 avant l'intervention</u> .....	54
<u>Fig.IV.4 : suivi de la courbe de tendance du Palier 05 avant l'intervention</u> .....	61
<u>Fig.IV.5 : L'analyse spectrale du Palier 05 avant l'intervention</u> .....	62
<u>Fig.IV.6: l'orbite cinétique du Palier 05 avant l'intervention</u> .....	62
<u>Fig.IV.7 : suivi de la courbe de tendance du Palier 06 avant l'intervention</u> .....	63
<u>Fig.IV.8 : L'analyse spectrale du Palier 06 H avant l'intervention</u> .....	63
<u>Fig.IV.9 : l'orbite cinétique du Palier 06 avant l'intervention</u> .....	64
<u>Fig.IV.10 : suivi de la courbe de tendance du Palier 04 après l'intervention</u> .....	66
<u>Fig.IV.11 : analyse spectrale du palier 04 après l'intervention</u> .....	66
<u>Fig.IV.12 : suivi de la courbe de tendance du Palier 05 après l'intervention</u> .....	67
<u>Fig.IV.13 : L'analyse spectrale du Palier 05 après l'intervention</u> .....	67
<u>Fig.IV.14 : suivi de la courbe de tendance du Palier 06 après l'intervention</u> .....	68
<u>Fig.IV.15 : L'analyse spectrale du Palier 06 après l'intervention</u> .....	68

## Liste des symboles

$X(t)$  : La réponse

$X_i$  : L'amplitude.

$\omega_{it}$  : La pulsation.

$\varphi_i$  : La phase

$X_{eff}$  : La valeur efficace.

$X_c$  : La valeur crête.

$X_{cc}$  : La valeur crête à crête.

A : Accélération.

V : La vitesse.

S : Le déplacement

$\omega$  : La pulsation propre.

$f$  : La fréquence.

e: La force électromotrice.

B: L'induction magnétique.

l: Le longueur l de l'enroulement.

v: La vitesse.

k: Constant.

I : Fermeture des by-pass des clapets antiretour.

II : Raccordement du corps HP.

$P_{nn}$  : Pression de vapeur absolue en amant de la fermeture VMP, bar ( $\text{kg.f/cm}^2$ ).

N : la puissance de la turbine, MW.

n : Fréquence, Hz ( $\text{s}^{-1}$ ).

$P_0$  : Pression de vapeur absolue en amant de la fermeture automatique haute pression VHP, bar ( $\text{kg.f/cm}^2$ ).

$T_{nn}$  : Température de vapeur en amant de la fermeture automatique haute pression VHP, °C.

$T_0$  : Température de vapeur en amant du VHP, °C.

VMP : Vanne automatique moyenne pression.

VHP : Vanne automatique haute pression.

*Sommair*



<u>Introduction générale</u> .....	1
------------------------------------	---

## **Chapitre I :**

### **Généralités sur la maintenance et les vibrations**

<u>INTRODUCTION</u> .....	3
<u>I- Maintenance des systèmes industriels</u> .....	4
<u>I.1-Définition de la maintenance</u> .....	4
<u>I.2- Les différents types de la maintenance</u> .....	4
<u>I.2.1- Maintenance corrective</u> .....	4
<u>I.2.2- Maintenance préventive</u> .....	5
<u>I.2.3- Maintenance préventive systématique</u> .....	5
<u>I.2.4-La maintenance préventive conditionnelle</u> .....	5
<u>I.2.5- Maintenance prévisionnelle</u> .....	5
<u>I.3- Objectifs de la maintenance</u> .....	6
<u>I.4- Les vibrations</u> .....	6
<u>I.4.1- Notion générale d'une vibration</u> .....	6
<u>I.4.2- Définition d'une vibration</u> .....	6
<u>I.4.3- Naissance d'une vibration</u> .....	6
<u>I.4.4- Les différentes formes de vibrations</u> .....	7
<u>I.4.4 .a- Vibration harmoniques</u> .....	7
<u>I.4.4 .b- Vibration périodiques</u> .....	7
<u>I.4.4.c- Vibration apériodique</u> .....	8
<u>I.4.5- Principe de l'analyse vibratoire</u> .....	8
<u>I.5- Les modes de détection</u> .....	9
<u>I.5.1- Valeur efficace</u> .....	10
<u>I.5.2- Valeur crête</u> .....	10
<u>I.5.3- Valeur crête à crête</u> .....	10
<u>I.5.4- Relation entre les différents types de détection</u> .....	10
<u>I.5.5- Utilisation des différents modes de détection</u> .....	10
<u>I.5.6- Valeur crête ou crête à crête vrais et calculée</u> .....	10
<u>I.5.7- Les grandeurs mesurées</u> .....	11
<u>I.6- Capteurs des vibrations</u> .....	12
<u>I.6 .1- Capteurs de déplacement</u> .....	13

<u>I.6.2- Capteurs de vitesse (vélocimètres)</u> .....	13
<u>I.6.3 - Capteurs d'accélération (accéléromètres)</u> .....	14
<u>I.6.4- Capteurs de référence de phase</u> .....	15
<u>I.6.5- Avantages et Inconvénients de l'analyse vibratoire</u> .....	16
<u>Conclusion</u> .....	16

## **Chapitre II :**

### **Généralité sur la centrale thermique**

<u>INTRODUCTION</u> .....	17
<u>II.1- Composants de la centrale</u> .....	18
<u>II.1.1- Caractéristiques Générales de l'unité</u> .....	19
<u>II.1.2- Les organes principaux de la centrale</u> .....	20
<u>II.2- Les auxiliaires de la centrale</u> .....	21
<u>II.2.1- Station de pompage</u> .....	21
<u>II.2.2- Station de dessalement d'eau de mer</u> .....	22
<u>II.2.3- Station d'électro chloration à injection d'hypochlorite</u> .....	22
<u>II.2.4- Station d'électrolyseur</u> .....	22
<u>II.2.5- La chaudière auxiliaire</u> .....	23
<u>II.2.6- Station d'air comprimé</u> .....	23
<u>II.2.7 Station de stockage fuel</u> .....	23
<u>II.2.8.- Station diesel production d'électricité</u> .....	23
<u>II.2.9- Station de détente de gaz</u> .....	23
<u>II.2.10- Poste de traitement d'huile</u> .....	23
<u>II.2.11- Les dispositifs de protection</u> .....	23
<u>II.2.12- Stock d'azote</u> .....	23
<u>II.3- Les équipement technologique d'un groupe</u> .....	24
<u>II.3.1- La chaudière (générateur de vapeur)</u> .....	24
<u>II.3.1.a- La chambre de combustion</u> .....	24
<u>II.3.1.b- Les bruleurs</u> .....	25
<u>II.3.1.c- Ventilateur de soufflage</u> .....	25
<u>II.3.1.d- Ventilateur de tirage</u> .....	25
<u>II.3.1.e- Ventilateur de recyclage</u> .....	25
<u>II.3.1.f- Réchauffeur d'air rotatif</u> .....	26

<u>II.3.1.g - Le ballon (réservoir)</u> .....	26
<u>II.3.1.h- l'économiseur</u> .....	26
<u>II.3.1.i- La surchauffeur</u> .....	26
<u>II.3.1.j- Le resurchauffeur</u> .....	26
<u>II.3.1.k- La cheminée</u> .....	27
<u>II.3.2- Le poste d'eau</u> .....	27
<u>II.3.2.1- le condenseur</u> .....	27
<u>II.3.2.2- Pompe d'extraction</u> .....	27
<u>II.3.2.3- dégazeur</u> .....	27
<u>II.3.2.4- les pompes d'alimentation</u> .....	27
<u>II.3.2.5- les réchauffeurs à haute et basse pression</u> .....	27
<u>II.3.3- La turbine</u> .....	27
<u>II.3.4- l'alternateur</u> .....	28
<u>II.3.5- le transformateur</u> .....	28
<u>II.4- Principe de fonctionnement du central</u> .....	29
<u>Conclusion</u> .....	30

### **Chapitre III :**

#### **Généralité sur la turbine à vapeur**

<u>INTRODUCTION</u> .....	31
<u>III.1- La turbine à vapeur à plusieurs corps</u> .....	31
<u>III.1.1- Le corps haut pression CHP</u> .....	31
<u>III.1.2- Le corps moyenne pression CMP</u> .....	31
<u>III.1.3- Le corps bas pression CBP</u> .....	31
<u>III.2- Description des différent corps de la turbine</u> .....	32
<u>III.2.1- Corps haute pression (CHP)</u> .....	32
<u>III.2.1.a- Rotor corps haute pression</u> .....	33
<u>III.2.1.b- Stator corps haute pression</u> .....	33
<u>III.2.2- Le corps moyen pression (CMP)</u> .....	33
<u>III.2.2.a- Rotor corps moyen pression</u> .....	33
<u>III.2.2.b- Stator corps moyen pression</u> .....	33
<u>III.2.3- Le corps basse pression</u> .....	33
<u>III.2.3.a- Rotor corps basse pression</u> .....	34



III.2.3.b- Stator corps basse pression .....	34
III.3- Préparation de la turbine au démarrage .....	36
III.3.1- Cause de démarrage .....	36
III.3.2- Les principales étapes de démarrage .....	36
III.3.3- Les types de démarrage .....	37
III.3.3.a- Démarrage à froid .....	37
III.3.3.b- Démarrage de la turbine à chaud .....	37
III.3.4- Les défauts de la turbine .....	40
III.3.5- Les défauts de la turbine liés aux vibrations .....	41
III.3.5.1- Déséquilibre massique des rotors. Balourds .....	41
III.3.5.1.a- Balourd d'origine mécanique (rupture d'une aube, etc.) .....	42
III.3.5.1.b- Balourd d'origine thermique (Perte d'ailette, Déformation des rotors de turbine) .....	42
III.3.5.2- Cambrure et fléchissement .....	42
III.3.5.3- Désalignement angulaire .....	43
III.3.5.4- Désalignement parallèle .....	43
III.3.5.5- Dégradation des appuis (Défauts des roulements) .....	43
III.3.5.6- Défauts des paliers à film d'huile (palier lisse) .....	44
III.3.5.6.1- Caractéristiques .....	45
III.3.5.6.2- Avantages des paliers lisses .....	45
III.3.5.6.3- Inconvénients des paliers lisses .....	45
III.3.5.7- Défauts de lubrification-Instabilité .....	45
III.3.5.8- Effet du jeu de palier .....	46
III.3.5.9- Frottement et usure de contact .....	47
III.3.5.10- Cavitation .....	47
Conclusion .....	48
 <b>Chapitre IV :</b>  	
<b>Description de la méthode d'application</b>	
Introduction .....	49
IV.1- Matériels utilisés .....	49
IV.1.1- Description du logiciel d'analyse de diagnostic vibratoire «VIBROEXPERT CM-400 » .....	49
IV.1.2- Caractéristiques .....	50

IV.1.3- Avantages .....	50
IV.1.4- Utilisation .....	50
IV.2- Etude de cas : Application de l'analyse vibratoire sur la turbine à vapeur .....	51
IV.2.1-Procédure à suivre lors de ce travail.....	51
IV.2.2-Historique et suivi de la vibration de la turbine avant la révision générale .....	51
IV2.3- Analyse des vibrations.....	52
IV.2.3.1- Suivi de la courbe de tendance du GTA n°1 avant l'intervention.....	53
IV.2.3.2- L'analyse spectrale du palier 04 horizontale avant l'intervention .....	53
IV.2.3.3- L'analyse par l'orbite cinétique du Palier 04 avant l'intervention.....	54
IV.4- Diagnostic de la turbine lors de son démarrage après révision .....	55
IV.4.1- Objectif.....	55
IV.4.2- Déroulement des contrôles .....	56
IV.4.3- Tableau récapitulatif des mesures de contrôle .....	56
IV.4.4- résultats de mesures à la vitesse synchrone.....	57
IV.5- Analyse fréquentielle.....	58
IV.5.1- groupe n°1 à 3000 tr/min (non excité).....	58
IV.5.2- groupe n°1 à 3000 tr/min (excité).....	58
IV.5.3- groupe n°1 à 50 MW .....	59
IV.5.4- groupe n°1 à 100 MW .....	59
IV.5.5- groupe n°1 à 150 MW .....	60
IV.5.6- groupe n°1 à 196 MW .....	60
IV.6- Détection et diagnostic des défauts après révision générale .....	61
IV.6.1- Suivi de la courbe de tendance du Palier 05 avant l'intervention .....	61
IV.6.2- L'analyse spectrale du palier 05 avant l'intervention .....	62
IV.6.3- L'analyse par l'orbite cinétique du Palier 05 avant l'intervention.....	62
IV.6.4- Suivi de la courbe de tendance du Palier 06 avant l'intervention .....	63
IV.6.5- L'analyse spectrale du Palier 06 avant l'intervention .....	63
IV.6.6- L'analyse par l'orbite cinétique du Palier 06 avant l'intervention.....	64
IV.7- Synthèse des résultats obtenus sur la ligne d'arbre de la turbine à vapeur .....	64
IV.7.1- Les interventions recommandées .....	65
IV.7.2- Analyse des résultats après intervention .....	65
IV.7.2.1- Le suivi de la courbe de tendance du Palier 04 après l'intervention.....	66
IV.7.2.2- L'analyse spectrale du Palier 04 après l'intervention .....	66

<u>IV.7.2.3- Le suivi de la courbe de tendance du Palier 05 après l'intervention</u> .....	67
<u>IV.7.2.4- L'analyse spectrale du Palier 05 après l'intervention</u> .....	67
<u>IV.7.2.5- Le suivi de la courbe de tendance du Palier 06 après l'intervention</u> .....	68
<u>IV.7.2.6- L'analyse spectrale du Palier 06 après l'intervention</u> .....	68
<u>CONCLUSION</u> .....	69
<u>Conclusion générale</u> .....	70

*Introduction  
Générale*

## *Introduction générale*

Les vibrations sont presque omniprésentes dans les centrales électriques, turbogénérateurs, les pompes d'alimentation des chaudières, les compresseurs et toutes les machines tournantes.

Les machines tournantes vibrent en raison des défauts d'équilibrage et d'alignement et des Imperfections des paliers, la tuyauterie et les échangeurs de chaleur vibrent sous l'effet des pulsations d'écoulement, les structures vibrent en raison des vibrations transmises par les diverses pièces d'équipement qu'elles abritent, même les lignes de transport d'électricité vibrent sous l'effet des rafales de vent.

De façon générale, les vibrations réduisent la durée de vie de l'équipement et dans les cas extrêmes peuvent endommager celui-ci ou même provoquer des défaillances catastrophiques. L'observation des phénomènes vibratoires peut donc permettre de déceler ces problèmes et d'éviter des dommages coûteux.

L'analyse vibratoire permet l'élaboration d'un bilan complet de la machine. Le contrôle des Machines tournantes par l'analyse vibratoire est couramment utilisé notamment pour la surveillance des composants fragiles ou stratégiques d'un système, par exemple les roulements à billes, les engrenages ou les rotors. La procédure consiste à détecter l'apparition d'un défaut sans démontage de la machine en prélevant le signal vibratoire à l'aide d'un capteur vibratoire. On définit alors une procédure de contrôle par comparaison d'indicateurs avec des seuils d'alarme préalablement définis. On ne recherche souvent pas plus loin la nature et la cause du problème. Cependant, dans la plupart des cas, l'analyse du défaut est également possible.

L'analyse vibratoire est l'une des méthodes et des techniques qui permettent à l'exploitant de mieux maîtriser le fonctionnement des machines, grâce à ses exceptionnelles capacités à traduire le comportement de tout ce qui bouge ou qui tourne, a introduit la notion de maintenance conditionnelle en remplacement de l'entretien curatif ou systématique d'hier.

La présente étude portera sur les caractéristiques fondamentales et les causes des vibrations, les conséquences des vibrations excessives et les méthodes utilisées pour la prévention des vibrations et application de cette technique sur une turbine à vapeur lors de son démarrage au niveau d'une centrale électrique. [1]

Pour arriver au bout de notre étude nous avons divisé ce travail en quatre chapitres :

Dans le premier chapitre on a offert une aperçue sur la maintenance, Ce domaine d'activité qui constitue une part très importante permettant de rentabiliser l'instrument de production industriel.

Dans le deuxième chapitre une description de l'endroit de notre stage effectué à la centrale thermique d'achouat (Jijel) est effectuée.

Le troisième chapitre est une description de la turbine, de son fonctionnement et ces défauts.

Dans le dernier chapitre nous allons effectuer une application de la technique sur la turbine dont le but de déterminer les causes et les origines des vibrations anormales et donné par la suite des solutions et probables recommandation.

Le travail est achevé par une conclusion générale qui résume l'ensemble de notre étude.



***Chapitre I***  
**Généralités sur la maintenance et les  
vibrations**

## INTRODUCTION

La fonction maintenance conditionne fortement le niveau de performance d'une installation. Son optimisation est complexe car elle doit prendre en compte différents critères parfois coûteux. Par ailleurs, il y a une multitude de façons de maintenir une installation. On peut jouer sur le type de maintenance, sur les types des tâches, sur leurs fréquences, sur le niveau d'intervention, etc....

Pour effectuer ces choix stratégiques, des méthodes permettant d'optimiser les performances des systèmes sont appliquées, parmi lesquelles l'optimisation de la maintenance par analyse vibratoire. Les responsables de maintenance en viennent ainsi à envisager de véritables stratégies et ne se contentent plus de surveiller et de réparer.

Ils cherchent à prévoir les événements et d'évaluer les différentes alternatives qui s'offrent à eux pour exploiter au mieux les installations en fonction des contraintes techniques et budgétaires imposées.

Les décisions sont majoritairement prises sur la base d'informations qualitatives fournies par des experts et quelquefois appuyées par des données de retour d'expérience.

Il serait toutes fois utile de pouvoir effectuer des choix sur des critères quantitatifs décrivant les performances des programmes de maintenance.

Les différentes raisons de faire de la maintenance sur le matériel :

- Vieillesse
- Usure
- Corrosion
- Erosion
- Dégradation inhérentes à la fonction qu'il assure
- Nécessité de soins périodiques
- Pollution
- Pertes d'énergie
- Préservation de la sécurité intrinsèque (construction) et de fonctionnement (exploitant).

Toute machine possédant des composants en mouvement génère un certain niveau de vibration.

Quel que soit le soin apporté à leur fabrication ces vibrations sont caractéristiques de l'état de l'équipement et constituent sa signature.

Aujourd'hui, l'emploi des technologies intégrant les méthodes avancées de traitement de signal occupe une place privilégiée pour faire un diagnostic d'un équipement mécanique.

Ces caractéristiques font de la surveillance par analyse vibratoire, un outil indispensable pour une maintenance moderne, puisqu'elle permet d'améliorer la disponibilité et la sécurité par détection précoce et le suivi de la dégradation des éléments critiques, ainsi localiser l'organe défectueux sans démontage de la machine (Contrôle Non Destructif). [2]

## I- Maintenance des systèmes industriels

### I.1-Définition de la maintenance

AFNOR (Association Française de Normalisation) définit la maintenance comme étant «L'ensemble des actions permettant de maintenir ou de rétablir un bien dans un état spécifié ou En mesure d'assurer un service déterminé ».

La maintenance c'est un ensemble des activités destinées à maintenir, à rétablir un bien dans un état ou dans des conditions données de sûreté de fonctionnement, pour accomplir une fonction requise. [3]

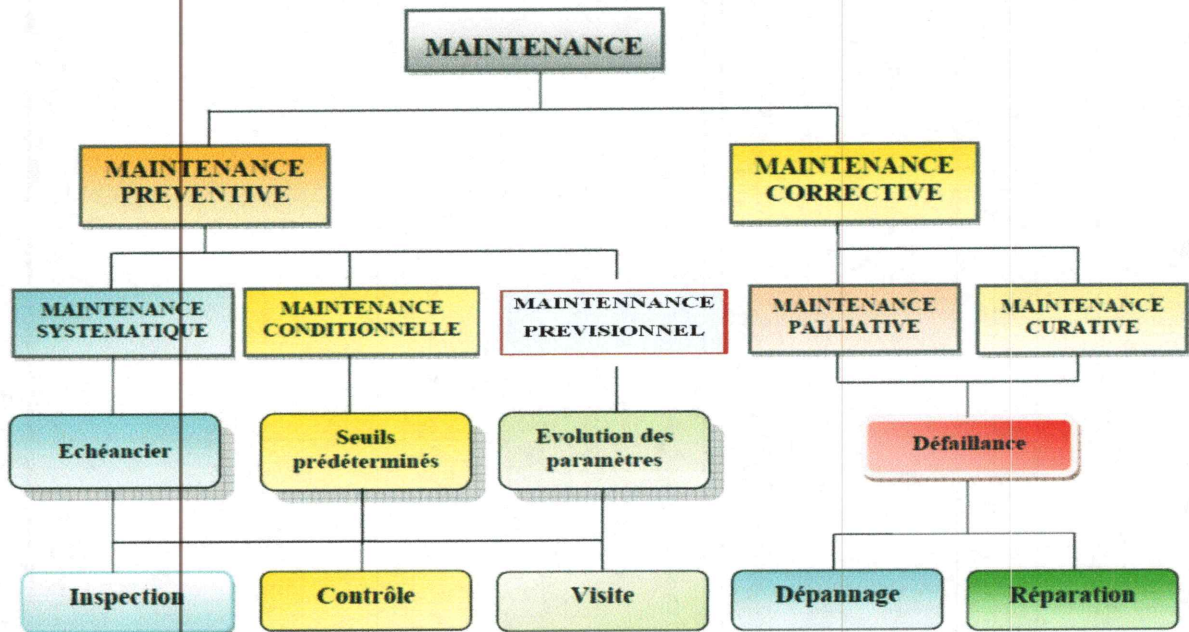


Fig.I.1 : Les différents types de la maintenance

### I.2- Les différents types de la maintenance

#### I.2.1- Maintenance corrective

Définition d'après la Norme NF X 60010 : « Maintenance effectuée après défaillance » il s'agit d'une "maintenance effectuée après défaillance. C'est une politique de maintenance (dépannage ou réparation) qui correspond à une attitude de réaction à des événements plus ou moins aléatoires et qui s'applique après la panne. [3]

a) **Maintenance corrective palliative** : Activités de maintenance corrective destinées à permettre à un bien d'accomplir provisoirement tout ou une partie d'une fonction requise. [3]

b) **Maintenance corrective curative** : Activités de maintenance ayant pour objet de rétablir un bien dans un état spécifique ou de lui permettre d'accomplir une fonction requise.

Les résultats des activités réalisées doivent présenter un caractère permanent. Ces activités peuvent être:

- Des réparations.
- Des modifications ou améliorations ayant pour objet de supprimer la (ou les) défaillance(s). [3]

### **I.2.2- Maintenance préventive**

Maintenance exécutée à des intervalles prédéterminés ou selon des critères prescrits et destinée à réduire la probabilité de défaillance ou la dégradation du fonctionnement d'un bien.

C'est une politique qui s'adresse aux éléments provoquant une perte de production ou des coûts d'arrêts imprévisibles, mais importants.

Les matériels visés sont ceux dont le coût des pannes est élevé (20 % des pannes représentant 80 % des coûts.) La mise en pratique nécessite de décomposer les sous-systèmes en éléments maintenable (palier, réducteur, etc...). La périodicité des visites s'établit par l'étude des lois statistiques de la durée de vie.

Des gammes d'entretien sont élaborées de façon à préciser le travail à exécuter et de garder la traçabilité de l'entretien. [3]

### **I.2.3- Maintenance préventive systématique : Définition d'après la Norme NF X 60010**

Maintenance préventive effectuée selon un échéancier établi selon le temps ou le nombre d'unités d'usage. Généralement, la maintenance préventive s'adresse aux éléments dont le coût des pannes est élevé, mais ne revenant pas trop cher en changement (les meilleurs exemples sont le changement systématique d'huile, changement de la courroie de synchronisation,...). [3]

### **I.2.4- La maintenance préventive conditionnelle : Définition d'après la Norme NF X 60010**

La maintenance préventive conditionnelle définit comme « une maintenance préventive subordonnée à un type d'événement prédéterminé (auto diagnostic, information d'un capteur, mesure d'une usure, révélateur de l'état de dégradation du bien) ». [3]

### **I.2.5- Maintenance prévisionnelle**

Maintenance conditionnelle exécutée en suivant les Prévisions extrapolées de l'analyse et de l'évaluation de paramètres significatifs de la dégradation du bien (EN 13306). [3]

### **I.3- Objectifs de la maintenance**

La maintenance doit se faire de telle sorte que l'outil de production soit disponible et en bon état de fonctionnement, elle est, de ce fait, intimement liée à la production et à la qualité.

Les objectifs de la maintenance, se greffent ceux de la production tel que la qualité, le coût, les délais...etc.

De ce point de vue, les objectifs de la maintenance réalisés à travers son organisation, sa gestion et ses interventions, sont nombreux :

- Assurer la disponibilité.
- Développer l'économie de l'entreprise.
- Assurer la bonne qualité des produits.
- Assurer la maintenabilité des équipements.
- Assurer la sécurité du personnel et des installations.
- Augmenter la productivité. [4]

### **I.4- Les vibrations**

#### **I.4.1- Notion générale d'une vibration**

Les vibrations contiennent donc toute l'information concernant l'état des organes mécaniques de la machine. La difficulté réside dans l'analyse des signaux vibratoires et dans l'identification des composantes relatives aux éléments à surveiller, donc il est nécessaire de connaître les principales notions des vibrations pour comprendre comment lire et interpréter les signaux spectrales. [4]

#### **I.4.2- Définition d'une vibration**

On désigne par vibration la variation plus ou moins régulière d'une grandeur quelconque dans le temps, Il existe de nombreux exemples, qu'ils soient artificiels ou naturels, dans lesquels on observe un tel phénomène de va-et-vient autour d'une position de repos.

La norme ISO 2041 « vibration et choc – vocabulaire (aout 1990) » définit la notion de vibration, variation avec le temps de l'intensité d'une grandeur caractéristique du mouvement ou de la position d'un système mécanique, lorsque l'intensité est alternativement plus grande et plus petit qu'une certaine valeur moyenne ou de référence.

