

**République Algérienne Démocratique et Populaire**  
**Ministère de l'enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique**  
**Université M'Hamed Bougara- Bouverdes**  
**Faculté des Sciences de l'ingénieur**  
**Département Maintenance Industrielle**



**Mémoire de Master**  
**Filière: Génie Mécanique**  
**Option: Mécatronique**

## *Thème*

**Optimisation des méthodes de diagnostic d'un turboalternateur par analyse des caractéristiques vibratoires**

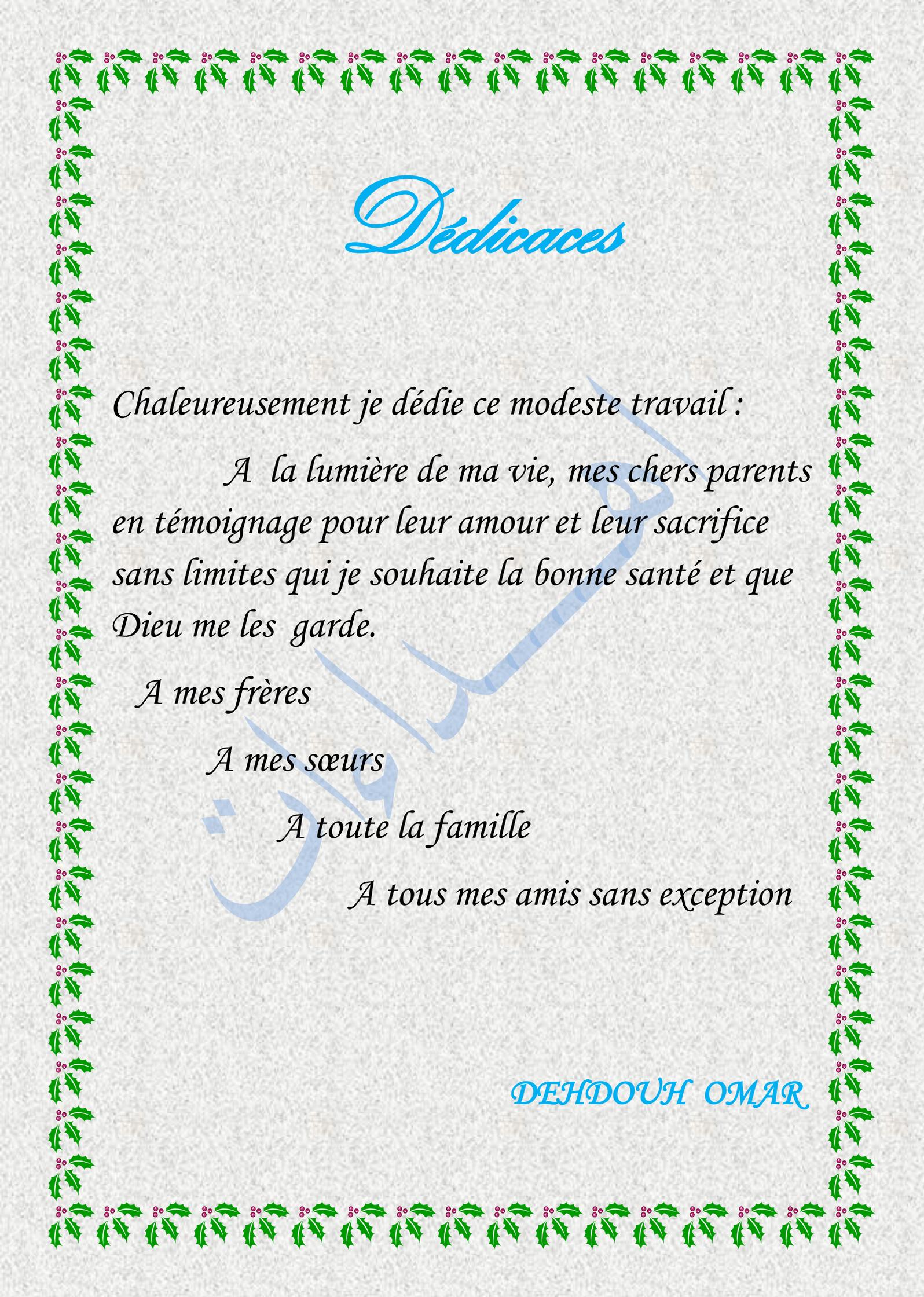
Réalisé par:

M BOUSSALAH SIDALI  
M DEHDOUH OMAR

Promoteur: Dr. CHELLIL AHMED

Encadreur: M. BOUHAROUN MOHEMED

2016/2017



# *Dédicaces*

*Chaleureusement je dédie ce modeste travail :*

*A la lumière de ma vie, mes chers parents  
en témoignage pour leur amour et leur sacrifice  
sans limites qui je souhaite la bonne santé et que  
Dieu me les garde.*

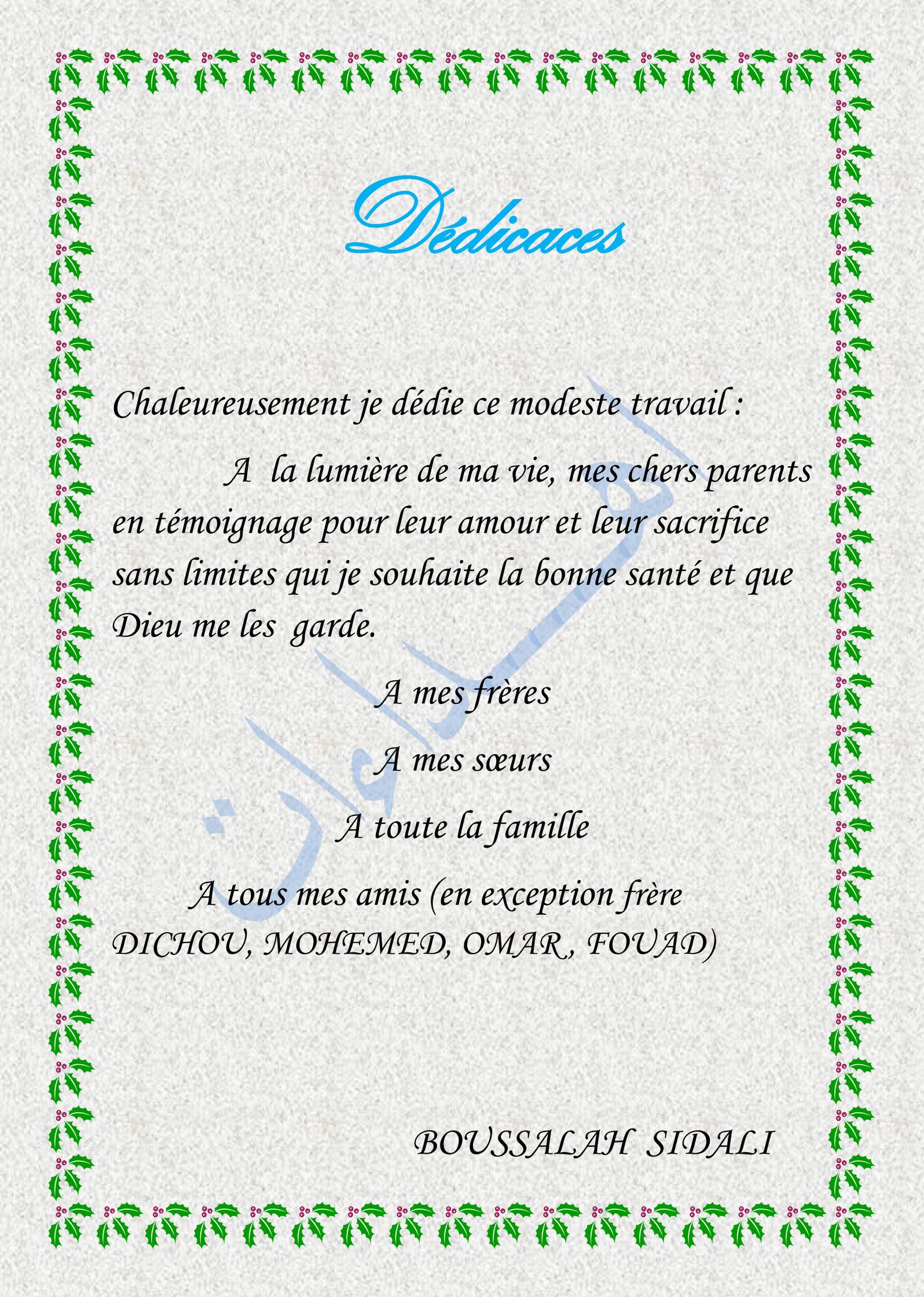
*A mes frères*

*A mes sœurs*

*A toute la famille*

*A tous mes amis sans exception*

*DEHDOUH OMAR*



# *Dédicaces*

*Chaleureusement je dédie ce modeste travail :*

*A la lumière de ma vie, mes chers parents  
en témoignage pour leur amour et leur sacrifice  
sans limites qui je souhaite la bonne santé et que  
Dieu me les garde.*