En fait, un corps est dit en vibration lorsqu'il est animé d'un mouvement oscillatoire autour d'une position d'équilibre ou de référence. [4]

#### **I.4.3- Naissance d'une vibration**

Une vibration est créée lorsque l'on déplace la masse de sa position d'équilibre à une position maximale ou minimale. Si l'on considère que le mouvement n'est pas amorti, la masse vibrera indéfiniment entre ses deux positions maximale et minimale. [5]

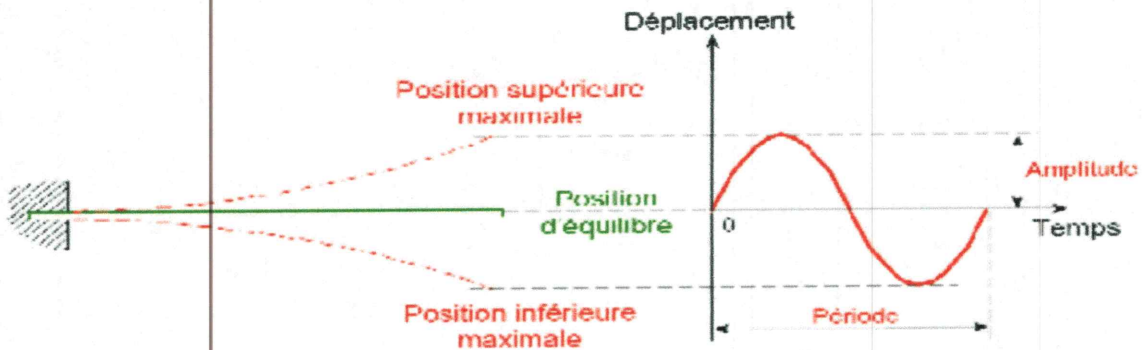


Fig.I.2 : Naissance d'une vibration

#### I.4.4- Les différentes formes de vibrations

On classe les vibrations d'après l'évolution de la variable considérée dans le temps (périodicité). [6] On distingue ainsi les vibrations :

- Harmoniques
- Périodiques
- Apériodiques

##### I.4.4 .a- Vibration harmoniques

Une vibration harmonique est une vibration dont le diagramme amplitude-temps est représenté par une sinusoïde. [6]

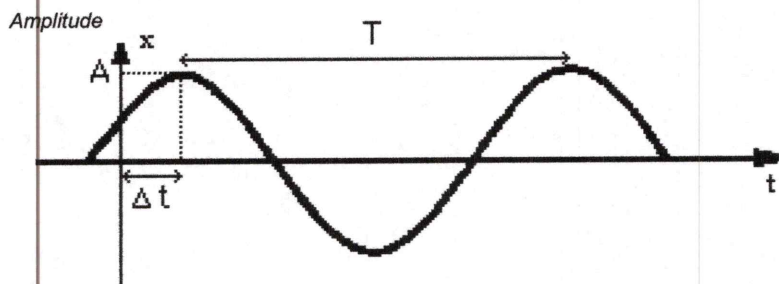


Fig.I.3 : Vibrations harmoniques

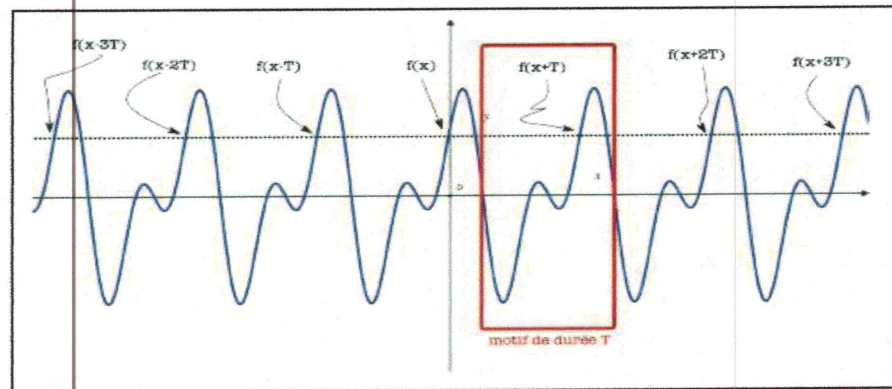
##### I.4.4 .b- Vibration périodiques

Une vibration périodique est telle qu'elle se produit exactement après un certain temps appelé période.

Une telle vibration est créée par une excitation elle-même périodique. C'est le cas le plus fréquent rencontré sur les machines.



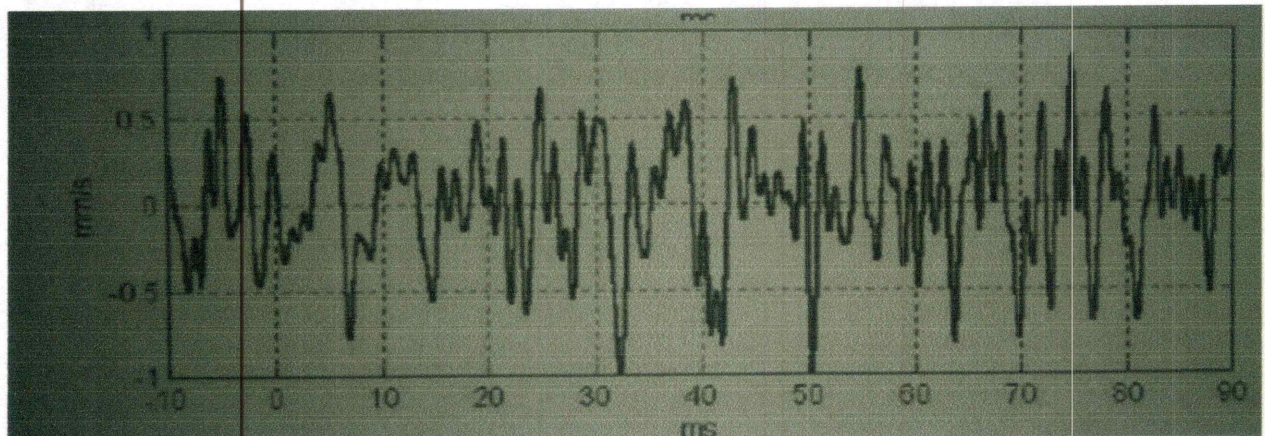
Une vibration périodique est la composée de plusieurs vibration harmoniques. [6]



*Fig.I.4 : Vibrations périodiques*

#### I.4.4.c- Vibration apériodique

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



*Fig.I.5 : Vibrations apériodiques*

Elle décrit par l'équation suivante :

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

#### I.4.5- Principe de l'analyse vibratoire

L'analyse vibratoire est la plus connue et la plus largement employée. Il faut dire qu'elle permet à elle seule de détecter pratiquement tous les défauts susceptibles d'apparaître dans les machines tournantes. Un balourd, un jeu, un défaut d'alignement, un roulement usé ou endommagé... se traduisent par une variation des efforts internes que subit la machine, et donc à une modification de son comportement vibratoire.

En plaçant des accéléromètres aux endroits spécifiques (points de mesure) où se transmettent ces efforts (c'est-à-dire sur les paliers des machines), on peut alors suivre l'état de santé de l'équipement.

Une chaîne de mesure de vibration doit remplir les fonctions suivantes :

1. Transformer la vibration mécanique en un signal électrique. C'est le rôle du capteur.
2. Conditionner le signal de sortie du capteur pour le rendre exploitable et transportable.
3. Amplifier de nouveau le signal obtenu.
4. Numériser le signal. [6]

La figure ci-dessous donne un exemple de chaîne fonctionnelle type équipée d'un capteur d'accélération.

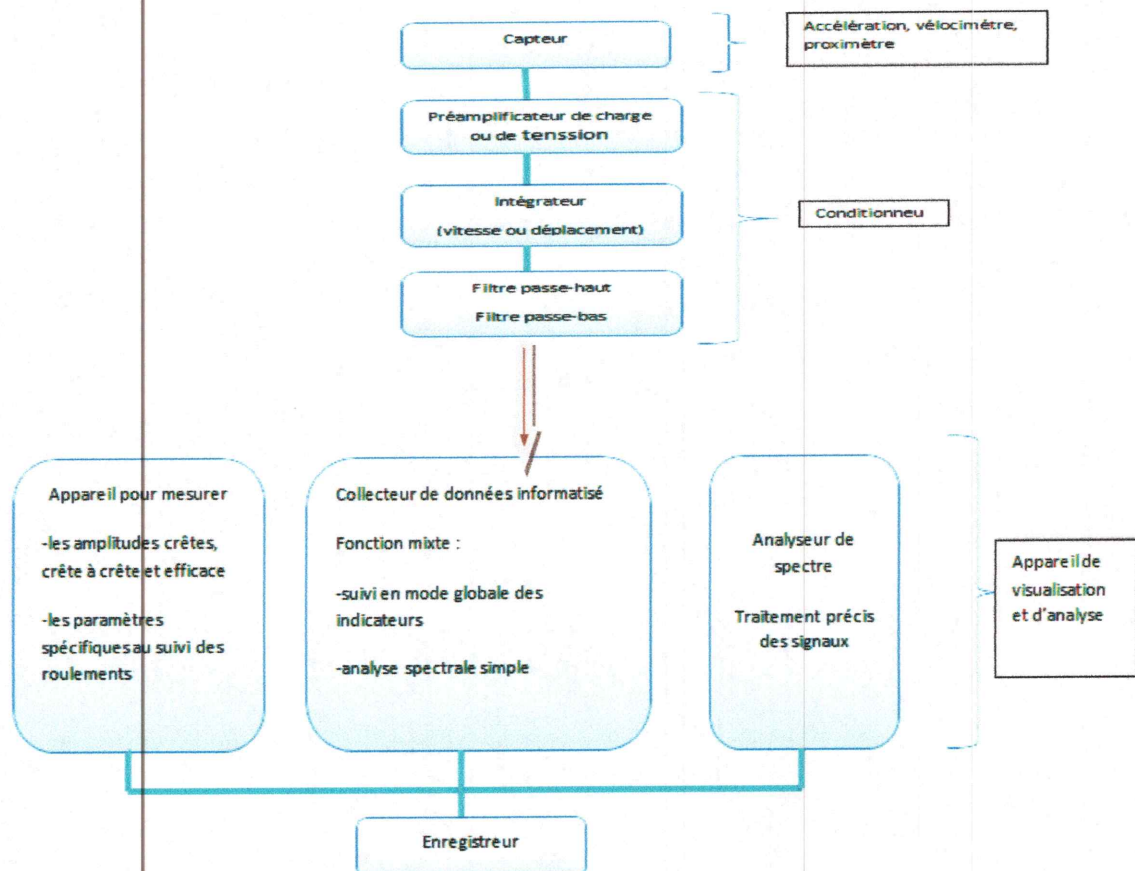


Fig.I.6 : Une chaîne de mesures type en analyse vibratoire. [7]

### I.5- Les modes de détection :

En mesure vibratoire on utilise couramment trois modes de détection. [8]

- Valeur efficace
- Valeur crête
- Valeur crête à crête

**I.5.1- Valeur efficace  $X_{eff}$** 

Pour une vibration périodique, la valeur efficace est la moyenne quadratique des valeurs efficaces de chacune des vibrations harmoniques la constituant :

$$X_{eff} = \sqrt{(X_{1eff}^2 + X_{2eff}^2 + \dots + X_{neff}^2)} \quad (I.2)$$

Ou

$$X_{eff} = \sqrt{\left[ \frac{1}{T} \int_0^T X^2(t) dt \right]} \quad (I.3)$$

Dans la littérature,  $X_{eff}$  peut également être notée (**RMS = Root Mean Square**). [4]

**I.5.2- Valeur crête  $X_c$** 

La valeur crête d'une vibration est la valeur maximale prise par la valeur  $x(t)$  dans l'un des sens positif ou négatif. [4]

**I.5.3- 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. [4]

**I.5.4- Relation entre les différents types de détection**

$$X_{eff} = \frac{X_c}{\sqrt{2}} = \frac{X_{cc}}{2\sqrt{2}} \quad (I.4)$$

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

$$X_{cc} = X_{eff} \cdot 2\sqrt{2} = 2 \cdot X_c \quad (I.6)$$

**I.5.5- Utilisation des différents modes de détection**

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 à crête lorsque l'on cherchera à apprécier les contraintes maximales subies par la machine (effet des valeurs maximales). [4]

**I.5.6- Valeur crête ou crête à crête vrais et calculée**

Les valeurs crête ou crête à crête définies ci-dessous sont des valeurs vraies car elles sont effectivement l'image des contraintes subies par la machine. [8]



Les appareils de mesure délivrent des valeurs crête ou crête à crête qui est calculé à partir de la valeur efficace par les relations suivantes :

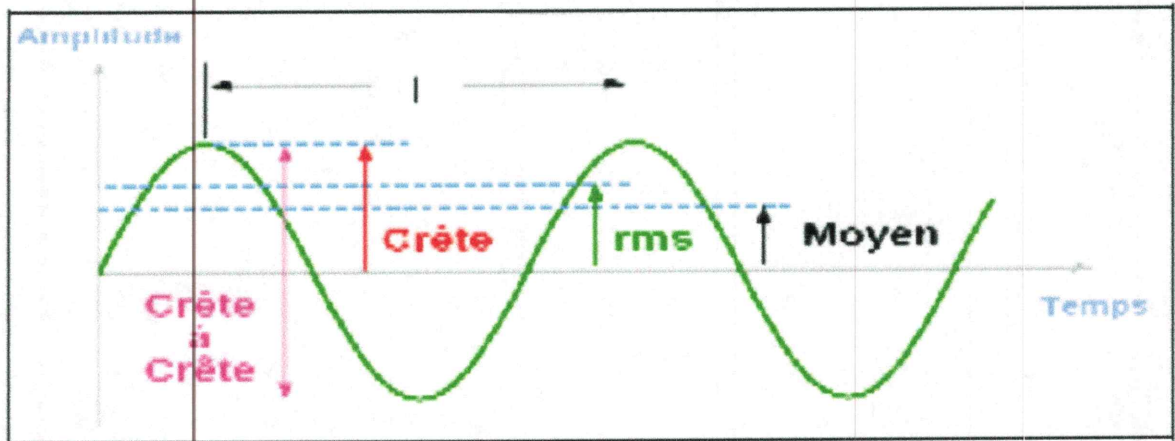


Fig.I.7 : Les modes de détection

### I.5.7- Les grandeurs mesurées

Une vibration mécanique peut être mesurée selon les trois grandeurs suivantes [8]

- Déplacement.
- Vitesse.
- Accélération.

Relation entre **A**, **V** et **S** :

$$\frac{V}{\omega} = \frac{A}{\omega^2} \quad (I.7)$$

$$V = S \cdot \omega = \frac{A}{\omega} \quad (I.8)$$

$$A = V \cdot \omega = S \cdot \omega^2 \quad (I.9)$$

L'équation montre que l'on choisira préférentiellement :

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

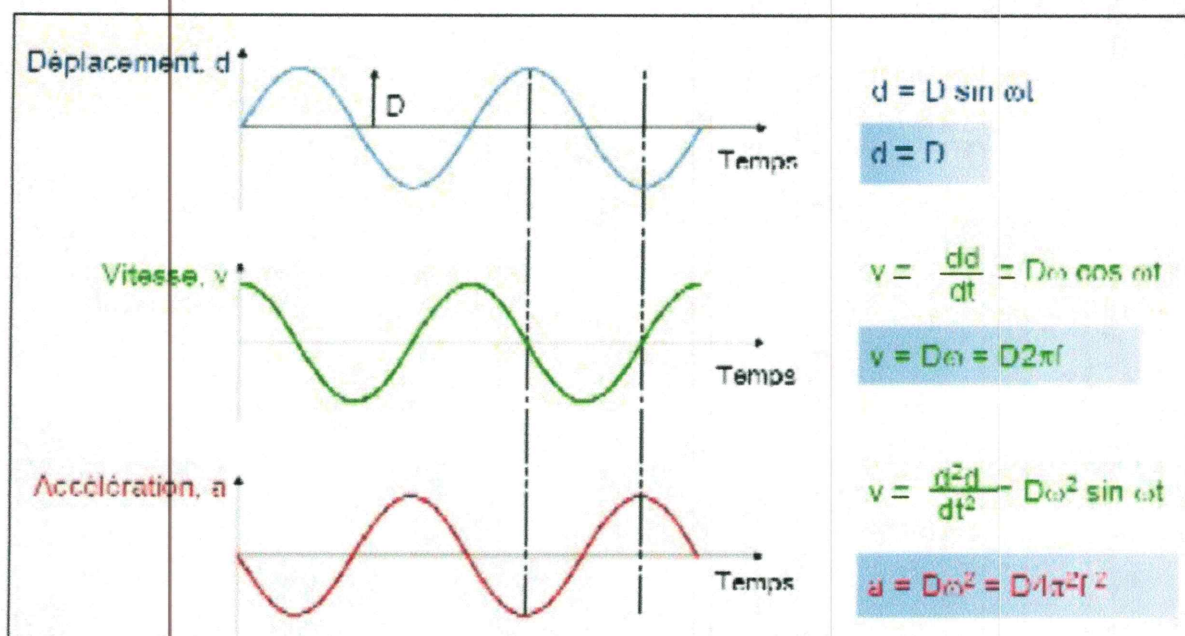


Fig.I.8 : Les grandeurs de mesure. [5]

### I.6- Capteurs des vibrations

Les trois grandeurs que l'on est amené à mesurer en technique vibratoire ; le déplacement, la vitesse et l'accélération peuvent être appréhendées par des systèmes très différents les uns des autres. [9]

On distingue trois principes plus particulièrement utilisés :

- **Déplacement** : principe des courants de *Foucault*
- **Vitesse** : principe électrodynamique
- **Accélération** : principe piézo-électrique

Ils ont tous les trois le même but : transformer une vibration mécanique en un signal électrique.

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



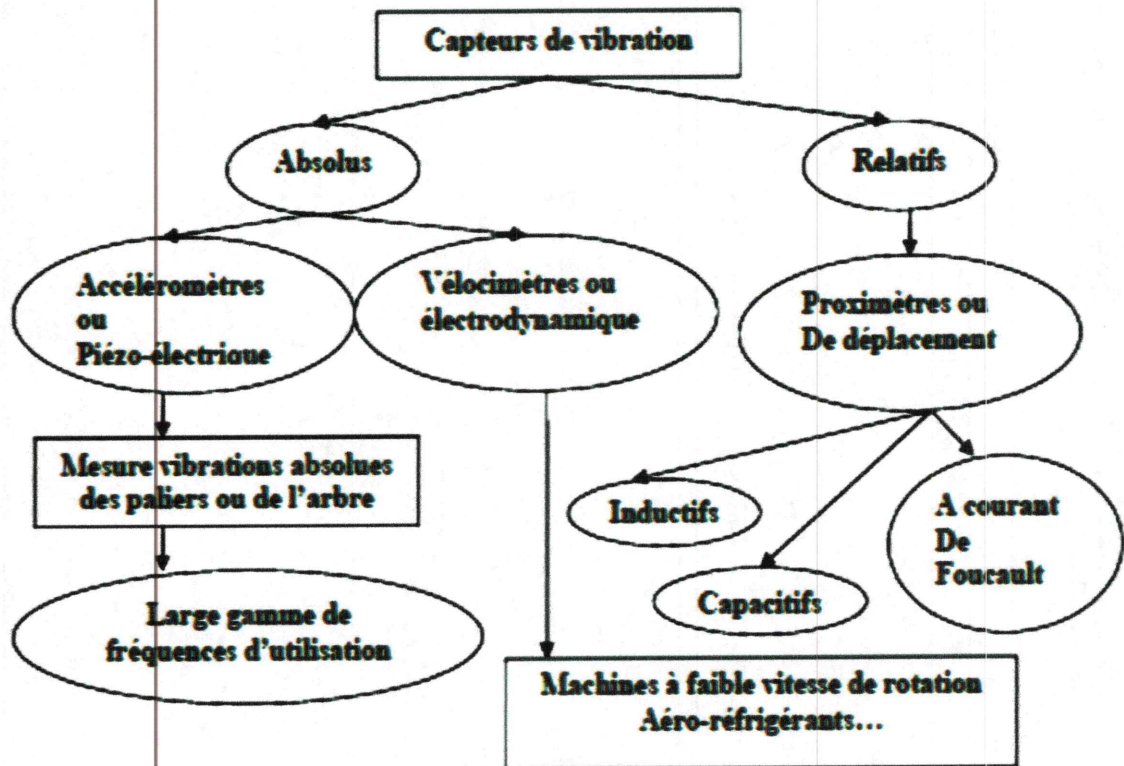


Fig.I.9 : Capteurs de vibration. [1]

### I.6 .1- Capteurs de déplacement

Il existe en effet des capteurs (Inductifs, Capacitifs et à courant de Foucault). C'est ce dernier principe qui s'est imposé dans le monde entier. [1]

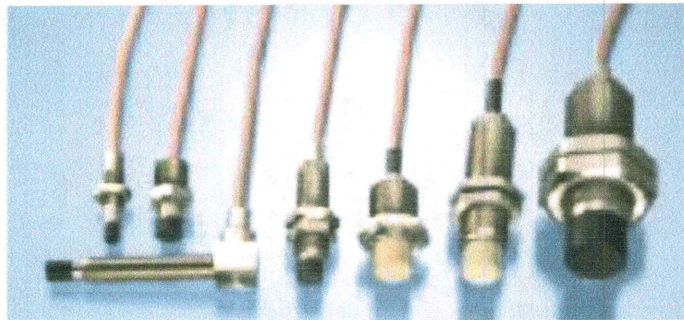


Fig.I.10 : Capteurs de vibration. [1]

### I.6.2- Capteurs de vitesse (vélocimètres)

C'est un capteur électrodynamique, auto-générateur d'une tension proportionnelle à la vitesse de déplacement de la bobine. Le mouvement de la pièce métallique dans les spires provoque une variation de flux, donc une induction de courant dans la bobine. Parmi tous les systèmes physiquement susceptibles de mesurer une vitesse de vibration, le principe électrodynamique est le plus robuste et le plus facile à mettre en œuvre. Par ailleurs, il est particulièrement adapté aux machines à faible vitesse de rotation (par exemple les aéro-réfrigérants...). [1]



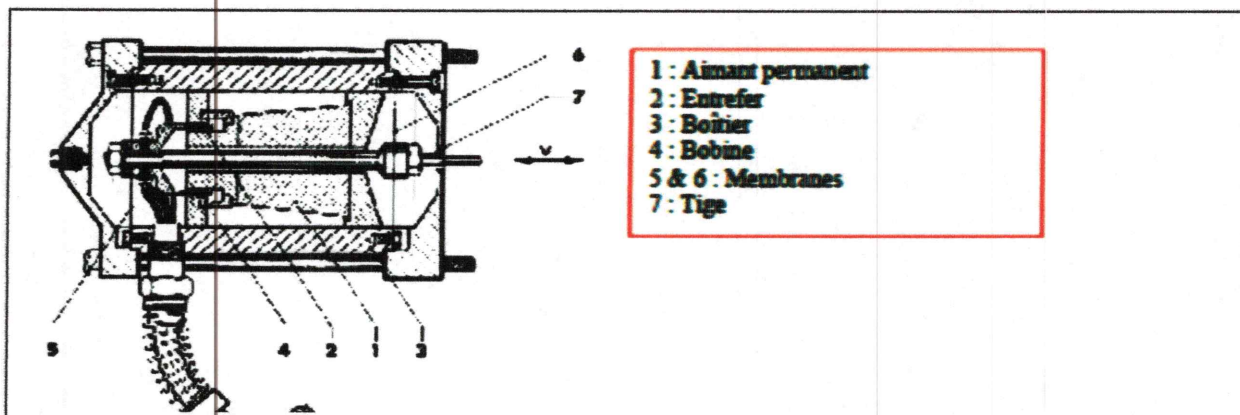


Fig.I.11 : Vélomètre fonctionnant selon le principe électrodynamique. [1]

Un aimant permanent (1) génère une induction magnétique constante  $B$ . Les lignes de champ se referment par l'intermédiaire du boîtier (3). Une bobine (4) suspendue par des membranes (5) et (6) peut se déplacer dans la direction des lignes de champ. Une force électromotrice (fém) d'induction est alors générée, qui est le produit de la vitesse  $v$  de vibration, de l'induction magnétique  $B$  et de la longueur  $l$  de l'enroulement.

$$e = B.l.v \tag{I.10}$$

Et pour  $B$  et  $l$  constantes ( $B.l = k$ ) :

$$e = k.v \tag{I.11}$$

La fem d'induction est proportionnelle à la vitesse de vibration.

### I.6.3 - Capteurs d'accélération (accéléromètres)

Les qualités des accéléromètres sont nombreuses, coût modéré, résistance aux chocs et à l'environnement, fonctionnement autonome.

Une caractéristique de l'accéléromètre est sa très grande dynamique, c'est à dire sa capacité à détecter simultanément des phénomènes de très grande et de très faible amplitude



Fig.I.12 : Capteur d'accélération (accéléromètre). [1]

• **Montage de l'accéléromètre**

La méthode de montage de l'accéléromètre sur la surface de mesure est l'un des facteurs le plus critique pour l'obtention de résultats exacts à partir de mesures des vibrations pratiques. [3]

Le tableau suivant montre les types de montage des embases et leurs fréquences de résonance

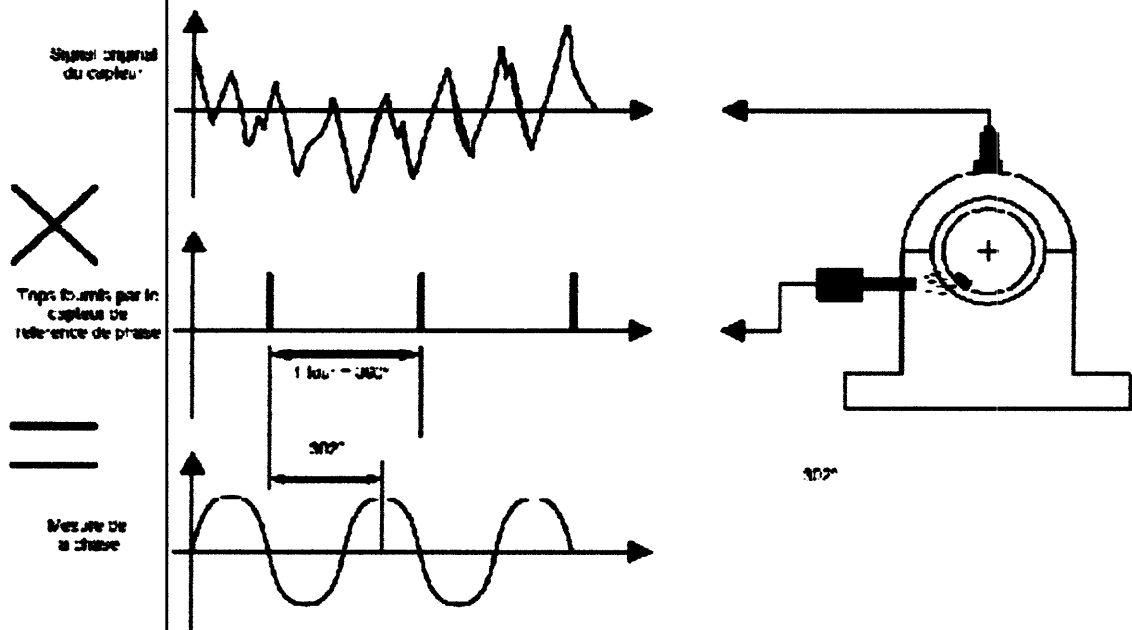
Types de montages	Fréquence de résonance (KHz)
Goujon fileté	31
Collage par cire d'abeille	29
Colle époxy ou cyanoacrylate	28
Goujon isolé ou rondelle de mica	28
Aimant permanent	07
Point de touche	02

*Tableau I.1 : Type de montage de l'accéléromètre. [3]*

**I.6.4- Capteurs de référence de phase**

Ces capteurs trouvent leur application en équilibrage, en recherche de résonances et en surveillance des machines. Le capteur de référence de phase est une cellule photo-électrique ou un capteur sans contact qui détecte un top par tour.

Le signal original fourni par le capteur de vibration est filtré à la fréquence mesurée par le capteur de référence. La phase correspond à la portion de la circonférence du rotor qui a défilé entre le moment où le top passe devant le capteur de référence (filtre suiveur) et le moment où la sinusoïde est à son maximum.



*Fig.I.13 : Capteur de référence de phase. [3]*

**I.6.5- Avantages et Inconvénients de l'analyse vibratoire**

Le point de mesure peut être quelconque. Aucune précaution particulière n'est requise tant que les fréquences à mesurer restent basses (quelques centaines de Hz). Les hautes fréquences ne pourront être appréhendées que si la fixation du capteur est particulièrement soignée.

La norme AFNOR E 90-152 indique les moyens de fixation couramment utilisés, leurs avantages, leurs inconvénients. [10]

**Avantage**

- Détection à un stade précoce des défauts
- Possibilité de réaliser un diagnostic approfondi (connaitre l'origine de défaut)
- Autoriser une surveillance continue (machine critique)
- Augmenter la durée de vie des équipements
- Améliorer la disponibilité des équipements
- Eviter les arrêts de production non programmés
- Eviter la casse des machines
- Augmenter la sécurité dans les secteurs d'activités
- Assurer un contrôle qualité permanent des réparations, du montage et du graissage
- Eviter les erreurs humaines, lors des arrêts et de remise en état
- Permet de surveiller l'équipement à distance (télémaintenance)...etc.

**Inconvénients**

- Spectre parfois difficile à interpréter
- Installation

**Conclusion**

Ce chapitre nous a permis d'avoir un aperçu général sur la maintenance, leurs types, leurs caractéristiques et leurs méthodes. Dans notre étude on s'est intéressée principalement par la méthode d'analyse vibratoire.

L'objectif de notre projet est d'étudier la maintenance d'une turbine à vapeur par la méthode d'analyse vibratoire.

***Chapitre II***  
**Généralité sur central thermique**



## INTRODUCTION

Une centrale thermique est une centrale électrique qui produit de l'électricité à partir d'une source de chaleur. Cette source peut être un combustible brûler (tel que gaz naturel charbon ...etc.).

La source de chaleur chauffe un fluide (souvent de l'eau) qui passe de l'état liquide a l'état gazeux (vapeur) qui entraine une turbine accouplée a un alternateur qui transforme l'énergie cinétique de la turbine en énergie électrique. [11]

Pour entrainer la turbine, il faut que la pression soit plus faible à sa sortie qu'à l'entrée. La baisse de pression à la sortie de la turbine est obtenue en condensant la vapeur, en aval de la turbine, à l'aide d'une source froide. [11]

Le fluide condensée est en générale réutiliser comme source de vapeur est effectué un cycle thermodynamique fermée (cycle de Rankine). [11]

Une centrale thermique à vapeur est constituée essentiellement de l'installation suivante.

- Une chaudière.
- Un groupe turbo alternateur.
- Un poste d'eau.
- Un circuit d'eau de circulation.
- Un circuit d'eau de refroidissement.
- Des postes de combustibles. [11]



*Fig.II.1 : Schéma de la centrale thermique. [11]*

**Site :**

La centrale thermique de Jijel est située à 13 km de chef lieu de wilaya et à 5 km de daïra de taïer.

Elle est limitée au sud par le RN27 reliant Jijel-Constantine à l'ouest par l'oued Djendjen, à l'est par le port et au nord par la mer méditerranée.

**Historique :**

Le lancement de projet a eu lieu en avril 1986.

Le premier groupe a été couplé aux réseaux en date du 06 juin 1992, les dates de couplage des groupes 2 et 3 sont respectivement le 01 juin 1993 et le 07 février 1994.

**La centrale**

La centrale thermique de Jijel est une usine de production d'électricité, elle s'étend sur une superficie de 60 hectares. Elle fournit une puissance électrique de 600 MW, et comporte trois tranches chacune produit 210 MW. Toutes les fonctions importantes d'une tranche sont commandées et surveillées depuis la salle de commande. Chaque tranche de la centrale électrique de Jijel subit des révisions partielles (3ans) et générale (5ans).

**II.1- Composants de la centrale**

- Entré principale
- Cantine
- Bloc administratif
- Station de dessalement d'eau
- Atelier mécanique
- Groupe diesel de secours
- Bâches fuel
- Station de pompage fuel, huile et incendie
- Station d'électrolyseurs
- Chaudières
- Salle de machines
- Salle de commande
- Poste de détente gaz
- Chaudière auxiliaire
- Station de pompage
- Bâches d'eau
- Evacuation d'énergie
- Hangars
- Station de déminéralisation
- Station d'air comprimé
- Bâches N<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>, CO<sub>2</sub>



**Schéma bloc de la centrale thermique :**

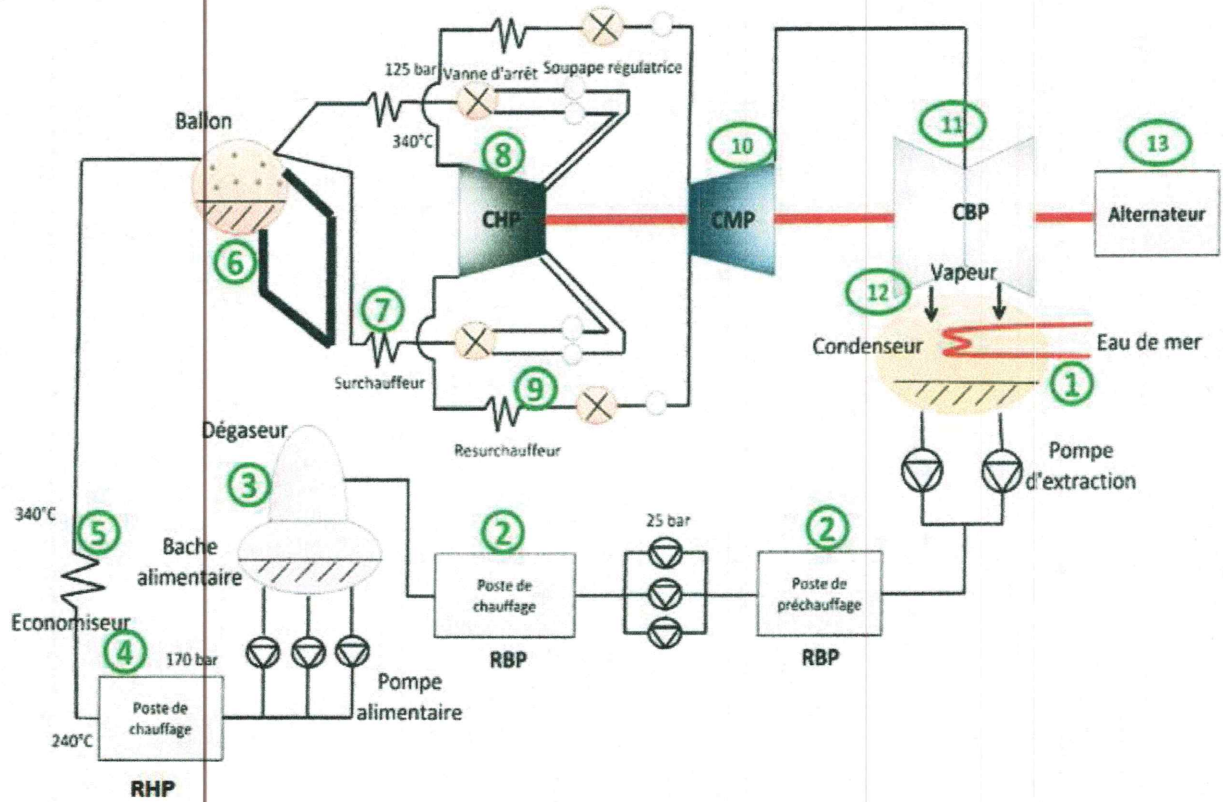


Fig.II.2 : Schéma bloc de la centrale thermique. [11]

**II.1.1- Caractéristiques Générales de l'unité**

**Caractéristiques des groupes :**

Nombre de groupe installés....	3GR
Puissance nominale unitaire bornes alternateur.....	210MW
Puissance nominal unitaire bornes usine.....	196MW
Puissance maximale unitaire continue bornes alternateur.....	215MW
Cos PHI nominal.....	0,85
Puissance nominal installer bornes usine.....	588MW
Puissance de transformation THT.....	750MW
Date de première couplage groupe 1.....	06\06\92
Date de première couplage groupe 2.....	01\06\93
Date de première couplage groupe 3.....	07\02\94
Combustible principal.....	Gaz
Combustible de secours.....	Fuel

Capacité de stockage fuel.....	40000 m <sup>3</sup>
Capacité de stockage eau déminéralisé.....	10000 m <sup>3</sup>
Capacité de stockage eau dessalée.....	10000 m <sup>3</sup>
<b>Caractéristique des auxiliaires principaux</b>	
<b>Caractéristiques des unités de dessalement</b>	
<b>Dessalement multi flash</b>	
Production nominale.....	4*500 m <sup>3</sup> /j
<b>Dessalement osmose inverse</b>	
Production nominale.....	2*250 m <sup>3</sup> /j
<b>Caractéristiques des unités de déminéralisation</b>	
Production nominale.....	2*60 m <sup>3</sup> /h
<b>Caractéristiques des unités de production d'hydrogène</b>	
Production nominale.....	2*30 m <sup>3</sup> /h
<b>Effectif organigramme</b>	
Effectif actuel.....	289
Cadre.....	69 16
Maitrise.....	169 17
Exécution.....	51

### II.1.2- Les organes principaux de la centrale

La centrale de Jijel est de type thermique, situé au bord de la mer, elle est constituée de trois groupes et d'auxiliaires communs. [11]

➤ **Les groupes** : un groupe est un ensemble d'équipements suivants :

- La chaudière (générateur de vapeur).
- La turbine (transmetteur de l'énergie thermique cinétique en énergie mécanique).
- L'alternateur (transmetteur de l'énergie mécanique en énergie électrique).
- Le transformateur.
- Le poste d'eau (qui forme le cycle thermodynamique).
- La salle de commande principale (ou salle de contrôle). [11]

➤ **Les auxiliaires** : sont les organes indispensables pour le bon fonctionnement d'une centrale :

- Station de pompage.
- Station de dessalement.

- Station de déminéralisation.
- Station d'électro-chloration.
- Station d'hydrogène.
- Chaudières auxiliaire.
- Station d'air comprimé.
- Station de stockage de fuel.
- Station diesel.
- Station de détente de gaz.
- Station de traitement d'huile.
- Dispositif de protection.
- Stock d'azote.

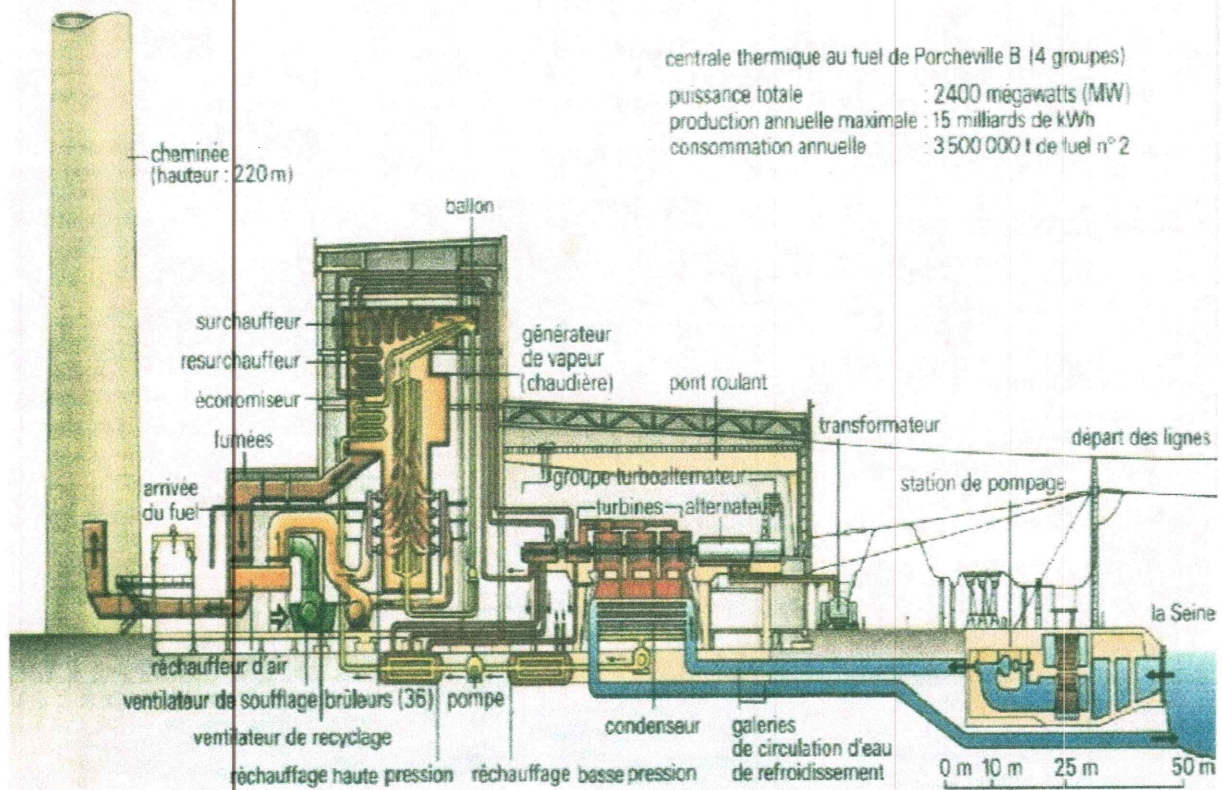


Fig.II.3 : Schéma précis de la centrale thermique. [11]

## II.2- Les auxiliaires de la centrale

### II.2.1- Station de pompage

La centrale de Jijel se provisionne de l'eau de mer sous forme brute ou transformée, En effet l'eau de mer traitée et filtrée au niveau de la station de pompage. Traitée par l'hypochlorite de sodium (produit par la station d'électro-chloration) et filtrée par des tambours rotatifs. [12]

Le circuit d'eau de circulation comprend respectivement suivant la circulation d'eau un dégrilleur, et un tambour filtrant rotatif à deux vitesses dont le rôle est de retenir les particules en suspension de l'eau de mer qui peuvent obstruer les tubes du condenseur et les filtres amont de chaque demi-condenseur. [12]

Le tambour filtrant comporte :

- Deux vannes papillons.
- Deux pompes de circulation pour chaque groupe d'une puissance de 1 MW et un débit de  $13700\text{m}^3/\text{s}$ , qui aspirent l'eau de mer pour la refouler au condenseur pour effectuer l'échange thermique (condensation de la vapeur sortant de la turbine). [12]

### II.2.2- Station de dessalement d'eau de mer

L'eau dessalée est produite par les quatre unités de dessalement multi-flash (MSF). Par mesure de sécurité, il faut isoler les bâches séparément, en réservant l'une pour le stockage et l'autre pour la consommation.

L'eau dessalée produite par les unités de dessalement présente une conductivité de l'ordre de 1 à 2  $\mu\text{s}/\text{cm}$  et une production nominale de 20  $\text{m}^3/\text{h}$  par unité soit 80  $\text{m}^3/\text{h}$  par les quatre unités.

La centrale de Jijel, dispose d'une autre installation de production d'eau dessalée à partir d'eau de mer : L'OSMOS INVERSE, qui est un procédé nouveau dans la centrale. L'installation dispose de deux unités de production dont chacun produit 10  $\text{m}^3/\text{h}$  soit 20  $\text{m}^3/\text{h}$  au total. Le seul inconvénient de ce procédé est la qualité d'eau produite pour cela on tolère une conductivité jusqu'à 18  $\mu\text{s}/\text{cm}$ . [11]

### II.2.3- Station d'électro chloration à injection d'hypochlorite

La station d'électro chloration est conçue pour la production d'une quantité prédéterminée de chlore actif nécessaire pour l'élimination de la faune et la flore marine qui se développent dans le système de refroidissement par l'eau de mer de la centrale, l'injection de chlore s'effectue en deux endroits différents :

- A la prise d'eau de mer de refroidissement (dit : dosage en continue).
- A l'amont des demi-condenseurs (dit : dosage à choc). [11]

### II.2.4- Station d'électrolyseur

L'hydrogène  $\text{H}_2$  est obtenu par décomposition de la molécule d'eau  $\text{H}_2\text{O}$  (eau déminéralisée) en hydrogène et oxygène, selon la réaction suivant :





### II.2.5- La chaudière auxiliaire

La chaudière auxiliaire est une installation importante de la centrale thermique de JIJEL qui s'intègre dans le fonctionnement correct, particulièrement lorsque les trois groupes se trouvent en même temps à l'arrêt. [11]

La mise en service d'un premier groupe nécessite un vide préalable dans le condenseur pour pouvoir ouvrir le by-pass et faire débiter la chaudière de la tranche. [11]

### II.2.6- Station d'air comprimé

Utilisé pour nettoyage des circuits de refroidissement et de commande, la couleur de ces circuits c'est vert. [11]

### II.2.7 Station de stockage fuel

En cas de manque de gaz (combustible principal), on utilise à sa place le fuel qui est stocké dans de géants réservoirs d'un volume global de  $40000 m^3$ .

Cela permet de faire fonctionner la centrale pour environ 10 jours d'absence de gaz.

Le remplissage de ces réservoirs s'effectue par un pompage du fuel à partir d'un bateau chargé avec du fuel dans le port à côté de la centrale. [11]

### II.2.8.- Station diesel production d'électricité

On a deux moteurs de secours par l'alimentation des dispositifs en cas de coupure de l'alimentation électrique. Ces deux moteurs sont équipés de deux compresseurs. [12]

### II.2.9- Station de détente de gaz

On dispose de deux niveaux de la détente, à savoir :

Le niveau 1 : 24 bar	—————>	6 bar
Le niveau 2 : 6 bar	—————>	1 bar

Il existe des vannes de changement entre les deux niveaux. [12]

### II.2.10- Poste de traitement d'huile

Pour le graissage des différentes parties de la turbine et d'autres dispositifs. [12]

### II.2.11- Les dispositifs de protection

Dans la centrale de Jijel, il y a des dispositifs contre la foudre paratonnerres placés particulièrement dans les sites délicats là où il y a le stock de l'hydrogène, le réserve du fuel et aussi vers le poste de la détente de gaz ainsi que la station d'huile. [11]

### II.2.12- Stock d'azote

On dispose d'un stock d'azote utilisé pour nettoyer tous les particules de gaz restantes dans les tuyaux pour éviter tout danger d'explosion (faire un nettoyage au niveau de la tuyauterie). [11]

## II.3- Les équipement technologique d'un groupe

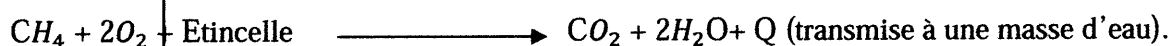
### II.3.1- La chaudière (générateur de vapeur)

Un générateur de vapeur ou chaudière est l'élément clef d'une centrale thermique, la flamme obtenue par la combustion du gaz naturelle ou fuel qui réchauffe l'eau circulant dans les tuyauteries. Le transfert de l'énergie de gaz de combustion vers l'eau se fait par rayonnement et par convection pour conditionner la vapeur. [11]

Il y a deux types de chaudières :

- 1) **Chaudière à pression** : elle est caractérisée par l'évacuation directe des fumées résultant de la combustion (car la pression à l'intérieure du foyer est supérieure à celle de l'atmosphère). [11]
- 2) **Chaudière à dépression** : dans ce cas vue l'infériorité de la pression du foyer par rapport à celle de l'atmosphère il est nécessaire d'installer des ventilateurs de tirage pour l'extraction des fumées (ce type offre une meilleur sécurité). [11]

La production de la vapeur est le résultat de la transformation de l'énergie primaire (gaz) énergie calorifique en énergie thermique, selon la relation suivante :



La chaudière de la central de Jijel est une chaudière à dépression (circulation forcée des fumées), elle est caractérisée par :

Débit nominal : 670 t/h.

Pression de service de la vapeur primaire à la sortie de la chaudière : 140 bars.

Température de la vapeur surchauffée : 540 °C.

Débit de la vapeur secondaire : 590 t/h.

Pression de la vapeur secondaire à l'entrée de la chaudière : 28 bars.

Température de la vapeur à resurchauffer : 335 °C.

Température de la vapeur resurchauffée : 540°C.

Température de l'eau d'alimentation : 240 °C. [11]

- **Constitution d'une Chaudière**

Il se compose essentiellement des éléments suivants :

#### II.3.1.a- La chambre de combustion

Dans laquelle le combustible (gaz ou fuel) est brûlé. C'est une chambre étanche formes prismatique de 20160 m<sup>3</sup>, blindée formée de tôles réfractaires soudées entre elles et de s\_ écran appelés aussi écran vaporisateur. C'est la zone la plus Chaude de la chaudière environ 1200°C. [12]

**II.3.1.b- Les bruleurs**

Ont pour but d'engendrer et d'entretenir la combustion du combustible dont ils assurent le mélange homogène avec l'air ambiant. La chambre de combustion porte au total douze \_\_\_ mixtes gaz/ fuel à tourbillonnements disposés en deux étages de six bruleurs chacun. Chaque bruleur est constitué de :

- une boîte d'air de combustion divisée en deux canaux le canal intérieur pour l'air principal et le canal extérieur pour l'air périphérique.
- Un collecteur de gaz avec deux lignes pour le gaz d'allumage et le gaz principal.
- Une troche.
- Un tube pour installer la buse d'injection de fuel. [11]

**II.3.1.c- Ventilateur de soufflage**

Il envoie dans la chambre de combustion l'air nécessaire à la combustion de combustible il aspire l'air ambiant pour le refouler à travers le réchauffeur d'air ou il se chauffe en utilisant la chaleur des gaz de la combustion, C'est un chauffe thermique dont but est de :

- Récupérer une partie de la chaleur encore contenue dans les gaz de combustion.
- Elever la température de l'air comburant pour améliorer la combustion.

De plus, dans les générateurs à vapeur, brûle du charbon pulvérisé, l'air chaud est utilisé pour faire sécher le charbon. [11]

**II.3.1.d- Ventilateur de tirage**

Le tirage naturel de la cheminée n'étant pas toujours suffisant pour assurer la circulation des gaz depuis le foyer. Les ventilateurs de tirage, aspire les gaz de combustion à la sortie du générateur pour les refouler vers la cheminée. [11]

**II.3.1.e- Ventilateur de recyclage**

Il aspire les fumées à la sortie de la chaudière, les refouler dans celle-ci en face des bruleurs, Cela permet :

- augmenter le rendement de la chaudière.
- Protéger les tubes écrans frontaux des flammes bruleurs. [11]

**II.3.1.f- Réchauffeur d'air rotatif**

C'est un échangeur de chaleur dont le but est de récupérer une partie de la chaleur encore contenue dans les gaz de combustion et élever la température de l'air comburant pour améliorer la combustion. [11]

**II.3.1.g - Le ballon (réservoir)**

C'est un réservoir cylindrique horizontal placé à la partie haute de la chaudière. Il a deux rouleaux d'appuis qui lui Assurant un libre allongement lors de l'échauffement (de travail), il est muni de six colonnes d'alimentations des écrans de la chaudière (lieu d'évaporation d'eau), à l'intérieur du ballon on trouve 84 cyclones (les cyclones Assurent la séparation de la vapeur de l'eau du mélange résultat de l'évaporation : sécheur de vapeur par mouvement centrifuge). La partie supérieure du ballon contient de la vapeur (léger) et la partie inférieure contient de l'eau. [11]

Accessories du reservoir:

- **Séparateurs et sécheurs** : l'émulsion "eau-vapeur" contient de 20 à 40 % d'eau à son arrivé au réservoir, elle est collectée puis elle passe à travers des séparateurs dont le rôle est d'assurer la séparation de l'eau et de la vapeur. L'eau captée retourne dans le ballon, la vapeur passé à travers les sécheurs qui ont pour but d'éliminer les particules d'eau qui non pas encore évacué. A la sortie des sécheurs, la vapeur est envoyée vers la turbine à travers une surchauffeur.

- **Soupapes de sureté** : chaque générateur de vapeur doit être pourvu de soupape de sureté tarée de façon à laisser la vapeur s'échapper dès que la pression effective de réservoir atteint la valeur indiquée par le timbre réglementaire.

- **Indicateur de niveau** : Le réservoir doit être équipé d'un indicateur de niveau qui nous permet de voir le niveau réel du réservoir.

**II.3.1.h- l'économiseur** : C'est un échangeur de chaleur dont le but est de récupérer une partie de la chaleur contenue dans le gaz de combustion pour élever d'avantage la température de l'eau – tentation avant d'être envoyé vers le ballon chaudière. [11]

**II.3.1.i- La surchauffeur** : C'est un échangeur thermique dont le but est de récupérer une partie de la chaleur contenue dans les gaz de combustion et d'élever la température de la vapeur venant du réservoir à pression constant, La vapeur surchauffée est envoyée vers le CHP. [11]

**II.3.1.j- Le resurchauffeur** : le resurchauffeur reçoit la vapeur qui s'est détendue dans le corps HP de la turbine. La température de la vapeur augmente pendant sa circulation dans le resurchauffeur pour rendre à sa sortie une température voisine ou égale à la température de la vapeur chauffée.