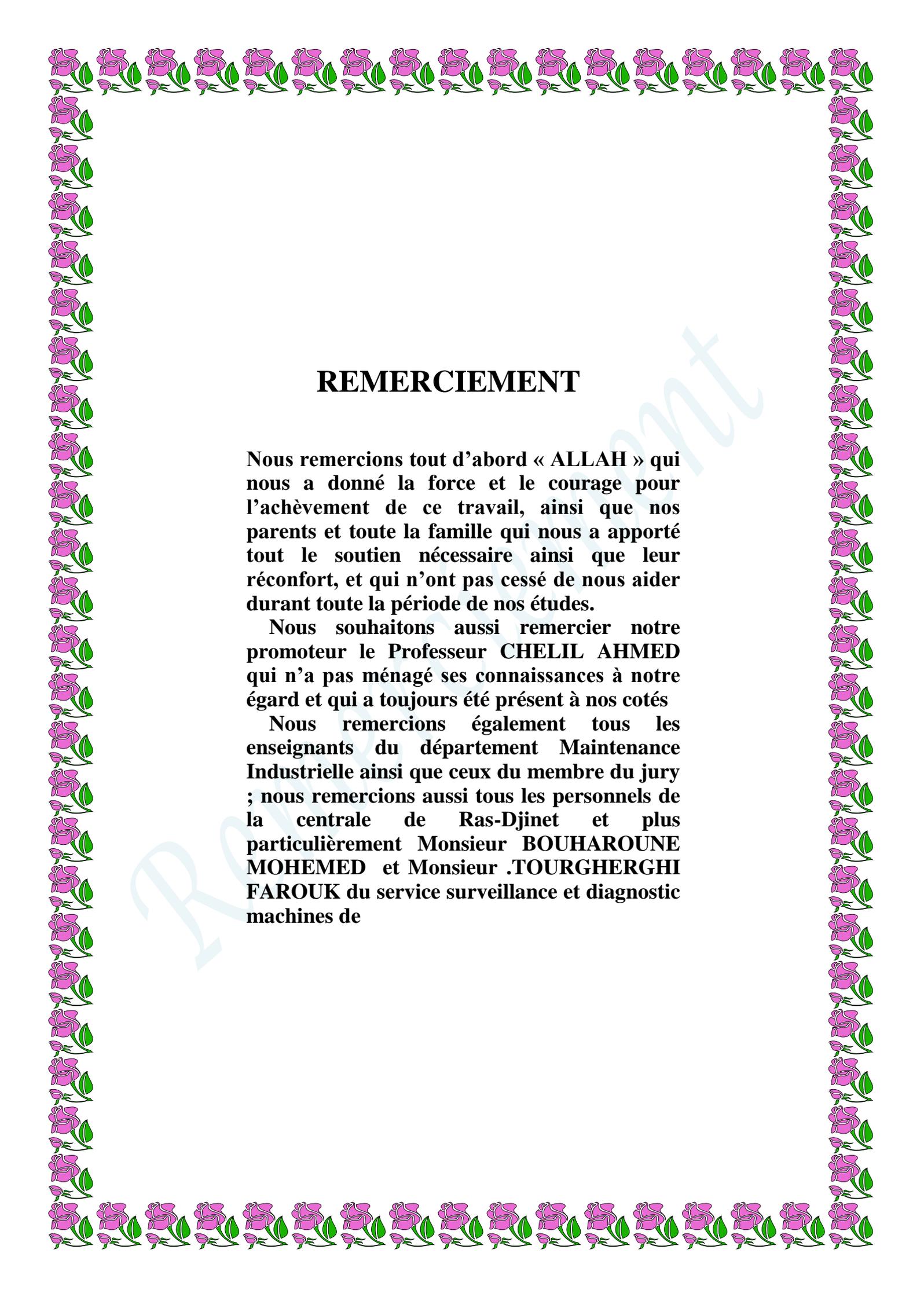
*A mes frères*

*A mes sœurs*

*A toute la famille*

*A tous mes amis (en exception frère  
DICHOU, MOHEMED, OMAR, FOUAD)*

*BOUSSALAH SIDALI*



## **REMERCIEMENT**

**Nous remercions tout d'abord « ALLAH » qui nous a donné la force et le courage pour l'achèvement de ce travail, ainsi que nos parents et toute la famille qui nous a apporté tout le soutien nécessaire ainsi que leur réconfort, et qui n'ont pas cessé de nous aider durant toute la période de nos études.**

**Nous souhaitons aussi remercier notre promoteur le Professeur CHELIL AHMED qui n'a pas ménagé ses connaissances à notre égard et qui a toujours été présent à nos cotés**

**Nous remercions également tous les enseignants du département Maintenance Industrielle ainsi que ceux du membre du jury ; nous remercions aussi tous les personnels de la centrale de Ras-Djinet et plus particulièrement Monsieur BOUHAROUNE MOHEMED et Monsieur .TOURGHERGHI FAROUK du service surveillance et diagnostic machines de**

# Sommaire

Introduction Générale.....	1
----------------------------	---

## Chapitre I : Présentation et description

I.1. Présentation de la centrale Thermique de Cap Djinet.....	3
I.1.1. historique de la centrale.....	3
I.1.2 Commande et contrôles .....	5
I.1.3 Système de surveillance, d’alarme et d’analyse.....	5
I.1.4 Salle de commande centralisée .....	5
I.1.5 Rôle de la centrale thermique.....	6
I.1.6 les principaux organes de la centrale.....	7
I.1.7 principe de fonctionnement de la centrale thermique .....	7
a) Circuit liquide.....	7
b) Circuit vapeur.....	7
c) Schéma de circuit d’eau- vapeur .....	8
I.2 Description du GTA.....	8
I.2.1 description de la turbine à vapeur .....	8
I.2.2 Introduction .....	8
I.2.3 Turbine à vapeur de la centrale .....	8
a) Corps haut pression (HP).....	9