La vapeur resurchauffée est envoyée ensuite à travers les corps MP et BP de la turbine ou elle se condense. [11]

**II.3.1.k- La cheminée :** C'est l'échappement des gaz de fumée à hauteur de 80 m. cette hauteur à fin d'éviter le rabattement des gaz de combustion et savoir une grande dispersion dans l'atmosphère. Le sommet des cheminées est protégé contre l'action des gaz et des agents atmosphériques par un couronnement en fonte ou en cuivre rouge. [11]

### II.3.2- Le poste d'eau

C'est l'ensemble des équipements placés entre l'échappement basse pression de la turbine et l'entrée de générateur de vapeur (économiseur). [11]

**II.3.2.1- le condenseur :** c'est un échangeur de chaleur traversé par l'eau de mer qui représente la source froide du cycle thermodynamique conditionné par le vide dans l'enceinte où se condense la vapeur provenant de l'échappement du corps BP. [11]

**II.3.2.2- Pompe d'extraction :** les pompes d'extraction 1<sup>er</sup> et 2<sup>ème</sup> étages, l'eau condensée vers la bache alimentaire en passant par le poste de purification turbine et les réchauffeurs basse pression, l'éjecteur, le condenseur de buées à éjecteur et le condenseur de buées sans éjecteur. [11]

### II.3.2.3- dégazeur :

- Assurant un dégazage physique de l'eau d'extraction (extrait les gaz dissout par pulvérisation pour empêcher toute oxydation ou corrosion).
- Assurant une protection pour les installations du poste d'eau et la chaudière contre les corrosions. [11]

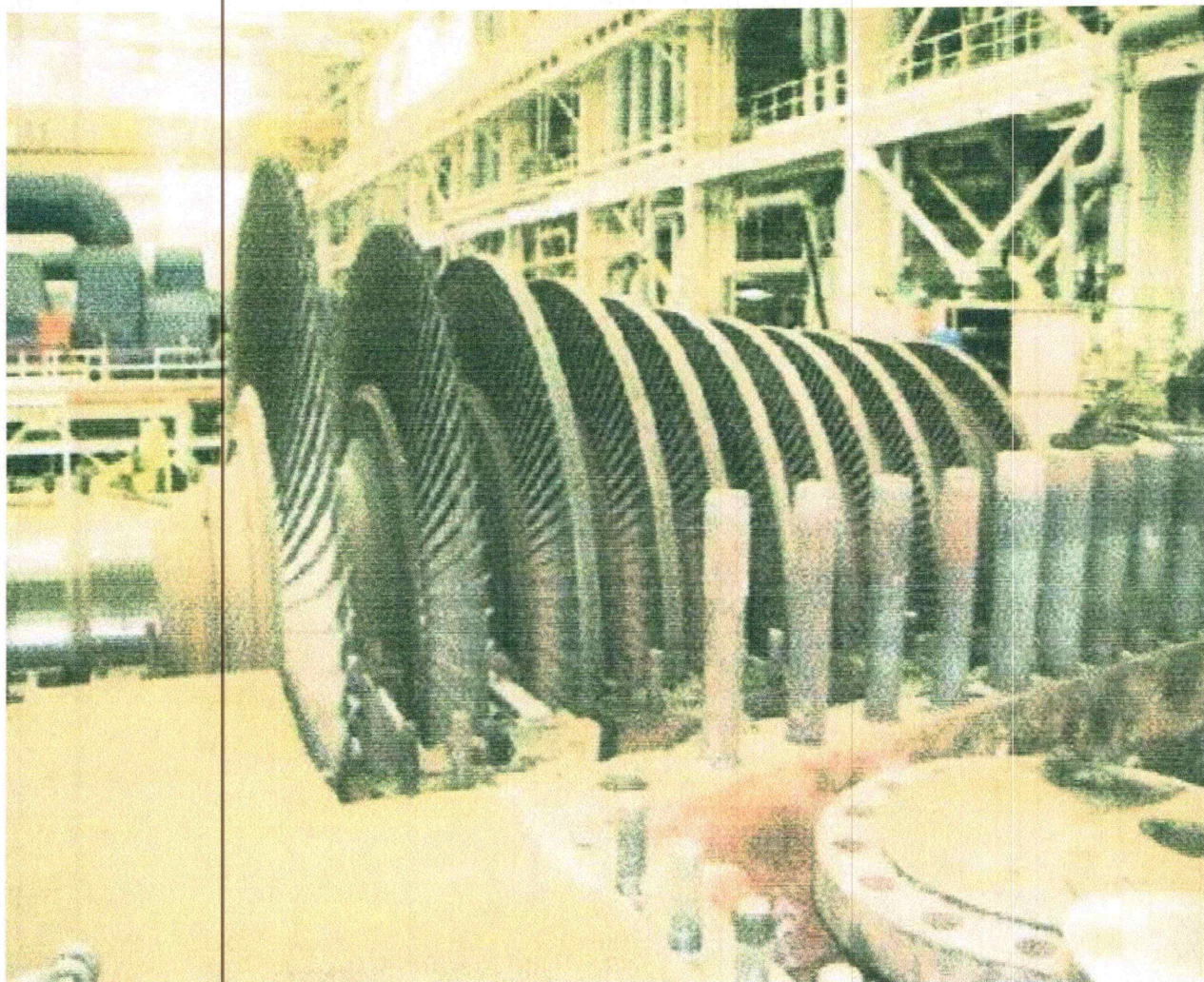
**II.3.2.4- les pompes d'alimentation :** Elles assurent l'alimentation du ballon de la chaudière avec de l'eau dégazé via les réchauffeurs à haute pression. Elles sont en nombre de trois.

**II.3.2.5- les réchauffeurs à haute et basse pression :** Sont des échangeurs de chaleur utilisant la vapeur de soutirage de corps HP et MP/BP pour chauffer l'eau d'alimentation du ballon chaudière et augmenter le rendement du cycle. [11]

### II.3.3- La turbine

La turbine est un moteur thermique à combustion externe, fonctionnant selon le cycle thermodynamique dit de Clausius Rankine.

Ce cycle se distingue par le chargement d'état affectant le fluide moteur qui est en général de la vapeur d'eau. [11]



*Fig.II.4 : Schéma de turbine*

**II.3.4- l'alternateur** : est une machine rotative qui convertit l'énergie mécanique fournie au rotor en énergie électrique à courant alternatif.

**II.3.5- le transformateur** : un transformateur de puissance est un composant électrique haut-tension essentiel dans l'exploitation des réseaux électriques. Sa définition selon la commission électrotechnique internationale est la suivante « appareil statique à deux enroulements ou plus qui, par induction électromagnétique, transforme un système de tension et courant alternatif en un autre système de tension et courant des valeurs généralement différents, à la même fréquence, dans le but de transmettre de la puissance électrique ». Sa principale utilité est de réduire les pertes dans les réseaux électriques. Il peut être monophasé ou triphasé et recevoir divers couplage étoile, triangle et zig-zig.

## II.4- Principe de fonctionnement du central

La centrale thermique à vapeur, comme son nom l'indique, utilise la vapeur d'eau comme élément moteur de la turbine, ainsi on aura besoin de très grandes quantités d'eau, d'où la nécessité de construire ce type de centrales au bord de la mer.

- 1) En premier temps la chaudière auxiliaire assure le vide (50 mbar) dans le condensateur facilitant la condensation et l'obtention d'une eau déminée.
- 2) Des pompes d'extraction refoulent cette eau vers le réchauffeur basse pression (RBP) qui chauffe l'eau à partir de la vapeur de soutirage du corps basse pression (CBP).
- 3) L'eau parvient ensuite dans le dégazeur pour éliminer les gaz  $O_2$  qui peut y être dissoute dans l'eau, puis à la bêche alimentaire.
- 4) L'eau refoulée vers les (réchauffeur haute pression (RHP) : échangeurs thermiques chauffés par la vapeur de soutirage du CHP) grâce aux pompes d'alimentation. Les RBP et RHP servent à économiser du combustible dans la chaudière, et à gagner du temps pour vaporiser l'eau.
- 5) Après l'eau circule à travers l'économiseur, qui joue un double rôle, c'est un échangeur de chaleur, il chauffe l'eau d'avantage et refroidissent les fumées, issues de la combustion à envoyer dans l'atmosphère.
- 6) A ce stade l'eau est à environ de  $330^{\circ}C$ , elle entre dans le ballon chaudière pour le remplir à un certain niveau, sous une pression de 125 bars, et à partir duquel sortent plusieurs colonnes (grosse tuyauterie) qui amènent l'eau dans les tubes-écrans dans le foyer chaudière, où la température est à  $1200^{\circ}C$ , c'est ici que se passe l'évaporation d'eau.
- 7) La vapeur ainsi produite passera par les surchauffeurs pour être séchée et chauffée avant d'aller vers la turbine CHP.
- 8) La vapeur est progressivement détendue dans la turbine (CHP) et passe à travers une série de roues équipées d'ailettes, ce qui entraîne la rotation de la turbine (3000 tr/min).
- 9) La vapeur n'a pas transmis toute son énergie thermique dans le CHP, donc elle est renvoyée vers la chaudière pour y être resurchauffée.
- 10) Après le resurchauffé la vapeur passe ensuite au CMP.
- 11) Ensuite elle est ramenée au CBP, au fur et à mesure de la détente, la pression de la vapeur diminue. Pour récupérer le maximum d'énergie mécanique, les ailettes des trois corps de la turbine (CHP, CMP et CBP) ont une taille inversement proportionnelle à la pression (c.-à-d. plus la pression diminue, plus leurs tailles augmentent).



- 12) A la fin de la détente, la vapeur s'échappe avec une pression de 50 mbar conduite vers le condenseur ou elle sera condensée et le cycle recommence.
- 13) La vapeur fait tourner une turbine qui entraîne à son tour un alternateur. Grâce à l'énergie fournie par la turbine, l'alternateur produit un courant électrique alternatif.
- 14) Un transformateur élève la tension du courant électrique produit par l'alternateur (15,75 KV au 220 KV) pour qu'elle puisse être plus facilement transportée dans les lignes à très haute et haute tension.

L'eau utilisée pour le refroidissement est restituée à son milieu naturel ou renvoyée dans le condenseur.

Les fumées de combustion sont dépoussiérées grâce à des filtres et sont évacuées par des cheminées.

### **Conclusion**

Ce chapitre a été consacré aux descriptions des différents organes principale et leurs caractéristiques de la centrale thermique de Jijel, notre stage a la centrale est fixé nos idées théoriques et pratique qui nous permettent de développer les informations sur notre domaine et surtout dans notre projet.

*Chapitre III*  
**Description de la turbine à vapeur**



## INTRODUCTION

On appelle turbomachine, toute machine dans laquelle un fluide échange de l'énergie avec une ou plusieurs roues (rotor) munies d'aubes (ailettes) et tournant autour d'un axe, Ces aubes ménagent entre elles des canaux par lesquels le fluide s'écoule. Les aubes sont des obstacles profilés, plongés dans l'écoulement.

Notre travail consiste à appliquer la technique de l'analyse vibratoire sur une turbine à vapeur.

Dans ce chapitre nous avons étudié les principales caractéristiques, composantes, et les différents défauts survenus dans la turbine à vapeur.

### III.1- La turbine à vapeur à plusieurs corps

Composée généralement de 3 corps haute, moyen et basse pression : La vapeur venant de la chaudière attaque la turbine par le corps haut pression CHP ou elle subit une détente, les paramètres de vapeurs sont réduits, reconditionné de nouveau dans la chaudière et transmet vers le corps moyenne pression CMP de la turbine ensuite vers le corps basse pression CBP. [13]

#### III.1.1- Le corps haut pression CHP

Il permet la 1<sup>ère</sup> détente de la vapeur (caractéristiques de la vapeur), la pression et la température à la sortie sont donc plus basses qu'à l'entrée, pour éviter une condensation de la vapeur on l'a fait passer dans les resurchauffeurs (pour limité la création des gouttelettes d'eau et pour augmenter le rendement) Il contient des soutirages de vapeur pour alimenter les réchauffeurs haut pression RHP. [13]

#### III.1.2- Le corps moyenne pression CMP

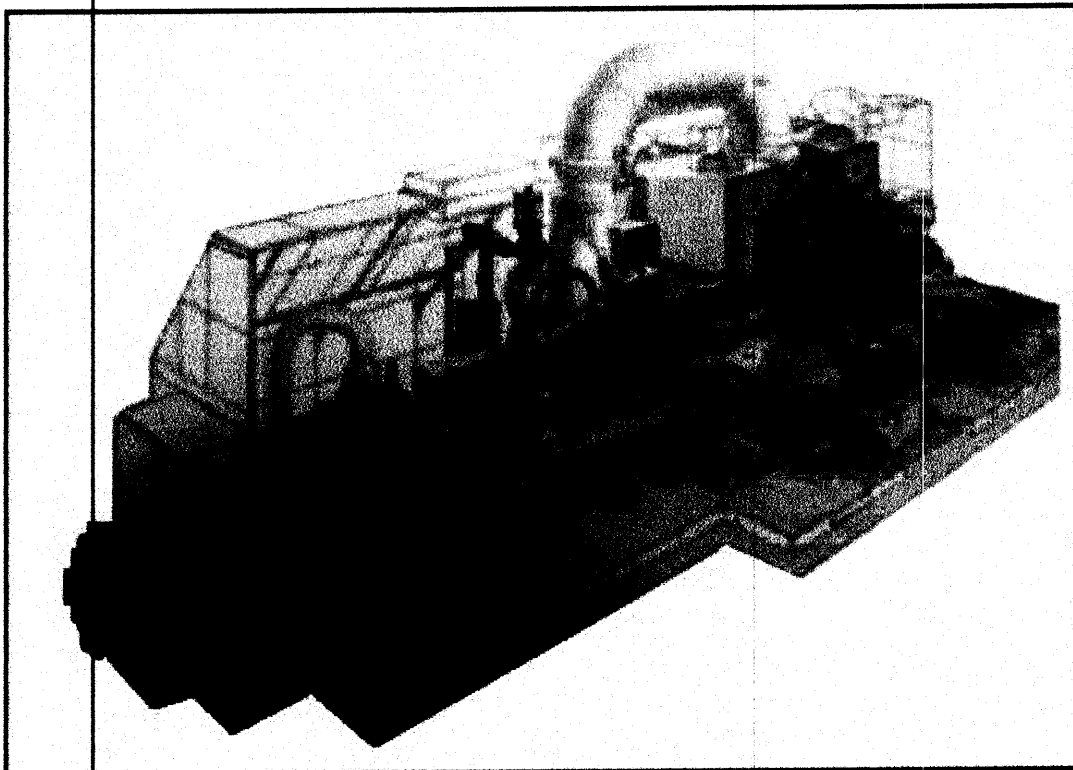
Il est plus grand que le corps HP pour permettre la vapeur de ce détendre d'avantage Il contient des soutirages de vapeur pour alimenter les réchauffeurs bas pression CBP.

#### III.1.3- Le corps bas pression CBP

Constitue de deux carter qui transforme le reste d'énergie thermique disponible dans la turbine, à la sortie de cette partie placer un condenseur.

	Corps HP		Corps MP		Corps BP	
	Entrée	Sortie	Entrée	Sortie	Entrée	Sortie
Pression (bars)	127,5	26,7	23,4	1,25	1,25	0.0527
Température (°C)	540	329	540	174	174	40

Tableau III.1 Caractéristiques pour la pleine charge



*Fig. III.1 : Turbine à condensation de 210 MW à 3000 tr/mn en 3 corps. [13]*

La turbine de la centrale thermique de JIJEL, type (K-215-130-2), est en acier fortement allié (Cr- Mb-Va) pour résister aux contraintes thermiques, mécaniques et chimiques, elle est conçue avec sept(07) soutirages non réglable.

Elle est équipée d'un vireur placé sur le couvercle des paliers à la partie arrière du corps BP, qui assure la rotation des rotors de 3000 tr /mn pour un chauffage uniforme lors du démarrage et un refroidissement progressive à l'arrêt de la turbine. Il peut fonctionner en régime de rotation automatique des rotors de 180° toute les quinze (15) minutes. [13]

### **III.2- Description des différent corps de la turbine**

#### **III.2.1- Corps haute pression (CHP)**

Dés quand atteint 127 bar au ballon chaudière on attaque le corps HP de la turbine avec une température de 540 °C par une vapeur sèche.

Le corps haute pression est équipé de deux (02) vannes d'arrêts, de quatre (04) soupapes régulatrices et une ligne liant le CHP avec le condenseur est prévue lors des régimes perturbés (démarrage-ilotage, ilotage, marche à vide) à fin d'éviter un échauffement du CHP par ventilation sur la sortie du CHP se trouve sur chaque ligne un clapette anti-retour.

### III.2.1.a- Rotor corps haute pression

Est un mono bloc de forgeage en acier au chrome molybdène, le disque des roues à aube le demis accouplement coté MP sont solidaires par forgeage de l'arbre, il est constitué de douze étages dont la plus grande détente s'effectue au premier étage de réglage.

Le corps HP prend appuis par ces pattes sur les corps des paliers avant et médian et s'y immobilise par clavette transversale et longitudinale.

### III.2.1.b- Stator corps haute pression

Le CHP est en acier (Cr-Mb-Va), il a une seule paroi avec boîte à tuyère. Les soupapes de réglage CHP sont montées sur le corps du cylindre.

### III.2.2- Le corps moyen pression (CMP)

A la sortie du corps HP est de 26.7 bar et la température de 330°C, cette vapeur est resurchauffée à pression constant à l'aide des resurchauffeurs jusqu'à une température de 545°C, elle attaque le corps MP.

Le corps MP est équipé de deux vannes d'interception et de quatre soupapes modératrices.

Le corps MP s'appuie sur le corps du palier médian et l'élément d'échappement avant corps BP, leur positionnement est fixé par clavettes verticales et transversales.

### III.2.2.a- Rotor corps moyen pression

Le rotor du corps MP est entièrement forgé en acier (Cr-Mb), il possède quatre disques emmanchés, et sept disques faisant une seule pièce de forgeage avec l'arbre. Les aubes des roues des sept premiers étages du rotor sont dotées de bondage en ruban, les autres de couplage en fil.

### III.2.2.b- Stator corps moyen pression

Le corps MP a une partie avant coulée d'acier (Cr-M-b-Va) et une partie d'échappement soudée en tôle d'acier au carbone, les soupapes de réglages corps MP sont placées sur la partie avant les segments à tuyères du premier étage sont installées directement dans un alésage du corps dont la configuration géométrique forme une chambre circulaire de tuyère.

### III.2.3- Le corps basse pression

La vapeur sortante du corps MP est acheminée pour attaquer le corps BP à une température de 173°C et une pression de 1,28 bar environ.

Le corps BP est lié directement au corps MP par deux tuyauteries de liaison.

Le corps BP est à double flux est présente au niveau du troisième étage la particularité d'un étage dit de <<BAUMANN>>.



Les paliers avant et médian et le corps BP prennent appuis sur les bâtis de fondation. Le point fixe de la turbine se situe sur les bâtis de fondation médiane de la partie avant du corps BP de façon que sa dilatation se produit jusqu'à 32 mm vers le paliers avant et 3 mm vers l'alternateur.

#### **III.2.3.a- Rotor corps basse pression**

Le rotor du corps basse pression est constitué d'éléments assemblés des disques des roues de service, les douilles d'étanchéité et les demi-accouplements sont emmanchés avec contrainte sur l'arbre d'acier (Cr-Mb).

L'aubage n'a pas de bondage en ruban périphérique, pour rendre plus faible l'appareil à aubes du point de vue vibration, on utilise des fils de liaison, il est constitué de deux fois quatre étages.

#### **III.2.3.b- Stator corps basse pression**

Il comporte trois éléments moyens et deux échappements symétriques. A la partie médiane sont montées de frette ou sont raccordées des diaphragmes coulés des trois premier étages. Les éléments d'échappement sont soudés d'acier au carbone, ils renferment les diaphragmes des derniers étages.

Sur le couvercle du corps BP sont installées des soupapes de protection (membranes) qui s'ouvre à une pression de 1,2 bar.

La particularité spécifique du corps BP consiste à la présence d'un étage dit étage de « BOUMANN » (troisième étage) représentant un étage à deux niveau, à partir du niveau supérieur, la vapeur s'achemine vers le condenseur, et à partir du niveau inférieur vers le quatrième et le dernier étage.

- Les rotors des corps HP et MP sont reliés par un accouplement rigide.
- Les corps MP et BP sont reliés par un accouplement semi-rigide.
- Le corps BP et le rotor de l'alternateur sont reliés par un accouplement rigide.



La turbine de la centrale de JIJEL est calculée pour fonctionner avec les paramètres décrits dans ce tableau :

Dénomination de paramètres :	Grandeur de paramètres :
Puissance nominale MW	210
Pression absolue de vapeur vive en amont des vannes d'arrêt, bars	127,5
Pression absolue de vapeur resurchauffée en amont des vannes d'interception à la puissance nominale, bars	23,4
Pression de vapeur absolue à la sortie du corps haute pression à la puissance nominale, bars	26,7
Température de vapeur absolue à la sortie du corps HP charge nominale, C°	329
Débit d'eau de refroidissement à travers les condenseurs, m <sup>3</sup> /h	27500
Pression absolue aux condenseurs à la température d'eau de refroidissement de 20°C, bars	0,051
Débit de vapeur de la turbine, t/h	670
Température d'eau alimentaire à la sortie du RHP N°7 charge nominale, C°	243
Nombre de corps	3
Type de distribution de vapeur	Par tuyères
Nombre de soupapes de réglage du corps haut pression(CHP)	4
Nombre de soupapes modératrices du corps moyen pression (CMP)	4
Nombre de vannes d'arrêt du corps CHP	2
Nombre de vannes d'interception du CMP	2
Température de vapeur vive et resurchauffée, °C	540
Nombre d'étage de service :	
-au CHP	12
-au CMP	11
-au CBP	2*4=8
Nombre de soutirages non réglables	7
Température d'huile sortie turbine, °C	65
Vitesse de rotation, tr/mn	3000
La vitesse critique de rotation turbine, tr/mn	1429-1862 1970-2487
Valeur des dilatations relatives rotor/stator de la turbine :	
-CHP	+4mm ; 1.2mm
-CMP	+3mm ; -2.5mm
-CBP	+4.5mm ; -2.5mm
Les survitesses turbine %	11 ; 12
Pression d'huile de graissage, bar	0.69
Capacité du réservoir d'huile, m <sup>3</sup>	32
Vitesse du vireur, tr/mn	3.4
Température d'huile admissible entrée turbine, °C	-40 ; -50
Pression huile de régulation, bars	20

**Tableau III.2** caractéristique de groupe



La turbine contient une série d'aubes disposées autour d'une roue solidaire de l'arbre. La vapeur délivrée par ces aubes crée ainsi un couple mécanique puissant. Les aubes sont faites d'un acier particulièrement dur pour résister à la haute température et aux forces centrifuges intenses.

On appelle grille d'aubes, un ensemble fixe ou mobile d'obstacles, déduits les uns des autres par un déplacement géométrique périodique, utilisé pour guider l'écoulement du fluide et pour échanger avec lui des efforts mécaniques.

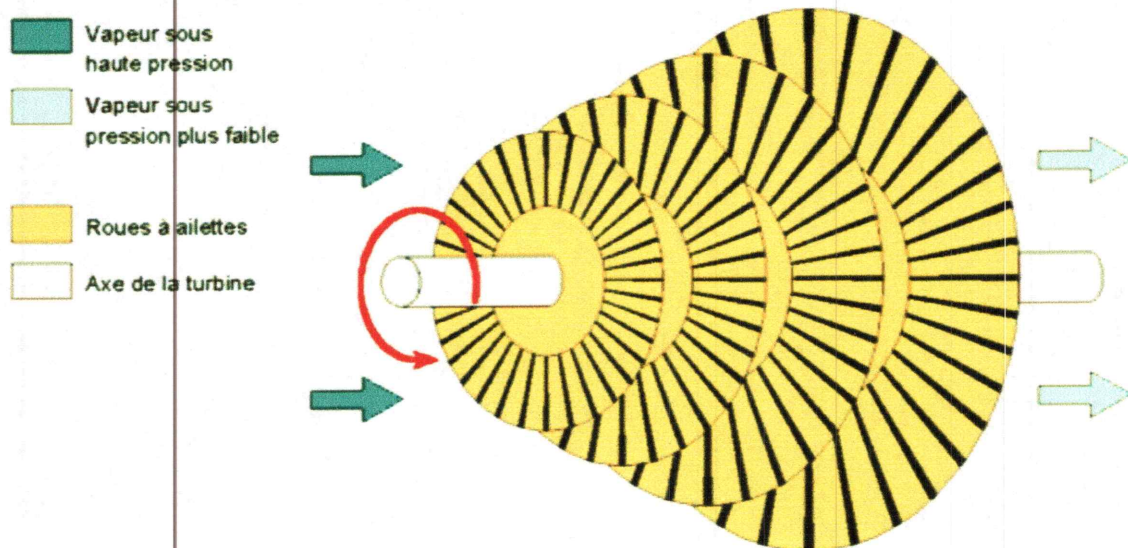


Fig. III.2 : Turbomachine motrice. [13]

### III.3- Préparation de la turbine au démarrage

#### III.3.1- Cause de démarrage

- Démarrage après le montage
- Démarrage après révision générale
- démarrage après une panne (accident)

#### III.3.2- Les principales étapes de démarrage

- Assurer que tous les équipements de la turbine (turbo-alternateur) sont en état de service.
- Assurer l'écoulement d'huile de tous les paliers.
- Vérifier que tous les appareils de contrôles et de mesures est en état de service.
- Contrôler l'état de toute robinetterie.
- Contrôler tous les tuyauteries.
- Contrôler l'installation des capteurs de vibrations et d'huiles et de la température ...etc.
- Assurer que la réception de l'opérateur électricien signalant que la partie électrique des éléments de protection automatique et de signalisation est vérifié.

### III.3.3- Les types de démarrage

Il ya deux types de démarrage, démarrage à froid et démarrage à chaud :

#### III.3.3.a- Démarrage à froid

La turbine est considérée en état froid, lorsque la température du métal dans la moitié inférieure du Corps Haut Pression (CHP) dans la zone d'entrée de vapeur est égale ou inférieure à 150 °C.

L'élévation de la pression et de la température de vapeur directe et de vapeur à l'issu de la surchauffe intermédiaire, l'accroissement de la vitesse de rotation sont à réaliser. [14]

Conformément au diagramme de démarrage de la turbine à froid (*Figure III.3*).

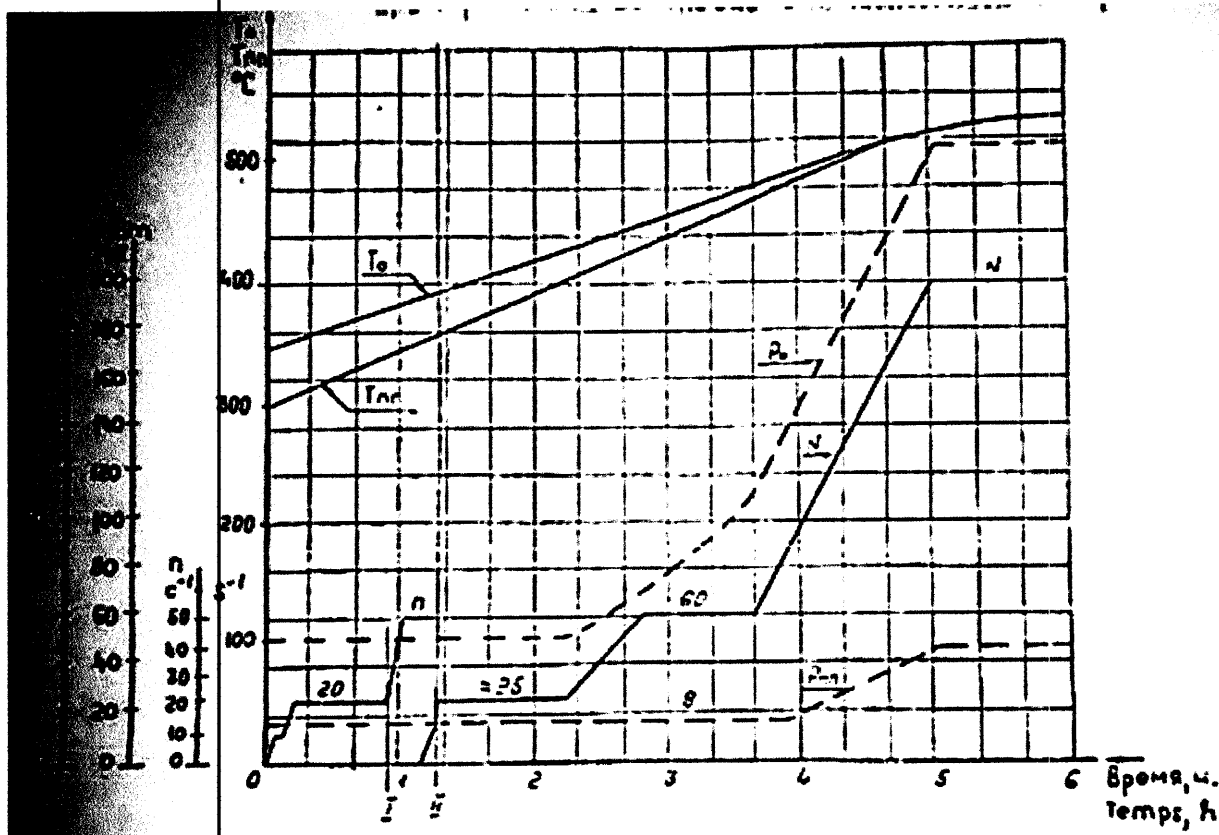


Fig. III.3 : Abaque de démarrage de la turbine à froid. [14]

#### III.3.3.b- Démarrage de la turbine à chaud

On entend sous l'état chaud (non refroidi) de la turbine, lorsque la température du métal à la moitié inférieure du corps Haut Pression (CHP) dans la zone d'entrée de vapeur est au-dessus de 150 °C. [14]

Les diagrammes de démarrage de la turbine à partir de ses états thermiques les plus typiques son représenter dans les figures (Fig. III.4, Fig. III.5, et Fig. III.6).

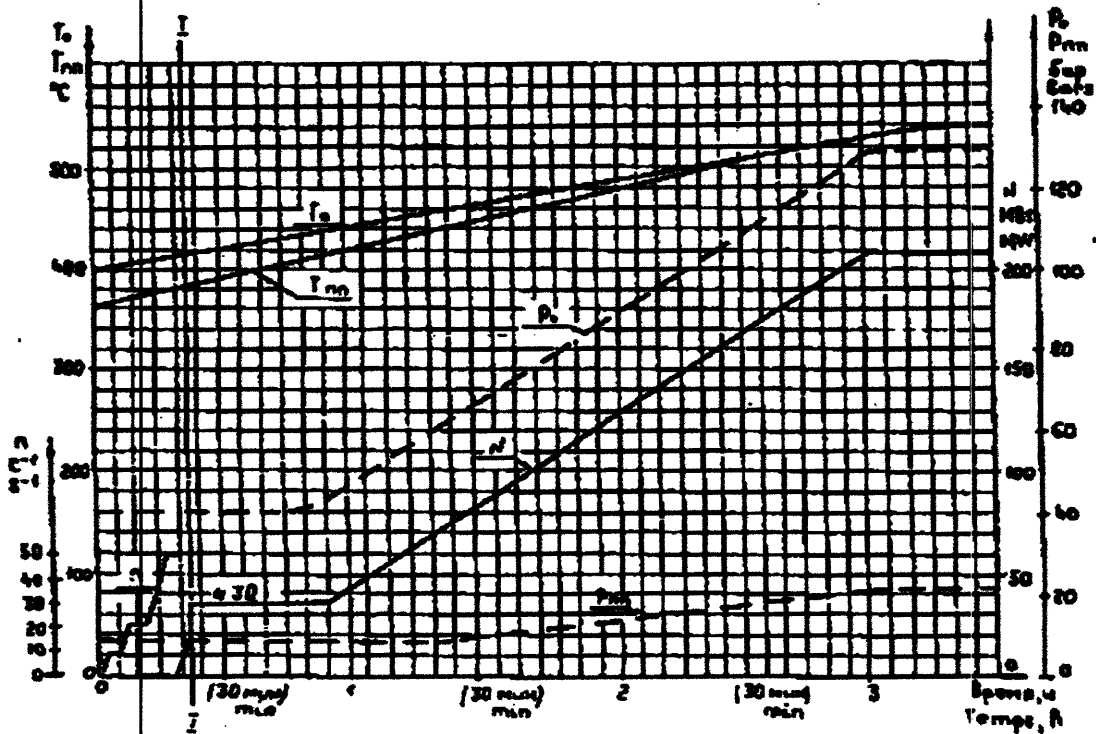


Fig. III.4 : abaque de démarrage de la turbine à chaud (CHP = 300°C - CMP = 270°C). [14]

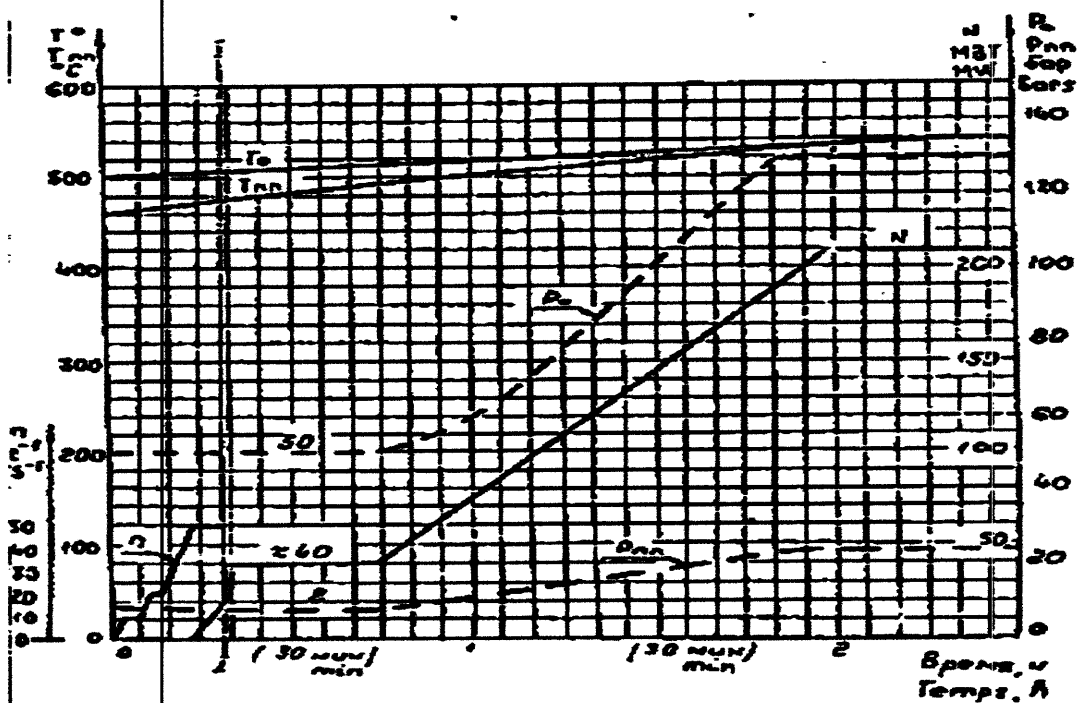


Fig. III.5 : abaque de démarrage de la turbine à chaud (CHP = 400°C - CMP = 360°C). [14]

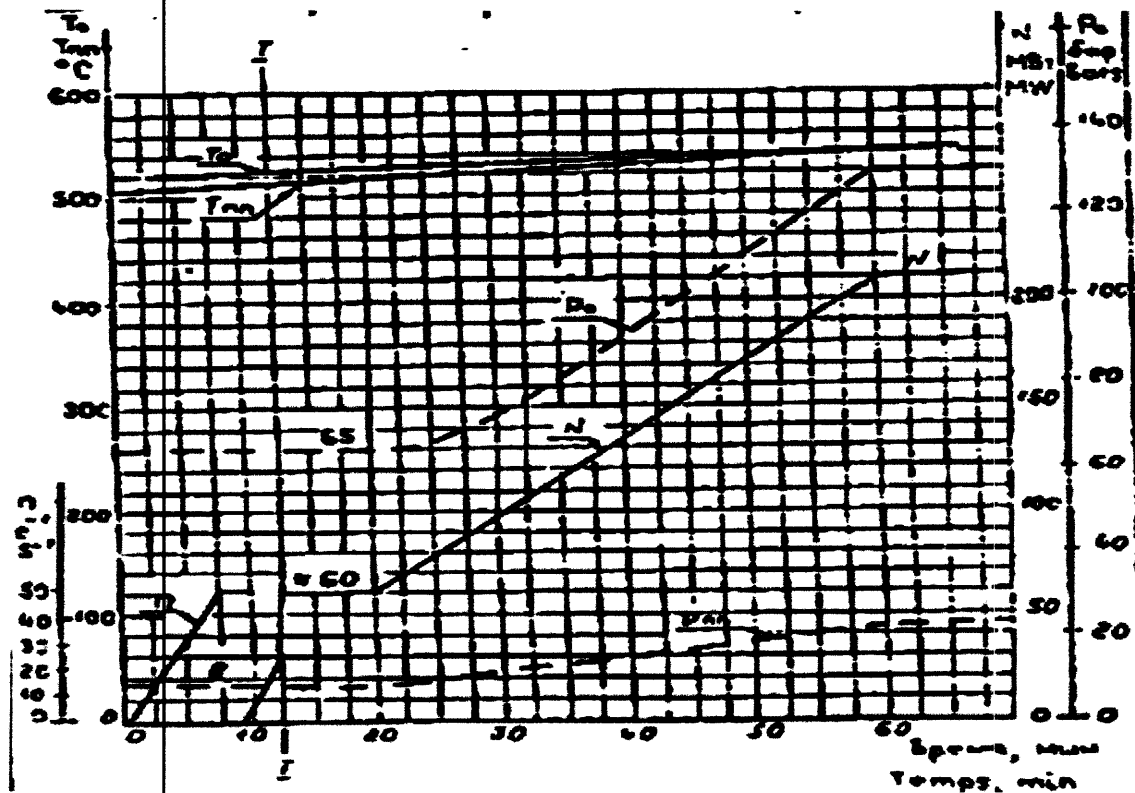


Fig. III.6 : abaque de démarrage de la turbine à chaud ( $CHP = 450^{\circ}\text{C} - CMP = 470^{\circ}\text{C}$ ). [14]

**Les symboles :**

I : Fermeture des by-pass des clapets antiretour.

II : Raccordement du corps HP.

$P_{nn}$  : Pression de vapeur absolue en amont de la fermeture VMP, bar ( $\text{kg.f/cm}^2$ ).

N : la puissance de la turbine, MW.

n : Fréquence, Hz ( $\text{s}^{-1}$ ).

$P_0$  : Pression de vapeur absolue en amont de la fermeture automatique haute pression VHP, bar ( $\text{kg.f/cm}^2$ ).

$T_{nn}$  : Température de vapeur en amont de la fermeture automatique haute pression VHP,  $^{\circ}\text{C}$ .

$T_0$  : Température de vapeur en amont du VHP,  $^{\circ}\text{C}$ .

VMP : Vanne automatique moyenne pression.

VHP : Vanne automatique haute pression.

**III.3.4- Les défauts de la turbine**

<b>Pannes, manifestation et signes extérieures</b>	<b>causes</b>	<b>remèdes</b>
Insensibilité élevée du système de régulation, petit sauts de charge sur tous les plages de charge	Impuretés mécanique dans l'huile	Faire l'analyse d'huile Purifier ou remplacer l'huile
Accroissement permanent de la couche d'eau dans le réservoir du système de graissage	Fuite de refroidisseur d'huile Pression d'eau réfrigérante dans le refroidisseur supérieur à la pression d'huile Etuvage fréquent aux faces de joints d'extrémité	Eliminer la fuite Régler la pression d'eau réfrigérante dans les refroidisseurs d'huile par une modification du circuit d'amenée d'eau réfrigérante Eliminer l'étuvage des joints
Baisse permanent du niveau d'huile dans le réservoir du système de graissage	Fuite des refroidisseurs d'huile Fuite du système de graissage Encrassement des crépines du réservoir d'huile	Visité les refroidisseur d'huile Eliminer les fuites Nettoyer les crépines du réservoir d'huile
Chauffe rapide de régule d'un des paliers Diminution du courant d'huile à la vidange du palier Apparition de la fumée Chauffe d l'huile à la vidange du palier	Objet étrangers (déchets de tissu, de matériel de garniture... etc.) Dans la conduite d'huile Obturation du canal d'huile	Visite le palier et vérifier la propreté de la conduite d'huile
Vibration des paliers et cylindres au démarrage Refroidissement rapide de la moitié inférieure des cylindres Forte différents de température du métal « Haut-Bass » Gauchissement élevé des RT	Ejection de l'eau à la partie de circulation de la turbine Bas paramètre de vapeur Les conduits de vapeur ne sont pas chauffés	Arrêter d'urgence la turbine et passer la rotation des RT moyennant le vireur jusqu'au redressement complet redémarrer à la présente notice
Forte vibration subite accompagnée de cognements métallique nettement perceptible dans la turbine	Dégât dans la partie de circulation de la turbine	Arrêter la turbine et décrocher le vide Visiter le cylindre (organe) respectif
Elévation de la pression dans la chambre de la roue de réglage et les compartiments des étages	Dépôts de sel dans la partie de circulation	Rincer la partie de circulation à fin d'éliminer les dépôts de sel

*Tableau III.3 : défauts de la turbine. [14]*



### III.3.5- Les défauts de la turbine liés aux vibrations

Les vibrations excessives doivent être évitées et rapidement supprimées lorsqu'elles sont détectées parce qu'elles ont pour effet d'accélérer l'usure de l'équipement, qu'elles causent des dommages et qu'elles peuvent provoquer une défaillance et parfois même un accident catastrophique. [15]

On peut citer les principaux défauts et leurs fréquences correspondent dans le tableau.

Anomalie	Vibration		Remarque
	Fréquence	Direction	
Tourbillon d'huile	De 0.42 a 0.48 FR	Radial	Uniquement sur palier lisse hydrodynamique à grande vitesse
Balourd	1 *FR	Radial	Intensité proportionnelle à la vitesse de rotation. déphasage de 90 ° sur deux Mesures orthogonales
Défaut de fixation	1, 2, 3, 4*FR	Radial	Aucun déphasage sur deux mesures orthogonales
Défaut d'alignement	2* FR	Axiale et Radial	Vibration axial plus importante Si le défaut d'alignement comporte un écart angulaire
Détérioration de roulement	Haute fréquence	Axiale et Radial	Ondes de chocs dues aux écaillages

Tableau III.4 : Défauts et fréquences correspondants. [15]

#### III.3.5.1- Déséquilibre massique des rotors. Balourds

Le balourd est la principale cause des problèmes de vibrations. Il s'agit d'un déséquilibre qui se produit lorsque l'axe des centres de gravité du rotor ne coïncide pas avec l'axe de rotation. L'axe des centres de gravité est défini comme une ligne joignant les centres de gravité de tranches minces fictives dont l'alignement formerait le rotor. La figure illustre un cas simple de balourd dans un rotor. En réalité, l'axe des centres de gravité a plutôt la forme d'un serpent enroulé autour de l'axe de rotation.

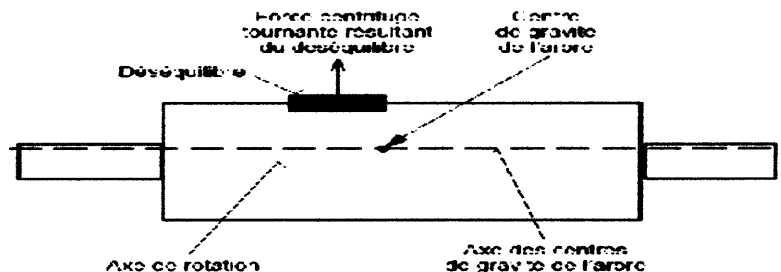


Fig.III.7 : Défaut de balourd. [16]

La cause la plus commune des modifications temporaires du balourd est l'arcure transitoire du rotor sous l'effet des contraintes thermiques qui sont générées lorsqu'un côté de l'arbre est plus chaud que le côté opposé.

### III.3.5.1.a- Balourd d'origine mécanique (rupture d'une aube, etc.)

Lorsqu'il ya rupture et départ d'un morceau du rotor, comme par exemple d'une ailette, on observe généralement une évolution instantanée des vibrations. Cette évolution est mieux perçue si l'on surveille simultanément l'amplitude et la phase des vibrations dans une représentation vectorielle. [17]

Les pertes d'aubes se traduisent aussi par des perturbations de l'écoulement (présence d'impulsions de pression répétées). [17]

### III.3.5.1.b- Balourd d'origine thermique (Perte d'ailette, Déformation des rotors de turbine)

Lorsque les rotors ne sont pas homogènes, ou lorsque la température n'est pas répartie de façon uniforme, les rotors se déforment sous l'effet de contraintes thermiques. S'ils se déforment de façon dissymétrique, les centres de gravité se déplacent et les efforts varient.

Le critère de diagnostic repose alors sur la corrélation entre les variations de température et l'évolution des vibrations. La rapidité de l'évolution renseignera sur l'origine du défaut. [17]

### III.3.5.2- Cambrure et fléchissement

Le balourd et le désalignement peuvent varier sous l'effet de certaines déformations de l'arbre appelées cambrure et fléchissement. Ces déformations sont plus prononcées lorsque l'arbre est long comme c'est le cas dans les groupes turbogénérateurs à vapeur.

La cambrure est une courbure du rotor vers le haut qui se produit lorsque la partie supérieure de l'arbre est plus chaude que la partie inférieure.

Cette différence de température est due à la couche thermique du liquide autour de l'arbre, le liquide plus froid, et par conséquent plus lourd, descend à la partie inférieure et le liquide plus chaud, donc plus léger, monte à la partie supérieure.

C'est ce qui arrive lorsque la machine se refroidit ou se réchauffe. Par exemple, la cambrure du rotor se produit dans une pompe à eau chaude après son déclenchement ou lorsque la vapeur est introduite dans les presse-garnitures d'une turbine pendant que le rotor est immobile. [1]

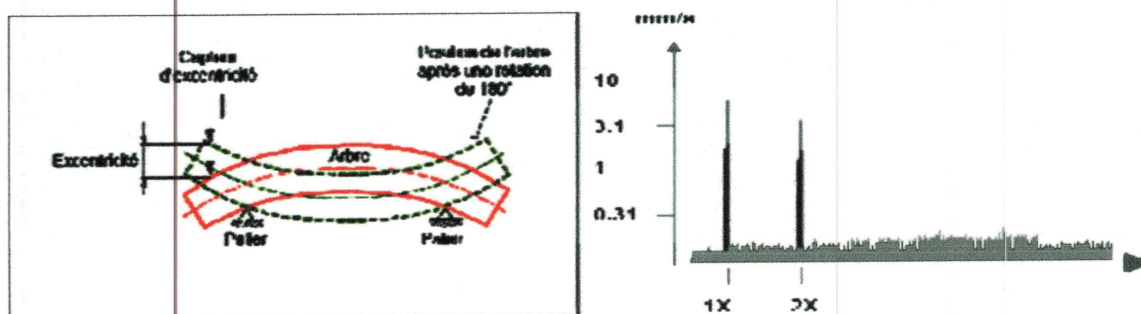


Fig.III.8 : Défaut de cambrure et fléchissement d'arbre et le spectre correspond.

### III.3.5.3- Désalignement angulaire

Le désalignement angulaire survient lorsque les axes des arbres se croisent. La vibration est radiale et axiale. Un arbre courbé se comporte de façon identique. Lorsque le désalignement angulaire est critique, l'amplitude de la vibration axiale est supérieure à l'amplitude de la vibration radiale. [1]

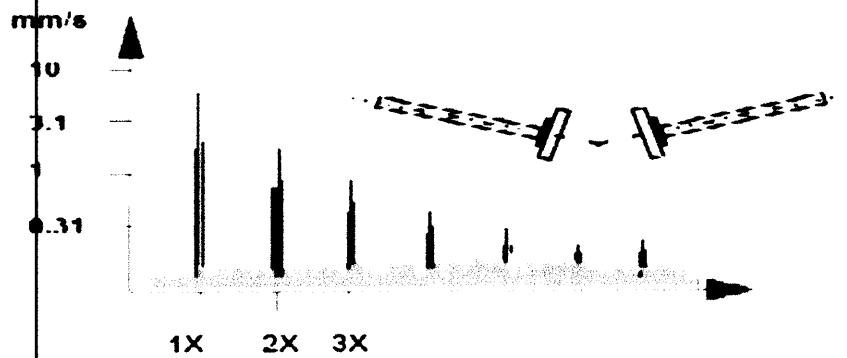


Fig.III.9 : Spectre typique de désalignement angulaire

### III.3.5.4- Désalignement parallèle

Lorsque les lignes médianes des arbres sont montées parallèle sans se rencontrer, on a un désalignement parallèle. Si l'amplitude de la vibration dans la direction radiale aux harmoniques 2x, 3x et 4x est supérieure à l'amplitude de la vibration à 1x, le désalignement parallèle est sévère.

Si on détecte une vibration à l'harmonique 5x, alors le problème n'est pas le lignage, mais plutôt un choc périodique. [1]

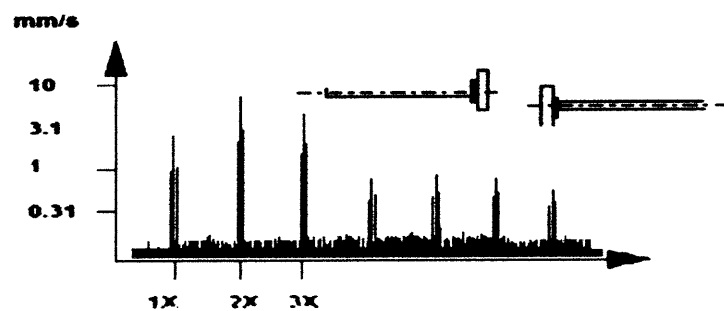


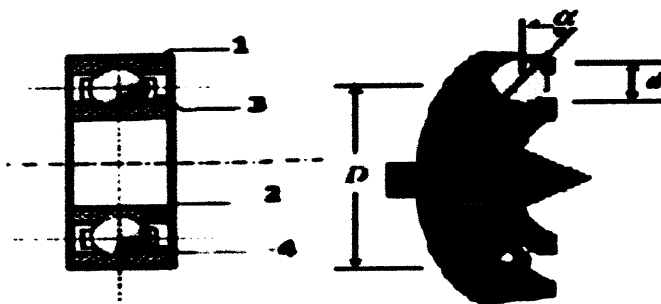
Fig.III.10 : Spectre typique de désalignement parallèle.

### III.3.5.5- Dégradation des appuis (Défauts des roulements)

Les roulements sont parmi les composants les plus sollicités des machines et représentent une source de panne fréquente. Les défauts que l'on peut y rencontrer sont les suivants : écaillage, grippage, corrosion (qui entraîne l'écaillage) etc.

Tous ces défauts ont un point commun : ils se traduisent tôt ou tard par une perte de fragments de métal. Ce défaut consécutif de la destruction est l'écaillage. Il se traduit par des chocs répétés des billes sur la cage de roulement.

Pour améliorer la détection, on réalise un filtrage par le capteur de vibration. On utilise pour cela un accéléromètre à large bande passante, qui excité par les chocs. Il laisse passer les chocs, pas le bruit de fond. Ce filtrage assure une meilleure discrimination du défaut. Il suffit de mesurer le niveau du signal de sortie, qui, en l'absence de choc, est faible et augmente très vite, en cas de défaut. Ce type de défauts se caractérise donc par une augmentation de la valeur efficace du signal et de son facteur de crête. La base de la détection du défaut de roulement est donc de détecter l'augmentation de l'énergie du signal, ou plutôt, si l'on veut avoir une détection précoce, de ce qui dans l'énergie indique la présence de petits chocs répétés.



1- bague extérieure 2- bague intérieure 3- cage 4- bille

*Fig.III.11 : Caractéristiques des roulements [18]*

$\alpha$  : angle de contact

$d$  : diamètre des billes

$D$  : diamètre moyen du roulement

$N$  : nombre de billes

$\Omega$  : vitesse de rotation de l'arbre

### III.3.5.6- Défauts des paliers à film d'huile (palier lisse)

#### Définition

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

**Paliers hydrodynamiques** : le film d'huile est généré par le mouvement de l'arbre.

**Paliers hydrostatiques**: le film d'huile est produit par une pompe. [19]

**III.3.5.6.1- Caractéristiques**

- Réduction du coefficient de frottement et fonctionnement sans lubrification.
- Fonctionnement silencieux et adaptés à de grandes couples de transmission.
- Résistant à l'usure même sous des charges élevées
- Capacité de charge inversement proportionnelle à la vitesse.
- Compact de structure simple donc bas prix de revient
- Paliers adaptés aux petites vitesses et aux charges lourdes
- Silencieux et adaptés à de grands couples de transmission
- Résistant à l'usure même sous des charges élevées
- Grande précision, ils sont adaptés aux machines-outils ou aux appareils de mesure

**III.3.5.6.2- Avantages des paliers lisses**

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

**III.3.5.6.3- Inconvénients des paliers lisses**

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

**III.3.5.7- Défauts de lubrification-Instabilité**

Les défauts rencontrés sur les paliers fluides sont dus avant tout à une altération des coussinets, des butées ou des soies.

Un mauvais lignage, des vibrations élevées, et surtout une interruption du graissage ou un manque de soulèvement sont quelques causes possibles de destruction du régule (alliage antifriction à base de plomb ou d'étain). Une différence de potentiel entre le rotor et le palier peut induire du piquage (surtout sur les alternateurs).

La présence de particules dans l'huile peut entraîner des coupures du régule. Un autre problème de lubrification est celui des vibrations auto excitées qui apparaissent dans un palier



quand certaines conditions sont remplies. Un palier trop chargé, ou dont le jeu radial est trop fort, pourra devenir instable.

La fréquence dominante de la vibration est à la demi-fréquence de rotation  $F_r/2$ , Elle peut être proche de  $1/3$  ou  $1/4$  de la fréquence de rotation.

L'organisation peut venir de la rotation de la machine, et dans ce cas, la fréquence sera voisine de la moitié de celle de la rotation.

Elle peut aussi venir de la présence d'une fréquence propre du rotor (ou de palier) aux environs de  $F_r/2, F_r/3, F_r/4 \dots$  et dans ce cas, la fréquence observée est cette fréquence propre.

Les instabilités sont en général corrigées par une reprise du lignage, une réduction des jeux (par exemple, « l'ovalisation » ou « citron-nage » du palier circulaire) ou des modifications géométriques du coussinet.

Le comportement de la machine dépend dans une large mesure du type de palier :

- palier circulaire : bonne capacité de charge, faible stabilité.
- palier ovale ou citron : bonne capacité de charge verticale, faible raideur horizontale, stabilité meilleure que le palier circulaire mais pas très bonne.
- palier à lobes : bonne stabilité, tenue plus limitée aux surcharges exceptionnelles.
- palier à patin : bonne stabilité, échauffement important, pivots souples.

### III.3.5.8- Effet du jeu de palier

Les problèmes de frottement dans un palier peuvent être décelés en comparant les amplitudes de vibration horizontale et verticale.

Un jeu excessif dans un palier fluide peut avoir comme effet un léger déséquilibre, un problème de lignage, un desserrage ou un choc mécanique.

Dans des conditions normales, les machines qui sont boulonnées fermement sur un socle rigide montrent habituellement un niveau d'amplitude de vibration légèrement plus élevé dans la direction horizontale que dans la direction verticale.

Lorsque l'amplitude de vibration dans la direction verticale apparaît excessive en comparaison avec la direction horizontale, on peut alors soupçonner un problème de palier lisse subissant du frottement. [22]

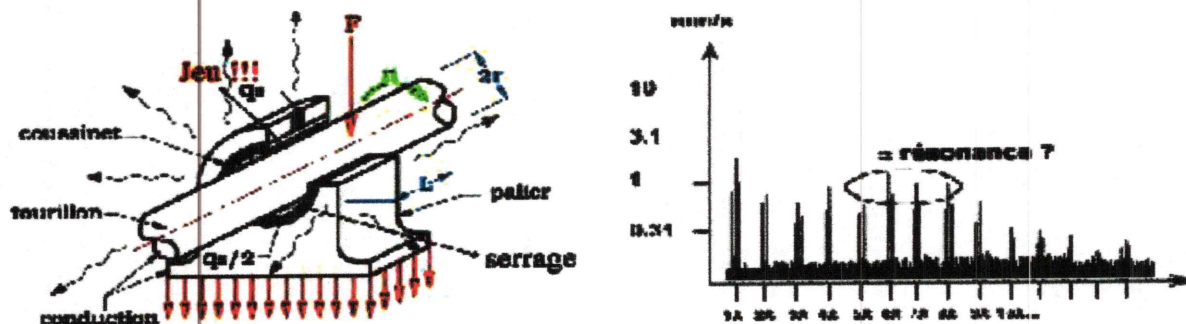


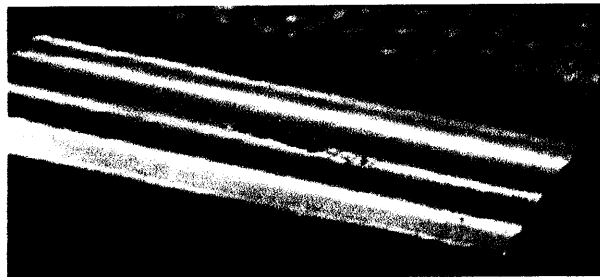
Fig.III.12 : Effet du jeu de palier et le spectre correspondant. [20]

### III.3.5.9- Frottement et usure de contact

Le frottement se produit parfois dans les machines tournantes, notamment dans les joints d'étanchéité, les paliers lisses, les bagues d'usure des pompes, les lames des turbines et des compresseurs et les aubes des pompes et des ventilateurs. L'isolant électrique des câbles et des fils peut être également soumis à un frottement qui peut provoquer un défaut de mise à la terre et un défaut phase-phase.

L'usure de contact se produit généralement dans les échangeurs de chaleur lorsque les tubes en vibration frottent contre les plaques supports.

Le symptôme est similaire au jeu mécanique. Sous-harmoniques  $\frac{1}{2}$ ,  $\frac{1}{3}$ , etc. Forte forme d'harmoniques causée par le signal tronqué.



*Fig.III.13 : Défaut de frottement [21]*

### III.3.5.10- Cavitation

Ce phénomène hydrodynamique induit des vibrations aléatoires qu'il faut pouvoir reconnaître pour les éliminer en modifiant les caractéristiques d'aspiration de la pompe. La cavitation se reconnaît également par un bruit caractéristique. Une cavitation provient de la collision de bulles (produit d'ébullitions locales dans certaines conditions du fluide : basse pression dynamique).

Ces collisions sont excessivement brèves et donc amples en fréquence. [18]

Les résonances sont excitées dans tout le spectre.

Les hautes fréquences sont particulièrement excitées.

Dans le spectre d'enveloppe, on observera une augmentation du pied de spectre (carpettes) sans qu'aucune raie ne soit visible. [22]

**Conclusion**

Dans ce chapitre nous avons présenté la turbine à vapeur et leur fonctionnement, en citant les différentes caractéristiques, ainsi que leurs principaux défauts.

Notre étude se base sur la technique de l'analyse vibratoire, dont l'objectif est de diagnostic des défauts et des pannes survenue dans la turbine en fonctionnement sans l'arrêt de la turbine à partir de se technique.

Le chapitre suivant contient une démarche expérimentale qu'on a suivie pour le diagnostic des défauts, avec une présentation spectrale et une explication du cas.

# *Chapitre IV*

## **Description de la méthode de travail**

## Introduction

Notre travail consiste à faire un diagnostic de la turbine à base d'une analyse vibratoire lors de son démarrage et cela dans deux cas :

1. Après une opération de maintenance régulière (intervention)
2. Après une opération de révision.

Le but est de vérifier la qualité de cette révision et accompagner et assurer le bon démarrage de notre turbine ainsi comparer son comportement entre une opération régulière et opération de révision.

Notre présent travail se compose en :

- Suivi de l'historique des vibrations de la turbine et les opérations effectuées lors de sa révision.
- Diagnostic de la turbine pendant son démarrage.
- Correction des défauts rencontrés après diagnostic.

### IV.1- Matériels utilisés

- Appareil de mesure et d'analyse VIBROPORT 41 (SCHENCK).
- Collecteur de données VT60 (SCHENCK).
- Accéléromètres types AS020 et AS065 (SCHENCK).
- Cellule photoélectrique.
- VIBROEXPERTT CM-400.



#### IV.1.1- Description du logiciel d'analyse de diagnostic vibratoire «VIBROEXPERT CM-400 »

Avant d'entamer notre étude nous donnons ci-dessous une petite description du logiciel utilisé lors de notre étude.

**VIBREXPRT CM-400** est un élément du système **VIBROCAM 4000**. Ce système est un logiciel tournant sur Plateforme **WINDOWS** conçu pour traiter les données de Vibrations recueillies sur les machines tournantes ou les structures. Il permet la comparaison des spectres ainsi qu'une meilleure visualisation des signaux dynamiques.

Plusieurs analyseurs mono et multivoies sont supportés par **VIBREXPRT**.



Parmi les caractéristiques intéressantes du logiciel figurent l'archivage des fonctions multivoies (réponse en fréquence, cohérence, spectre croisé), le post-traitement des données (cepstre, profils de rouleaux et d'engrenages) et la possibilité d'écouter les signaux sur le haut-parleur du PC. [23]

#### IV.1.2- Caractéristiques

- Compatible avec WINDOWS\* 95 et NT, utilise le format MICROSOFT ACCESS\* (version réseau disponible).
- Accepte les données de plusieurs analyseurs (mono et multi-voies) et collecteurs de données.
- Fonctions de visualisation avancées incluant plusieurs types de curseurs, conversion des unités, Kurtosis et facteur de crête, représentation 3D et matricielle des spectres, profil calcul de plusieurs fonctions et grandeurs reliées au signal vibratoire (filtrage, démodulation, cepstre).
- Permet aussi d'archiver les fonctions multi-voies (réponse en fréquence, orbites, cohérence et autres).
- Import et export vers d'autres logiciels ou formats incluant FINETUNE, ME'SCOPE, ASCII, SPREADSHEET et MIMOSA MED 1.0.

#### IV.1.3- Avantages

- Flexible à l'utilisation.
- Facilite, accélère et améliore l'interprétation des données de vibration.
- Augmente les capacités d'analyse.
- Pratique pour les études de cas difficiles ou les applications en analyse structurelle.
- Compatible avec d'autres logiciels d'analyse ou d'animation structurelle.

#### IV.1.4- Utilisation

- Puissante base de données pour la surveillance des vibrations ou l'analyse structurelle.
- Surveillance et diagnostic vibratoires appliqués au dépistage des pannes sur machines tournantes par l'utilisation de méthodes fines d'analyse et de traitement de signaux.
- Analyse de tendance et génération de rapports sur la condition des machines.

## IV.2- Etude de cas : Application de l'analyse vibratoire sur la turbine à vapeur

### IV.2.1-Procédure à suivre lors de ce travail :

1. **Classement de la turbine par rapport aux machines tournante** : La turbine à vapeur est classée parmi les machines tournantes (turboalternateur), où le seuil d'urgence de la vitesse efficace est (4 mm/s) et le seuil de déclenchement de la vitesse est de (7 mm/s).
2. **Suivi de la vibration de la turbine lors de démarrage avant révision** : Les résultats obtenues sont présentés dans des tableaux qui sont des valeurs globale de vibration et ne définissent pas quel est le type de défaut, nous avons passé alors à une analyse vibratoire pour on savoir :
  - A. **Le suivi des courbes de tendances** : pour objectif de faire une surveillance de vibration de la machine à une période de temps.
  - B. **L'analyse spectrale** : pour détecter la cause de défaut si les vibrations est dépasser le seuil d'alarme qui suivi par la courbe de tendance.
  - C. **L'orbite cinétique** : pour objectif de confirmer les résultats de l'analyse spectrale.
3. **Suivi de la vibration de la turbine lors de démarrage après révision** : comme la première opération les résultats obtenues sont présentés dans des tableaux qui sont des valeurs globale de vibration et ne définissent pas quel est le type de défaut, nous avons passé alors à une analyse vibratoire afin de détecter l'origine et les causes cela on utilisant des techniques plus profondes et très efficace à savoir :
  - A. **Le suivi des courbes de tendances** : pour objectif de faire une surveillance de vibration de la machine a une période de temps.
  - B. **L'analyse spectrale** : pour détecter la cause de défaut si les vibrations est dépasser le seuil d'alarme qui suivi par la courbe de tendance.
  - C. **L'orbite cinétique** : pour objectif de confirmer les résultats de l'analyse spectrale.

### IV.2.2-Historique et suivi de la vibration de la turbine avant la révision générale

Après un défaut survenu sur le turboalternateur n°1, le groupe a été réparer en urgence (intervention sur les roues du CBP) est couplé par la suite. Les résultats des mesures de vibration avant, durant et après le défaut se trouvent dans les tableaux ci-dessous.

Les valeurs de vibrations avant le chargement du comportement mécanique du GTA n°1

Régime	Palier	Axial	Horizontale	Verticale
P : 199 MW Q : 40 MAV	Avant corps HP (pal 1)	1.15	1.2	1.2
	Avant corps MP (pal 2)	1.05	1.14	1.19
	Arrière corps MP (pal 3)	/	3.02	2.19
	Avant corps BP (pal 4)	1.94	2.19	2.05
	Arrière corps BP (pal 5)	1.99	1.78	1.77
	Avant alternateur (pal 6)	2.19	2.09	2.08
	Arrière alternateur (pal 7)	2.22	2.27	2.73

*Tableau IV.1 : valeur de vibration avant l'intervention sur le palier 04*

### *Interprétation des résultats*

En remarque que les valeurs de vibrations mesurées sont toujours dans les plages tolérées par le constructeur.

Une deuxième mesure révèle une augmentation du niveau des vibrations qui signifie l'existence d'un défaut ou anomalie. Les valeurs de vibrations après le chargement du comportement mécanique du GTA n°1 sont données dans le tableau suivant.

Régime	Palier	Axial	Horizontale	Verticale
P : 170 MW Q : 38 MAV	Avant corps HP (pal 1)	1.33	1.85	1.25
	Avant corps MP (pal 2)	0.76	1.08	0.65
	Arrière corps MP (pal 3)	3.0	3.73	3.11
	Avant corps BP (pal 4)	2.73	<b>6.18</b>	<b>5.62</b>
	Arrière corps BP (pal 5)	<b>4.83</b>	1.22	3.71
	Avant alternateur (pal 6)	2.9	2.4	5.65
	Arrière alternateur (pal 7)	3.38	1.83	2.86

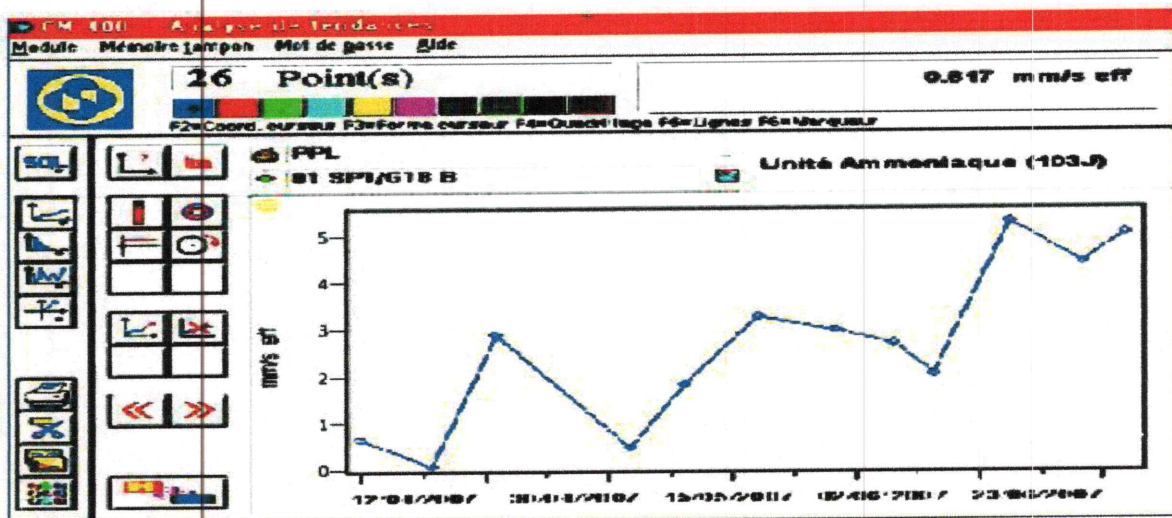
*Tableau IV.2 : valeur de vibration durant l'intervention sur le palier 04*

### IV2.3- Analyse des vibrations

Pour déterminer les causes probables et les sources de cette augmentation des vibrations nous allons procéder à une analyse plus profonde comme suivant :

**IV.2.3.1- Suivi de la courbe de tendance du GTA n°1 avant l'intervention**

Pour détecter d'éventuels défauts une courbe de tendance est tracée comme il est montré ci-dessous :



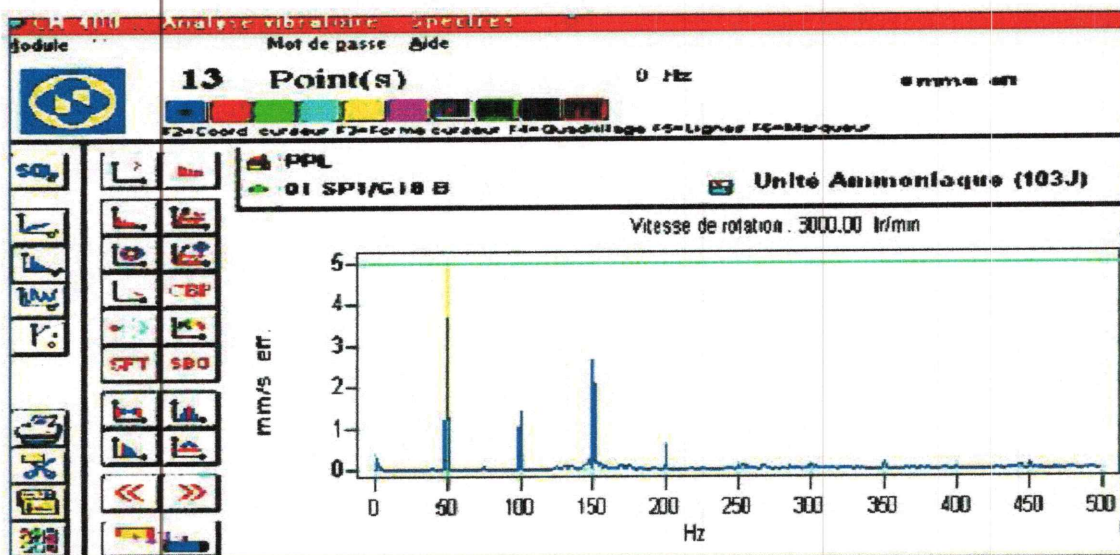
*Fig.IV.1: suivi de la courbe de tendance du (Palier 04) avant l'intervention*

**Interprétation des résultats**

Le suivi de la courbe de tendance de la vitesse efficace sur une période de temps du palier 4 de la turbine à vapeur avant l'intervention montre une augmentation excessive des valeurs globales due à l'augmentation des effets vibratoire avec le temps ce qui provoque l'apparition des défauts au niveau de ce palier.

**IV.2.3.2- L'analyse spectrale du palier 04 horizontale avant l'intervention**

Pour arriver à l'origine ou la cause de défaut nous effectuons une analyse spectrale dont le résultat est donné ci-dessous :



*Fig.IV.2 : l'analyse spectrale du palier 04 H avant l'intervention*



**Interprétation des résultats**

Le spectre du **palier 04 (fréquence(Hz), vitesse de rotation (mm/s eff))** à la direction horizontale avant l'intervention sur la machine (Turbine à vapeur) montre un pic très important pour l'harmonique d'ordre  $1 * Fr$  ce qui signifie la présence d'un défaut de balourd.

**IV.2.3.3- L'analyse par l'orbite cinétique du Palier 04 avant l'intervention**

La confirmation de l'analyse spectrale ainsi le défaut se fait par le diagramme d'orbite.

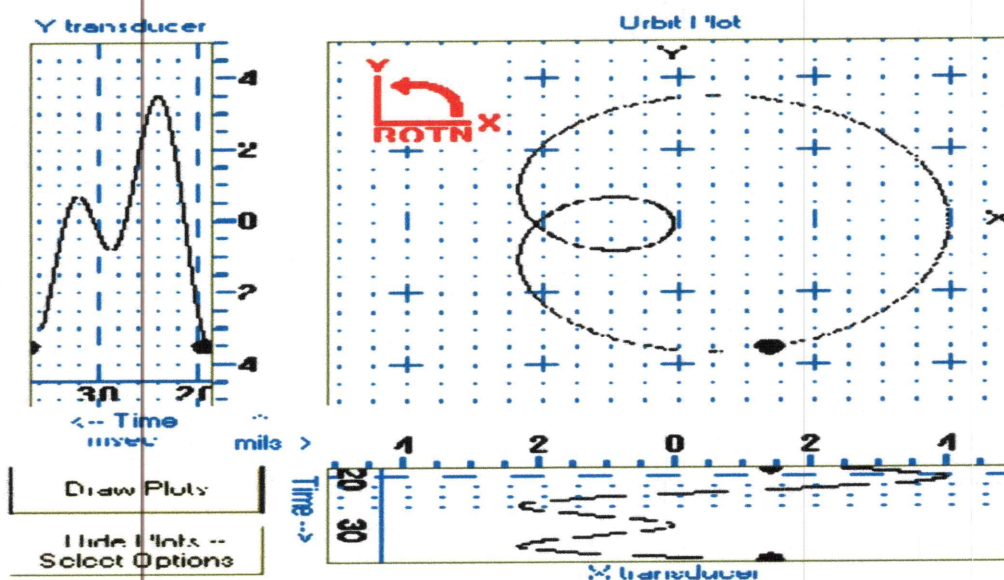


Fig.IV.3 : l'orbite cinétique du Palier 04 avant l'intervention

**Interprétation des résultats**

Le graphe de l'orbite cinétique délivré au niveau du palier 04 de la turbine à vapeur avant l'intervention sur la machine se présente sous une forme de **boucle interne**, cela se traduit par l'existence d'un défaut de balourd ce qui confirme les résultats de l'analyse spectrale.

Après une intervention sur la turbine afin d'essayer d'éliminer les défauts rencontrés nous avons mesuré de nouveau les niveaux des vibrations, les valeurs de cette mesure sont représentées dans les tableaux ci-dessous :

Régime	Palier	Axial	Horizontale	Verticale
P : 203 MW Q : 94 MAV	Avant corps HP (pal 1)	1.31	1.34	0.63
	Avant corps MP (pal 2)	1.29	1.34	0.98
	Arrière corps MP (pal 3)	1.93	1.33	2.46
	Avant corps BP (pal 4)	1.42	1.48	1.82
	Arrière corps BP (pal 5)	1.83	1.47	1.87
	Avant alternateur (pal 6)	1.34	1.79	1.63
	Arrière alternateur (pal 7)	1.23	1.24	1.76

Tableau IV.3 : valeur de vibration après l'intervention sur le palier 04



Régime	Palier	Axial	Horizontale	Verticale
P : 203 MW Q : 94 MAV	Avant corps HP (pal 1)	1.31	1.34	0.63
	Avant corps MP (pal 2)	1.29	1.34	0.98
	Arrière corps MP (pal 3)	1.93	3.1	2.46
	Avant corps BP (pal 4)	1.42	1.48	1.82
	Arrière corps BP (pal 5)	1.83	1.47	1.87
	Avant alternateur (pal 6)	1.34	1.79	1.63
	Arrière alternateur (pal 7)	3.28	1.24	3.62

*Tableau IV.4 : valeur de vibration avant révision générale*

### **Interprétation des résultats**

Juste après l'intervention de réparation sur la turbine les niveaux de vibrations été dans les plages tolérées c'est-à-dire elles ne dépassent pas les niveaux acceptés. Mais après une période déterminée les mesures révèlent et montrent l'augmentation à nouveau des vibrations par rapport aux seuils tolérés.

### **Conclusions**

Le suivi de la turbine était bénéfique et il nous a donné une aperçue générale sur son état de fonctionnement. La technique d'analyse vibratoire a montré son efficacité et présente de nombreux avantages tels que la facilité de son utilisation et son gain de temps une chose qui se percute bien sûr positivement sur le côté économique.

## **IV.4- Diagnostic de la turbine lors de son démarrage après révision**

Dans cette étape nous avons procédé à un suivi et vérification de la turbine lors de son démarrage après l'opération de révision dans le but est la vérification de la qualité de la réparation ainsi la détection d'éventuels défauts pendant le démarrage et éviter ainsi des catastrophes possibles.

Nous notons que durant les travaux de la révision générale de groupe il ya en le changement des roues de corps BP.

### **IV.4.1- Objectif**

Contrôle et analyse des vibrations du turbo alternateur n°1 au cours du démarrage et de la prise de charge en vue d'apprécier sa tranquillité de marche, après la révision générale.

### V.4.2- Déroulement des contrôles

En phase de démarrage du turbo alternateur n°1 les mesures de vibration ont été effectuées pour les paliers de vitesse :

- 500 tr/min.
- 1200 tr/min.
- 3000 tr/min (sans excitation du rotor alternateur).
- 3000 tr/min (avec excitation du rotor alternateur).

Un déclenchement de la tranche par protection du vide a eu lieu après ce démarrage.

Le même jour redémarrage du groupe n°1, couplage et montée en charge.

- Prise des mesures de vibration à 50 MW.
- Prise des mesures de vibration à 100 MW.
- Prise des mesures de vibration à 150 MW.
- Prise des mesures de vibration à 196 MW.

### IV.4.3- Tableau récapitulatif des mesures de contrôle

Date	Vitesse (tr/min)	Puissance (MW)	Contrôles effectués
1 <sup>er</sup> jour	500 à 3000	0	Contrôle de l'amplitude de la fondamentale avec la phase du palier 4 et 5 dans la direction vertical du GTA n°1
1 <sup>er</sup> jour	500	0	Contrôles des niveaux vibratoires en globale de paliers 1 à 7 dans les 03 directions du GTA n°1
1 <sup>er</sup> jour	1200	0	Contrôles des niveaux vibratoires en globale de paliers 1 à 7 dans les 03 directions du GTA n°1
1 <sup>er</sup> jour	3000 (non excité)	0	Contrôles des niveaux vibratoires en globale de paliers 1 à 7 dans les 03 directions du GTA n°1
1 <sup>er</sup> jour	3000 (excité)	0	Contrôles des niveaux vibratoires en globale de paliers 1 à 7 dans les 03 directions du GTA n°1
2 <sup>ème</sup> jour	3000	50	Contrôles des niveaux vibratoires en globale de paliers 1 à 7 dans les 03 directions du GTA n°1
2 <sup>ème</sup> jour	3000	100	Contrôles des niveaux vibratoires en globale de paliers 1 à 7 dans les 03 directions du GTA n°1
3 <sup>ème</sup> jour	3000	150	Contrôles des niveaux vibratoires en globale de paliers 1 à 7 dans les 03 directions du GTA n°1
3 <sup>ème</sup> jour	3000	196	Contrôles des niveaux vibratoires en globale de paliers 1 à 7 dans les 03 directions du GTA n°1

*Tableau IV.5 : Tableau récapitulatif des mesures de contrôle de révision générale*

#### IV.4.4- résultats de mesures à la vitesse synchrone

Les niveaux vibratoires relevés en global sur les paliers de toute la ligne d'arbre du GTA n°1 dans les trois directions à divers paliers de la vitesse et de la charge sont énumérés dans les tableaux ci-dessous (l'unité des vibrations est exprimée en mm/s eff) :

Les tableaux ci-dessous résument les résultats obtenus

Régime	Paliers	Axiale	Horizontale	Verticale
A 3000tr/min Non excité	Avant corps HP (Pal 1)	1.18	1.41	0.56
	Avant corps MP (Pal 2)	0.77	1.20	0.73
	Arrière corps MP (Pal 3)	2.77	3.14	2.39
	Avant corps BP (Pal 4)	3.60	<b>4.19</b>	3.77
	Arrière corps BP (Pal 5)	2.70	<b>4.52</b>	<b>4.78</b>
	Avant alternateur (Pal 6)	3.09	1.97	2.04
	Arrière alternateur (Pal 7)	2.24	1.86	3.72

*Tableau IV.6 : tableau récapitulatif des mesures de contrôle à 3000 tr/min (non excité)*

Régime	Paliers	Axiale	Horizontale	Verticale
A 3000tr/min Excité	Avant corps HP (Pal 1)	1.18	1.50	1.72
	Avant corps MP (Pal 2)	0.62	0.63	1.31
	Arrière corps MP (Pal 3)	2.71	2.26	3.27
	Avant corps BP (Pal 4)	2.40	2.38	<b>4.65</b>
	Arrière corps BP (Pal 5)	3.97	<b>4.47</b>	<b>4.48</b>
	Avant alternateur (Pal 6)	2.88	1.97	2.20
	Arrière alternateur (Pal 7)	1.83	1.81	3.53

*Tableau IV.7 : tableau récapitulatif des mesures de contrôle à 3000 tr/min (excité)*

Régime	Paliers	Axiale	Horizontale	Verticale
A 50MW	Avant corps HP (Pal 1)	1.31	2.44	0.80
	Avant corps MP (Pal 2)	1.97	1.15	1.30
	Arrière corps MP (Pal 3)	2.42	2.21	2.27
	Avant corps BP (Pal 4)	3.85	3.42	3.91
	Arrière corps BP (Pal 5)	2.92	2.62	3.51
	Avant alternateur (Pal 6)	3.37	2.59	<b>4.20</b>
	Arrière alternateur (Pal 7)	2.12	2.20	2.96

*Tableau IV.8 : tableau récapitulatif des mesures de contrôle à 50 MW*

Régime	Paliers	Axiale	Horizontale	Verticale
A 100 MW	Avant corps HP (Pal 1)	1.48	1.63	1.32
	Avant corps MP (Pal 2)	1.40	1.42	1.24
	Arrière corps MP (Pal 3)	2.56	2.33	2.75
	Avant corps BP (Pal 4)	2.68	2.78	3.90
	Arrière corps BP (Pal 5)	2.56	1.16	3.34
	Avant alternateur (Pal 6)	3.80	1.41	<b>4.05</b>
	Arrière alternateur (Pal 7)	2.15	1.25	2.50

*Tableau IV.9 : tableau récapitulatif des mesures de contrôle à 100 MW*

## IV.5- Analyse fréquentielle

## IV.5.1- groupe n°1 à 3000 tr/min (non excité)

Palier	Direction	Globale (mm/s)	F1	F2	F3	F4	Obs
P1	A	1.18	0.64	0.28	0.55	0.08	/
	H	1.41					/
	V	0.56					/
P2	A	0.77	0.75	0.17	/	/	/
	H	1.2	0.85	0.62	0.33	/	/
	V	0.73	0.63	0.2	0.07	/	/
P3	A	2.77	2.26	1.35	0.24	0.24	/
	H	3.17	1.82	1.25	2.21	0.307	F3 désalignement
	V	2.39	2.29	0.24	0.17	0.12	/
P4	A	3.6	3.11	1.4	0.55	0.16	Balourd
	H	3.19	2.22	3.03	0.95	0.33	Balourd
	V	3.77	3.73	2.67	0.36	0.51	Balourd
P5	A	2.7	2.31	1.15	0.11	0.12	/
	H	4.52	3.97	1.90	0.19	/	Balourd
	V	4.78	4.45	1.14	0.18	0.2	Balourd
P6	A	3.09	2.05	2.19	0.27	/	Désalignement
	H	1.97	1.24	1.47	0.14	/	Désalignement
	V	2.04	0.66	1.85	0.26	/	Désalignement
P7	A	2.24	0.36	2.05	0.12	/	Désalignement
	H	1.86	0.68	1.67	0.08	/	Désalignement
	V	3.72	2.38	2.77	0.22	/	Désalignement

Tableau IV.10 : tableau des résultats de l'analyse spectrale à 3000 tr/min (non excité)

## IV.5.2- groupe n°1 à 3000 tr/min (excité)

Palier	Direction	Globale (mm/s)	F1	F2	F3	F4	Obs
P1	A	1.18	0.63	0.34	0.54	/	/
	H	1.5	1.17	0.307	0.33	/	/
	V	1.72					/
P2	A	0.62					/
	H	0.36					/
	V	1.31					/
P3	A	2.71	2.53	0.62	0.04	0.17	/
	H	2.26	1.02	1.36	1.25	0.26	désalignement
	V	3.27	2.86	0.67	0.66	0.25	Balourd
P4	A	2.40	2.19	0.70	0.11	0.17	/
	H	2.38	1.56	1.17	0.90	0.14	/
	V	3.65	3.08	1.91	0.28	0.23	Balourd
P5	A	3.97	3.74	1.04	0.15	0.25	Balourd
	H	4.47	3.81	2.15	/	0.12	Balourd
	V	4.48	4.71	2.12	0.38	/	Balourd
P6	A	2.88	1.29	2.24	0.39	0.08	Désalignement
	H	1.97	0.27	1.55	0.17	/	Désalignement
	V	2.20	0.2	2.05	0.07	0.07	Désalignement
P7	A	1.83	0.069	1.34	0.23	/	Désalignement
	H	1.81	0.56	1.45	0.02	/	Désalignement
	V	3.35	1.95	2.61	0.07	/	Désalignement

Tableau IV.11 : tableau des résultats de l'analyse spectrale à 3000 tr/min (excité)

## IV.5. 3- groupe n°1 à 50 MW

Palier	Direction	Globale (mm/s)	F1	F2	F3	F4	Obs
P1	A	1.31	0.714	0.24	0.69	/	/
	H	2.44	1.77	1.51	0.38	0.09	/
	V	0.80	0.42	0.44	0.08	/	désalignement
P2	A	1.97					/
	H	1.15	0.83	0.35	0.54	0.14	/
	V	1.30	1.24	0.10	0.25	/	/
P3	A	2.42	1.84	1.39	0.18	/	/
	H	2.21	0.79	0.48	1.62	/	F3 désalignement
	V	2.27	2.05	0.58	0.26	0.19	/
P4	A	3.85	2.87	2.32	0.47	/	Balourd
	H	3.42	2.23	1.94	1.28	/	Balourd
	V	3.11	3.20	1.98	0.42	0.35	Balourd
P5	A	2.93	2.71	0.56	0.14	/	Balourd
	H	2.62	2.15	0.55	0.37	/	/
	V	3.51	4.32	1.09	0.36	/	Balourd
P6	A	3.37	1.39	2.90	0.66	/	Désalignement
	H	2.59	0.69	2.34	0.16	/	Désalignement
	V	4.20	2.13	4.20	0.44	/	Désalignement
P7	A	2.12	0.42	1.92	0.47	/	Désalignement
	H	2.20	0.37	2.13	0.09	/	Désalignement
	V	2.96	2.44	3.06	0.08	/	Désalignement

Tableau IV.12 : tableau des résultats de l'analyse spectrale à 50 MW

## IV.5.4- groupe n°1 à 100 MW

Palier	Direction	Globale (mm/s)	F1	F2	F3	F4	Obs
P1	A	1.48	0.88	0.22	0.69	/	/
	H	1.36	0.42	1.19	0.12	/	Désalignement
	V	1.32	0.44	1.16	0.11	/	Désalignement
P2	A	1.40	0.42	1.24	1.27	/	Désalignement
	H	1.42	0.43	1.27	0.08	/	Désalignement
	V	1.24	0.43	1.09	0.09	/	Désalignement
P3	A	2.56	1.86	1.68	0.08	/	/
	H	2.33	1.28	0.66	1.71	/	F3 désalignement
	V	2.75	2.47	0.41	0.76	/	/
P4	A	2.68	1.93	1.66	0.34	/	/
	H	2.78	1.91	1.32	1.35	/	/
	V	3.90	3.48	1.58	0.08	/	Balourd
P5	A	2.56	1.87	1.46	0.31	/	/
	H	1.16	0.62	0.85	0.22	/	/
	V	3.34	2.96	1.11	0.60	0.48	Balourd
P6	A	3.8	2.55	2.68	0.66	/	Balourd
	H	1.41	1.28	0.52	0.05	/	/
	V	4.05	3.11	2.50	0.46	/	Balourd
P7	A	2.15	1.67	1.21	0.32	/	/
	H	1.25	0.36	1.16	0.11	/	Désalignement
	V	2.50	1.79	1.68	0.14	/	/

Tableau IV.13 : tableau des résultats de l'analyse spectrale à 100 MW



## IV.5.5- groupe n°1 à 150 MW

Palier	Direction	Globale (mm/s)	F1	F2	F3	F4	Obs
P1	A	1.37	0.39	1.18	0.05	/	Désalignement
	H	1.27	0.20	0.69	0.04	/	Désalignement
	V	1.40	0.60	0.69	0.05	/	Désalignement
P2	A	1.40	0.79	0.32	0.21	/	/
	H	1.38	1.05	0.37	0.60	/	/
	V	1.80	1.71	0.12	0.25	/	/
P3	A	2.90	2.05	1.92	0.22	0.10	Balourd
	H	1.95	1.32	0.60	1.12	/	/
	V	3.16	2.85	0.76	0.70	/	Balourd
P4	A	2.79	2.14	1.67	0.18	/	/
	H	/	2.93	1.65	0.56	/	Balourd
	V	/	2.74	1.73	0.11	/	Balourd
P5	A	/	3.83	1.36	0.42	/	Balourd
	H	2.50	0.33	2.38	0.14	/	Désalignement
	V	/	3.40	0.73	0.61	/	Balourd
P6	A	/	2.91	2.61	0.61	/	Balourd
	H	1.59	1.29	0.86	0.08	/	/
	V	/	3.18	3.78	0.52	/	Balourd
P7	A	2.72	2.28	1.36	0.35	/	/
	H	1.22	0.54	1.03	0.16	/	Désalignement
	V	2.71	1.75	2.02	0.12	/	Désalignement

Tableau IV.14 : tableau des résultats de l'analyse spectrale à 150 MW

## IV.5.6- groupe n°1 à 196 MW

Palier	Direction	Globale (mm/s)	F1	F2	F3	F4	Obs
P1	A	0.89	0.107	0.70	0.01	/	Désalignement
	H	1.26	0.31	0.02	0.02	/	/
	V	1.20	0.24	0.02	0.03	/	/
P2	A	1.31	0.22	0.022	0.01	/	/
	H	1.38	0.26	0.01	0.02	/	/
	V	1.21	0.18	0.02	0.026	/	/
P3	A	1.34	1.72	2.003	0.19	0.20	Désalignement
	H	2.72	1.07	1.07	0.95	1.072	Désalignement
	V	1.86	1.90	0.71	0.56	0.31	/
P4	A	2.26	2.32	1.79	0.08	0.18	Balourd
	H	/	2.22	1.27	0.69	0.36	/
	V	/	2.73	1.48	0.14	0.18	Balourd
P5	A	/	3.19	1.47	0.33	0.24	Balourd
	H	/	0.74	1.91	0.13	0.36	Désalignement
	V	/	3.29	1.05	0.52	0.26	Balourd
P6	A	/	2.61	2.0	0.46	/	Balourd
	H	/	1.11	0.82	0.06	0.08	/
	V	/	2.65	2.40	0.41	/	Balourd
P7	A	/	2.32	1.02	0.30	/	/
	H	/	0.86	0.96	0.10	/	Désalignement
	V	/	1.14	1.95	0.105	/	Désalignement

Tableau IV.15 : tableau des résultats de l'analyse spectrale à 196 MW

## IV.6- Détection et diagnostic des défauts après révision générale

L'analyse des résultats obtenus dans les tableaux précédant montre des valeurs critiques au niveau des paliers 05 et 06 cela signifié la présence d'un probable défaut au niveau de ces deux paliers.

Alors une analyse vibratoire a été amenée au niveau de ces deux paliers afin de détecter la nature et les origines des défauts.

### IV.6.1- Suivi de la courbe de tendance du Palier 05 avant l'intervention

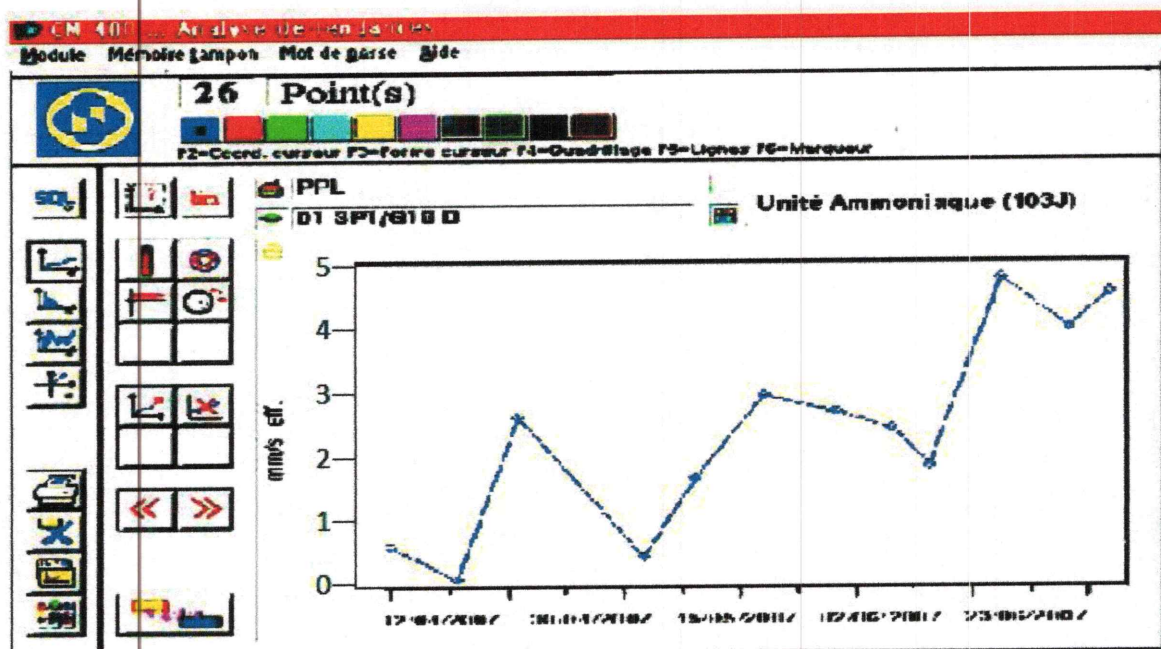


Fig.IV.4 : suivi de la courbe de tendance du Palier 05 avant l'intervention

#### Interprétation des résultats

Le suivi de la courbe de tendance de la vitesse efficace pendant une période de temps du palier 05 de la turbine avant l'intervention présente une augmentation excessive des valeurs globales due à l'augmentation des effets vibratoire avec le temps ce qui provoque l'apparition des défauts au niveau du palier 05.

IV.6.2- L'analyse spectrale du palier 05 avant l'intervention

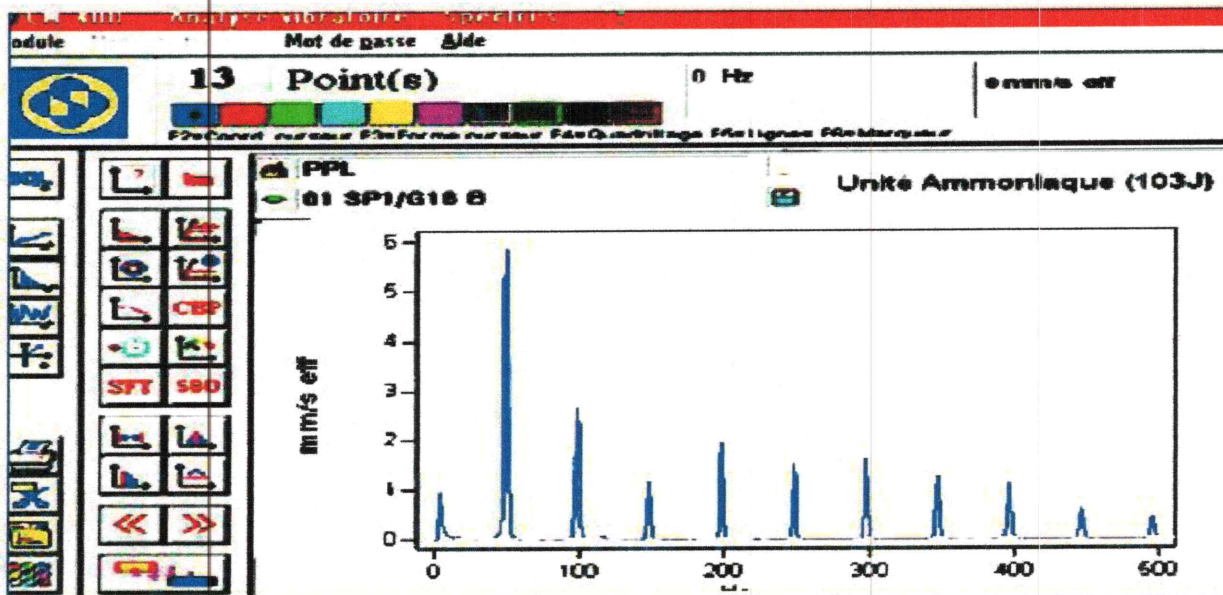


Fig.IV.5 : L'analyse spectrale du Palier 05 avant l'intervention

Interprétation des résultats

Le spectre du palier 05 (fréquence, vitesse de rotation) présente un pic qui dépasse le seuil de danger à une fréquence caractéristique = 50 Hz et qui concorde à la vitesse de rotation de l'arbre, un résultat traduit l'apparition d'un défaut de balourd.

IV.6.3- L'analyse par l'orbite cinétique du Palier 05 avant l'intervention

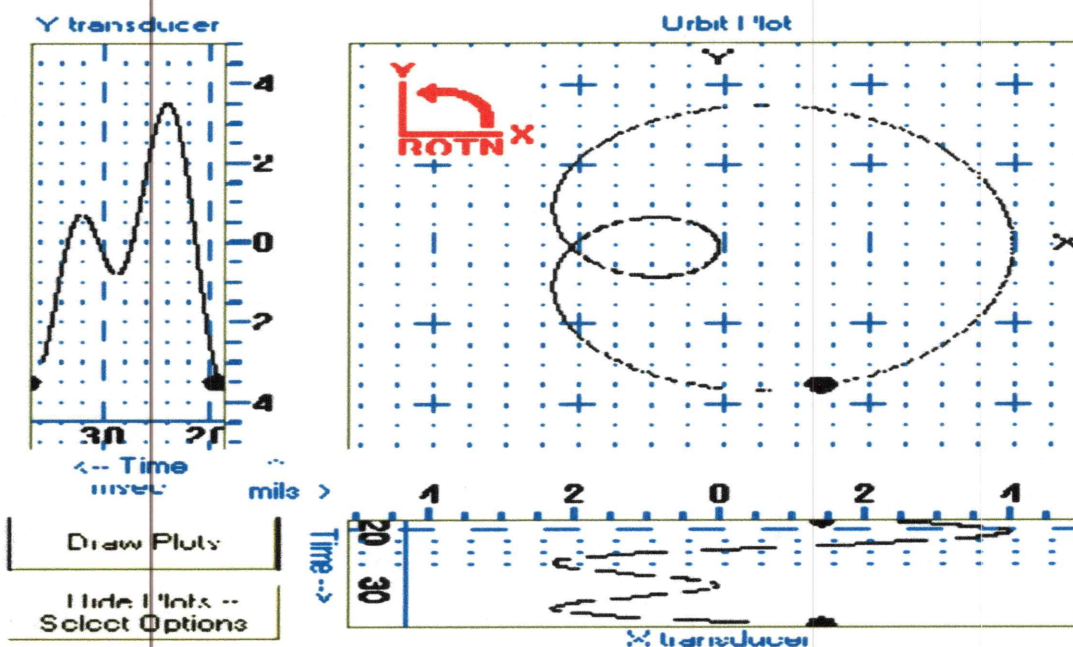


Fig.IV.6: l'orbite cinétique du Palier 05 avant l'intervention



### Interprétation des résultats

les résultats de l'analyse spectrale sont confirmés parce que le graphe de l'orbite cinétique délivrée au niveau du palier 05 de la turbine à vapeur avant l'intervention sur la machine présente une forme de **boucle interne** et qui signifie l'existence d'un défaut de balourd.

#### IV.6.4- Suivi de la courbe de tendance du Palier 06 avant l'intervention

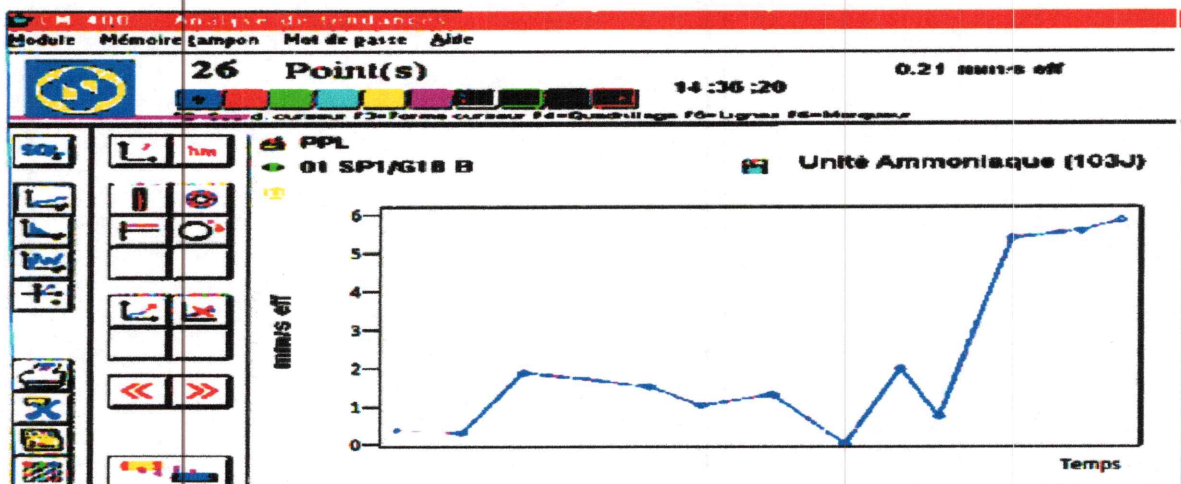


Fig.IV.7 : suivi de la courbe de tendance du Palier 06 avant l'intervention

### Interprétation des résultats

Le suivi de la courbe de tendance de la vitesse efficace sur une période de temps du palier 05 de la turbine à vapeur avant l'intervention montre qu'il y a toujours augmentation des valeurs globale de vibration avec le temps et il y a un même un dépassement du niveau d'alarme.

#### IV.6.5- L'analyse spectrale du Palier 06 avant l'intervention

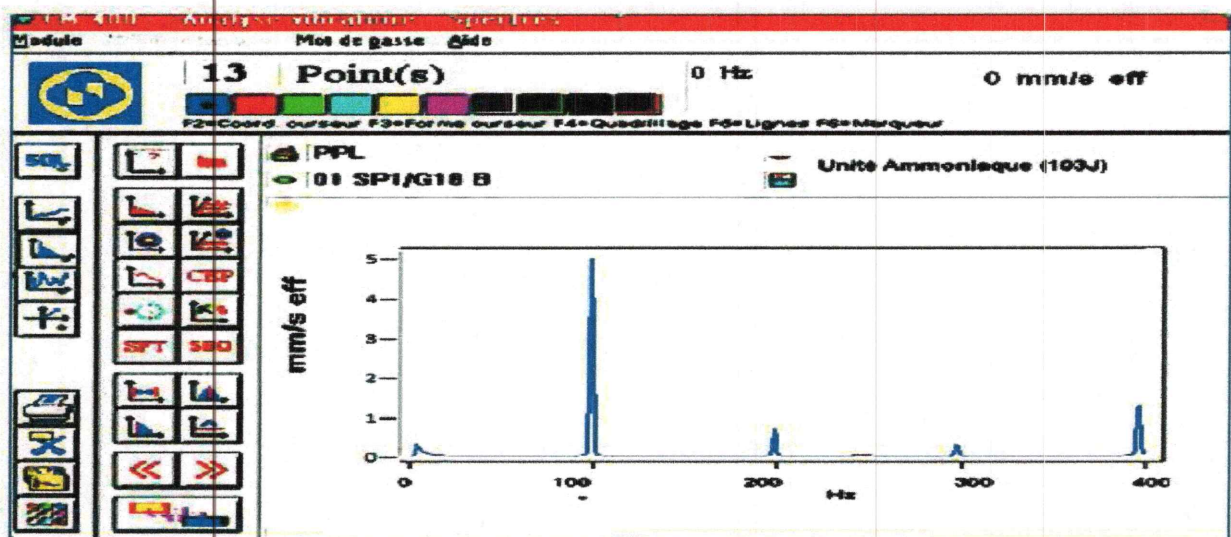


Fig.IV.8 : L'analyse spectrale du Palier 06 H avant l'intervention

### Interprétation des résultats

Le spectre du palier 06 H (fréquence(Hz), vitesse de rotation (mm/s eff)) avant l'intervention sur la machine (Turbine à vapeur) montre la présence d'un défaut de désalignement parallèle qui se présente sous forme d'un pic très important pour l'harmonique d'ordre  $2*Fr$ .

#### IV.6.6- L'analyse par l'orbite cinétique du Palier 06 avant l'intervention

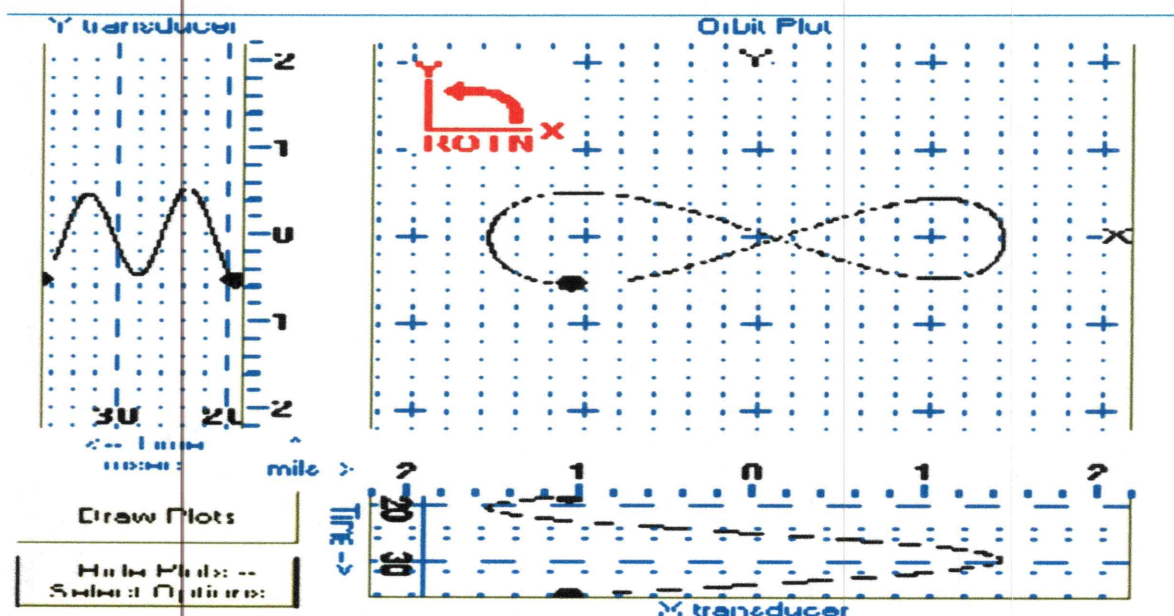


Fig.IV.9 : l'orbite cinétique du Palier 06 avant l'intervention

### Interprétation des résultats

L'orbite cinétique délivrée au niveau du palier 06 de la turbine à vapeur avant l'intervention sur la machine présente une forme un peu complexe (la forme de chiffre huit) qui conduit à l'existence d'un défaut de désalignement ce qui confirme les résultats de l'analyse spectral.

#### IV.7- Synthèse des résultats obtenus sur la ligne d'arbre de la turbine à vapeur :

L'application des techniques d'analyse vibratoire (le suivi de courbe de tendance, l'analyse spectrale et l'orbite cinétique) permet de montrer qu'il ya les défauts suivants :

- **Au niveau du palier 04 : Un balourd** au niveau du palier 04 due probablement à la répartition dissymétrie de la température qui conduit par la suite à la déformation du rotor de la turbine ; le balourd résultant peut avoir une perte d'ailettes.
- **Au niveau du palier 05 : Un balourd** au niveau du palier 05 due à la répartition dissymétrie de la température qui conduit par suite à la déformation du rotor de la turbine ; le balourd résultant peut avoir des conséquences catastrophiques.



- Perte d'ailettes.
- Perte d'une partie du rotor – dans les cas extrêmes, mais parfois la partie perdue est tellement petite qu'il n'en résulte qu'une faible augmentation des vibrations.
- Dépôts dus à la corrosion ou usure causée, par exemple, par l'érosion, l'abrasion ou l'éraïlement.

La cause temporaire du balourd est l'arcure transitoire du rotor sous l'effet des contraintes thermiques qui sont générées lorsqu'un côté de l'arbre est plus chaud que le côté opposé.

- **Au niveau du palier 06 : Un désalignement** (défaut de parallélisme au niveau de l'accouplement qui relie le corps BP et l'alternateur).

Il provoque des vibrations à la fréquence de rotation, ainsi qu'aux fréquences Double, triple ou quadruple de la fréquence de rotation. La composante axiale de la vibration est particulièrement importante pour l'harmonique d'ordre 2.

#### IV.7.1- Les interventions recommandées

- **Au niveau du palier 04** : la mise en état du rotor du corps BP nécessite le remplacement des roues et l'équilibrage au niveau des ateliers.
- **Au niveau du palier 05** : Equilibrage dynamique (équilibrage sur site sur les deux plan des deux paliers lisse de la turbine) pour éliminer le balourd.

On peut réduire le balourd au minimum en équilibrant le rotor, soit en ajoutant des poids du côté du rotor où la masse est plus faible, soit en enlevant de la matière du côté où la masse est plus élevée.

Dans notre cas la première solution a été privilégiée (en ajoutons des poids (mases)) au rotor et cela au niveau des ateliers.

Si l'équilibrage est effectué correctement, le balourd sera tellement faible qu'il ne causera pas de problèmes de vibrations.

- **Au niveau du palier 06** : équilibrage de l'accouplement qui ajoute un anneau d'équilibrage au-dessous de l'axe ou au cylindre d'accouplement. ou bien on change l'accouplement.

#### IV.7.2- Analyse des résultats après intervention

Pour la vérification ainsi le contrôle de la qualité des interventions nous avons amené une autre analyse des vibrations au niveau des paliers où a eu les interventions (palier 05 et palier 06)

### IV.7.2.1- Le suivi de la courbe de tendance du Palier 04 après l'intervention

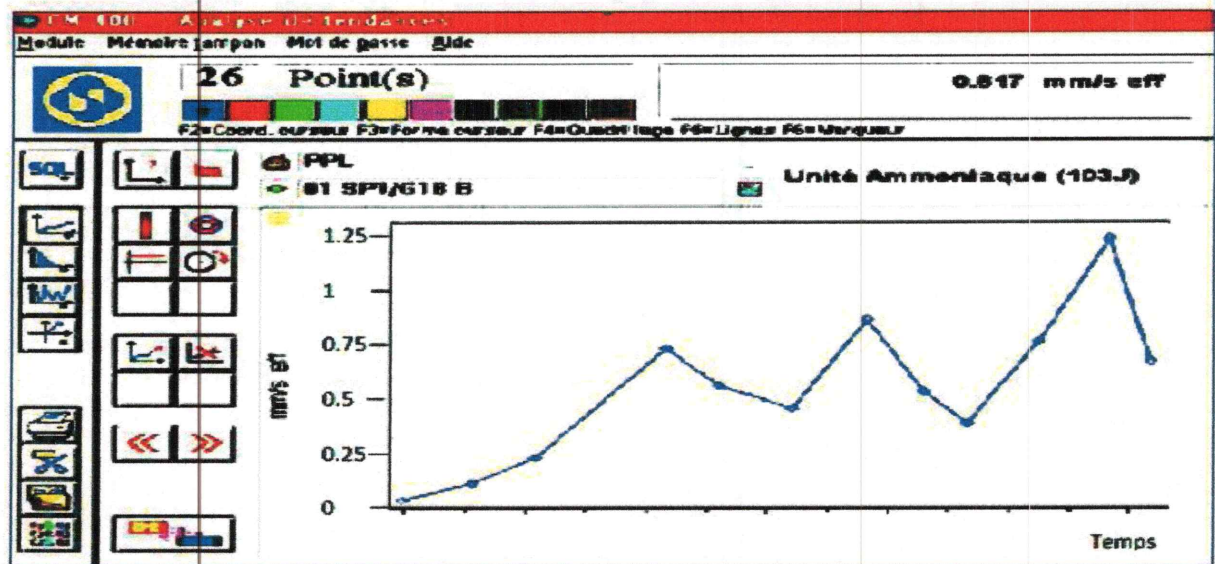


Fig.IV.10 : suivi de la courbe de tendance du Palier 04 après l'intervention

#### Interprétation des résultats

Après l'intervention (**changement des roues**), un autre diagnostic des défauts a été effectué et cela par le suivi de la courbe de tendance du palier 04, et qui montre que le niveau de la vitesse vibratoire efficace mesuré selon une période de temps a diminué considérablement et reste inférieur au seuil d'alarme donc la machine est stabilisée et en état de bon fonctionnement ce qui certifié les interventions réalisées sur la machine.

### IV.7.2.2- L'analyse spectrale du Palier 04 après l'intervention

Pour confirmer les résultats obtenus nous procédons à une analyse spectrale de ce palier.

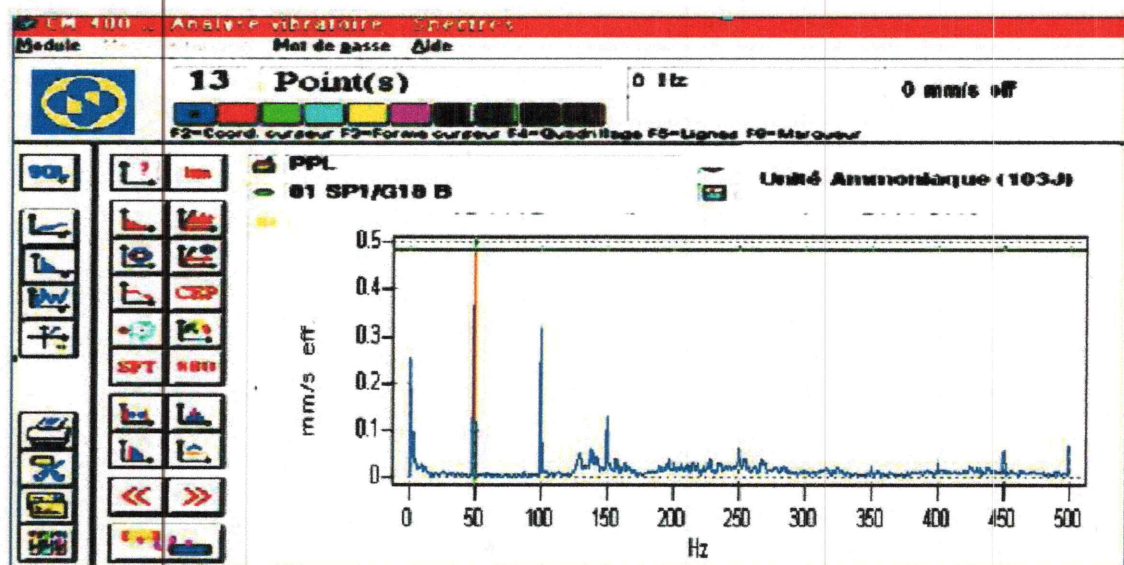


Fig.IV.11 : analyse spectrale du palier 04 après l'intervention

### Interprétation des résultats

Le spectre du palier 04 (Fréquence 'Hz', Amplitude 'mm/s eff') après l'intervention (**changement des roues**), sur la machine présente un signal acceptable car tous les pics sont dans les normes ce qui confirme que l'intervention (**changement des roues**) est efficace.

#### IV.7.2.3- Le suivi de la courbe de tendance du Palier 05 après l'intervention

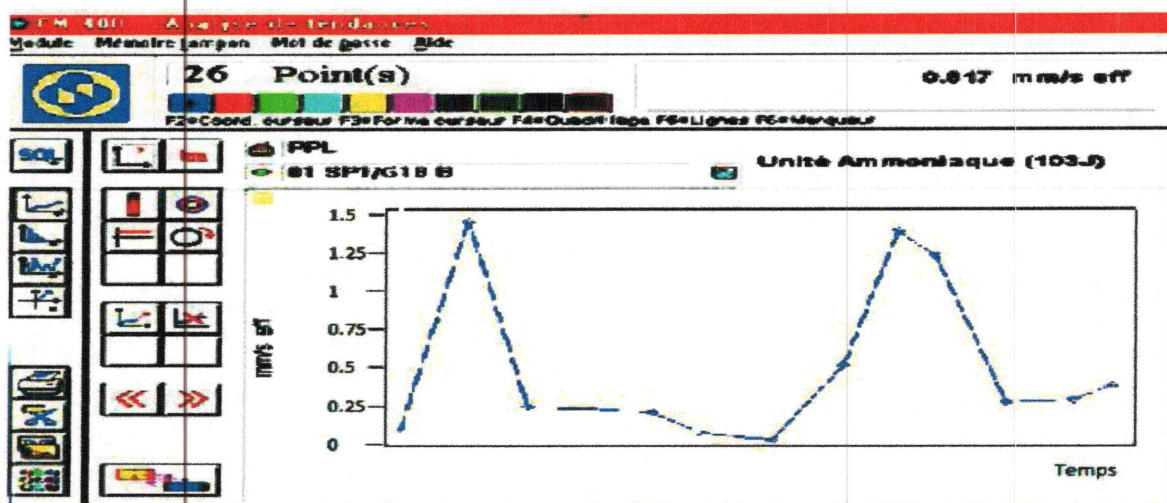


Fig.IV.12 : suivi de la courbe de tendance du Palier 05 après l'intervention

### Interprétation des résultats

Aussi bien concernons le palier 05 les interventions (**ajoute des masses**) réalisées sur la machine ont eu grande réussite car les valeurs globales de la vitesse efficace selon une période de temps choisi sont diminuées et stabilisent en inférieure du seuil d'alarme.

#### IV.7.2.4- L'analyse spectrale du Palier 05 après l'intervention

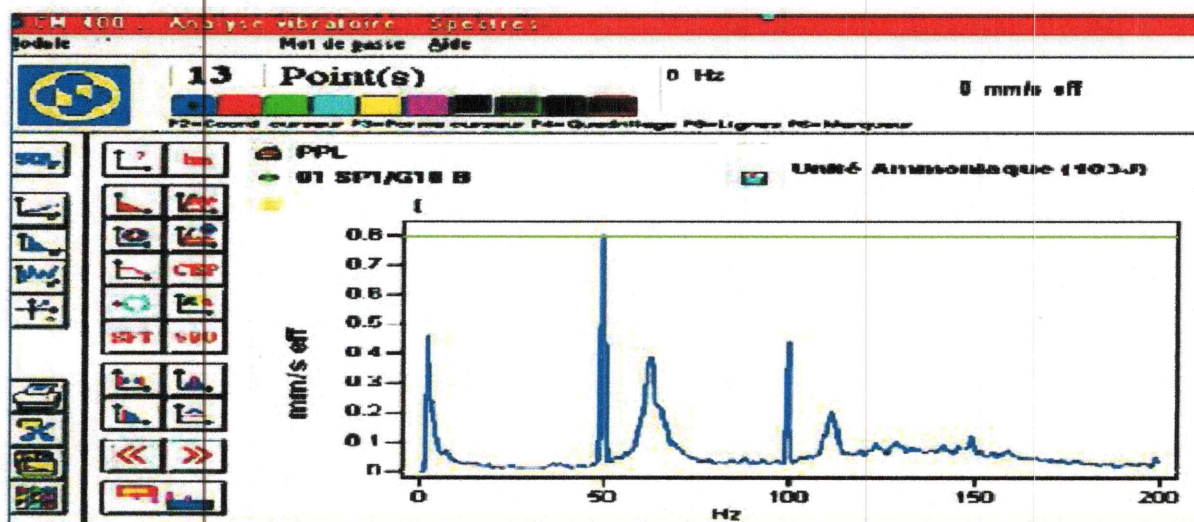


Fig.IV.13 : L'analyse spectrale du Palier 05 après l'intervention



**Interprétation des résultats**

Le spectre du palier 05 (Fréquence 'Hz', Amplitude 'mm/s eff') après intervention sur la machine présente un signal acceptable car tous les pics sont dans les normes ce qui montre que l'intervention (**ajoute des masses**), est efficace.

**IV.7.2.5- Le suivi de la courbe de tendance du Palier 06 après l'intervention**

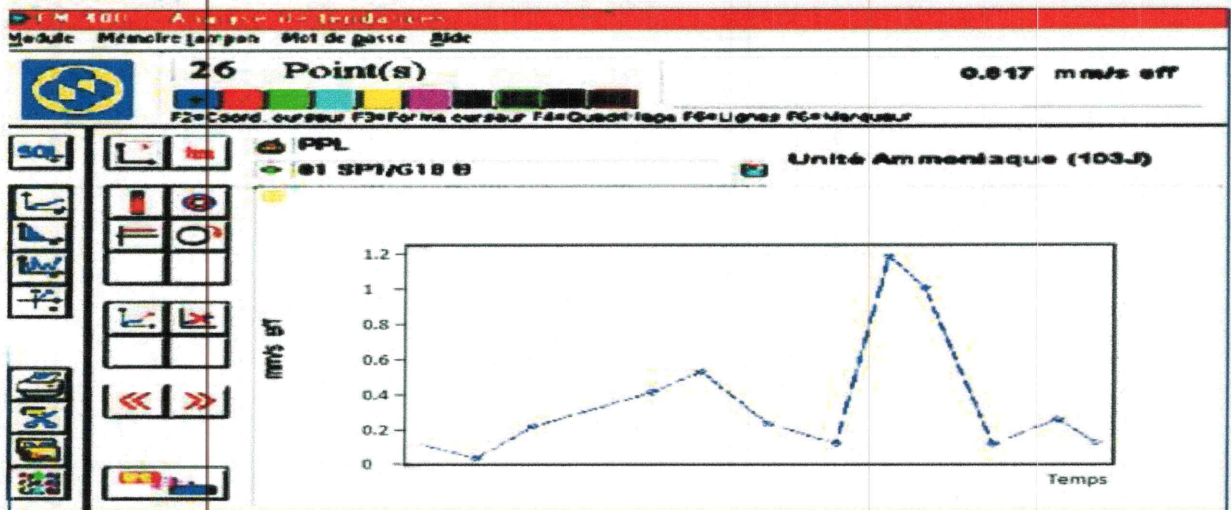


Fig.IV.14 : suivi de la courbe de tendance du Palier 06 après l'intervention

**Interprétation des résultats**

Après l'intervention (**équilibrage d'accouplement**), un autre diagnostic des défauts a été effectué et cela par le suivi de la courbe de tendance du palier 06, et qui montre que le niveau de la vitesse vibratoire efficace mesuré selon une période de temps a diminué considérablement et reste inférieur au seuil d'alarme donc la machine est stabilisée et en état de bon fonctionnement ce qui certifié les interventions réalisées sur la machine.

**IV.7.2.6- L'analyse spectrale du Palier 06 après l'intervention**

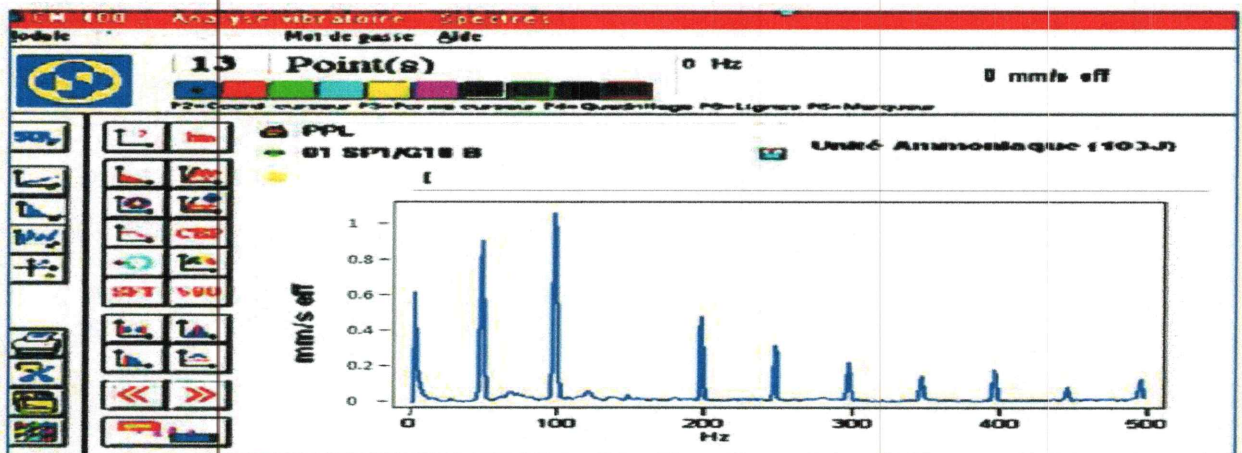


Fig.IV.15 : L'analyse spectrale du Palier 06 après l'intervention

### *Interprétation des résultats*

Le spectre du palier 06 (Fréquence 'Hz', Amplitude 'mm/s eff') après l'intervention (**équilibrage d'accouplement**), sur la machine présente un signal acceptable car tous les pics sont dans les normes ce qui confirme que l'intervention (**équilibrage d'accouplement**) est efficace.

### **CONCLUSION**

A l'image de la médecine, l'analyse vibratoire permet l'élaboration d'un bilan complet de la machine. Le contenu fréquentiel des vibrations est une information clé pour le diagnostic des défauts sur les machines tournantes.

Ainsi à l'aide de l'analyse spectrale et la mise au point des capteurs de vibrations pertinentes (accéléromètres, sondes de déplacements) sur la ligne d'arbre d'une turbine à vapeur HP du groupe turbo-alternateur de l'entreprise SONELGAZ nous avons pu localiser et révéler les défauts suivants :

Palier 04 et 05 Problème de balourd

Palier 06 : Problème de désalignement parallèle.

Pour cette raison on a fait appel aux interventions suivantes :

- Équilibrage dynamique et changement des roues pour éliminer le balourd.
- Changement de l'accouplement pour régler le désalignement.

Notre turbine a présenté un niveau de vibration plus élevé après sa révision qu'avant la révision ou pendant son fonctionnement cela s'explique par les interventions et les changements effectués pendant cette révision.



*Conclusion  
Générale*

## *Conclusion générale*

Ce travail avait pour but de présenter l'apport des méthodes paramétriques d'analyse spectrale pour la surveillance et le diagnostic des défauts de la turbine à vapeur. En effet l'étude a été consacrée à la détection précoce des défauts lors de fonctionnement et au démarrage de la turbine à l'aide de la technique de l'analyse des vibrations.

L'objectif principal d'une bonne surveillance est de détecter les anomalies de fonctionnement avant qu'elles ne présentent un risque pour la machine. Lorsqu'un défaut est détecté, il faut être capable de préciser s'il est grave, si l'on peut continuer à exploiter la machine, et dans ce cas combien de temps on peut la laisser en fonction (tourner) avant de l'arrêter. Pour assurer cette surveillance, on dispose d'informations représentatives des défauts à surveiller. Ces informations sont évidemment celles qui sont accessibles à la mesure : Températures, pressions, débits, vibrations, etc.

A la fin de ce travail nous n'allons pas insister sur l'actualité du sujet, ni sur l'importance d'analyse vibratoire appliquée à grande échelle sur les machines tournantes, c'est une technique rentable en temps et en argent malgré sa cherté.

Il reste à dégager :

- En se basant sur l'alarme et le danger, la machine travaille au-dessous de niveau de l'alarme normal et cela pendant son fonctionnement.

L'analyse spectrale des différents diagrammes de logiciel (**VIBROEXPERT**) montre que :

- La machine présente un balourd causé probablement à la répartition dissymétrie de la température qui conduit par la suite à la déformation du rotor de la turbine ; le balourd résultant peut avoir une perte d'ailettes. Ce balourd est confirmé ensuite à l'aide d'un diagramme d'orbite.
- La machine présente aussi un défaut de désalignement, ce défaut au niveau de l'accouplement qui relie le corps BP et l'alternateur. Il est aussi confirmé à l'aide d'un diagramme d'orbite.
- Notre turbine a présenté un niveau de vibration plus élevé après sa révision qu'avant la révision ou pendant son fonctionnement cela s'explique par les interventions et les changements effectués pendant sa révision. Pour cela il est recommandé de donner et de

d'avoir une attention particulière lors de son démarrage après révision du fait de la sensibilité de cette période et son impact sur son future travail ainsi la centrale thermique.

- Pour éliminer le problème du balourd le remplacement des roues de corps BP et l'équilibrage est nécessaire tandis que pour désalignement il faut faire équilibrage.

La réduction des problèmes ci-dessus nécessite des bonnes compétences en traitement de signal pour la lecture des signaux vibratoire et l'éclaircissement des spectres de chaque défaut ainsi des capacités d'entretien et réparation en vie de rendre la turbine en état de bon fonctionnement

Notre expérience et l'historique de la machine nous a permis d'observer que la grande part des défauts de la turbine à vapeur sont d'origine de balourd et désalignement.

Néanmoins une attention particulière doit être allouée à notre turbo-alternateur par l'application d'une politique de maintenance adéquate et une surveillance permanente ainsi l'application des consignes les recommandations du constructeur.

A la fin, notre travail expérimental nous a permis de savoir l'impossibilité d'avoir l'existence d'une machine fonctionne sans vibration car toutes les machines vibrent quel que soit le soin apporté à leur fabrication, on dit à ces vibrations liée au fonctionnement des vibrations fonctionnelle ou de procès.

## REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- [1] Bensana T ; « Diagnostic des défaillances basé sur l'analyse vibratoire d'une turbine à vapeur. », Présentée en vue de l'obtention du diplôme de MAGISTER, UNIVERSITE BADJI MOKHTAR – ANNABA Année 2008.
- [2] Fennache. F, Bouchachi. M ; « Amélioration de la maintenance d'un système industriel avec l'approche d'une optimisation des performances », thèse de master 2 université de Jijel 2013.
- [3] Jean. H : « PRATIQUE DE LA MAINTENANCE PREVENTIVE –Mécanique-Pneumatique -Hydraulique- Electrique- Froide », Édition AFNOR 2002 DUNOD.
- [4] Mechter. H, Benbrihoum.M ; « maintenance prédictive par analyse vibratoire d'un turbo-expander » thèse de master 2 université de Jijel 2012.
- [5] C.CAPDESSUS ; Aide au diagnostic des machines tournantes par Traitement du signal, Thèse INP Grenoble, 1992.
- [6] Alain B. Christian P, « Aide-mémoire surveillance des machines par analyse des vibrations ».Dunod, 2009
- [7] Moussa S ; « étude de l'amélioration des performances des réseaux neurones artificiels appliqués au diagnostic des défauts des roulements », mémoire de fin d'étude en vue de l'obtention du diplôme de master 2 université de Jijel 2014.
- [8] S.Benammar ; K.Debouze.2007 ; étude des phénomènes vibratoires d'une turbine du groupe turbo alternateur (RAS DJENAT) ; PFE. Université de Boumerdes.
- [9] R. Bigret et J. -L. Féron ; « Diagnostic - maintenance disponibilité des machines tournantes », MASSON 1995.
- [10] Garreau D. surveillance des roulements par l'analyse des vibrations – CETIM information, N°115, 1990, p.6.
- [11] Berroume F ; « génie électrique », rapport de stage, centrale thermique de Jijel 2014.
- [12] Fennache F ; « fonctionnement de la centrale thermique », rapport de stage, centrale thermique achouat Jijel 2012/2013.
- [13] rapport de stage ; central thermique de Jijel.
- [14] Notice – TURBINE A VAPEUR K-215-130-2, « Description technique et notice d'exploitation 8160002 T08 », document centrale thermique de Jijel.

- [15] Chaouch .M ; « DIAGNOSTIC VIBRATOIRE DES MACHINES TOURNANTES » thèse de magistère, université de Badgé Mokhtar Annaba 2006.
- [17] Augeix. D ; « Analyse vibratoire des machines tournantes », Les techniques de l'ingénieur, BM5145 (2001).
- [18] Philippe ESTOCQ « Une approche méthodologique numérique et expérimentale d'aide à la détection et au suivi vibratoire de défauts d'écaillage de roulements à billes » 16 décembre 2004 L'UNIVERSITE DE REIMS CHAMPAGNE ARDENNE
- [19] J. FRENE : Technique de l'ingénieur : paliers hydrodynamiques, Vol B ; art. 671 ; édition technique de l'ingénieur, année 1982.
- [20] C.Jackson ; Experiences in commissioning a 22MW turbine generator – coupling unbalance, oil whirl, secondary resonance 1978.
- [23] Shunk (1999) Manuel D'exploitation du VIBROTEST 60, ASMIDAL.

#### **Site web**

- [16] <http://www.VIBRACO.com/>
- [21] <http://www.Machinery Diagnostic System.com/>
- [22] <http://www.dbVib.fr/>