b) Corps moyenne pression (MP).....	10
c) Corps à base pression (BP).....	11
I.3 Alternateur .....	12
I.3.1. description de l’alternateur.....	12
I.3.2. L’inducteur .....	12
I.3.3. L’induit.....	13
I.4.1 fonctionnement de la turbine à vapeur .....	14
I.4.2 présentation de cycle thermodynamique .....	14
I.4.3. cycle de Rankine .....	16

## Chapitre II : Généralités sur la maintenance

I. Introduction.....	17
II.1.Généralités .....	17
II.1.1.Définition générale.....	17
II.1.2.Objectifs de la maintenance .....	17
II.1.3.Les différents types de maintenance .....	18

II.1.3.1. La maintenance corrective .....	18
II.1.3.1.1. Les opérations de la maintenance corrective .....	19
II.1.3.2. La maintenance préventive .....	19
II.1.3.2.1. Différentes formes de maintenance préventive .....	19
a) Maintenance préventive systématique .....	19
b) Maintenance préventive conditionnelle .....	19
II.1.3.1.2. Les opérations de la maintenance préventive .....	20
II.1.4. Les autres opérations de maintenance .....	20
II.1.4.1. Les opérations annexes de la maintenance .....	20
II.2. Les niveaux de la maintenance .....	21
II.3. Surveillance .....	22
II.3.1. Définition .....	22
II.3.2. Fonction : .....	22
II.3.3. Détection .....	22
II.3.4. Diagnostic .....	23
II.4. Le choix de type de suivi .....	23
II.4.1. La surveillance périodique « « OF LINE » » .....	23
II.4.2. La surveillance en continu « « ON LINE » » : .....	23
Conclusion : .....	24

### **Chapitre III: Notion des vibrations**

Introduction .....	25
III .1. Définition .....	25
III .2. Origine des vibrations .....	25
III.2.1. Vibrations de machines voisines .....	25
III.2.2. vibrations d'origine électrique .....	25
III.2.3. Résonance de la structure ou du rotor .....	25
III.3. Les différentes formes de vibration .....	25
III.3.1. Vibration harmonique .....	25
III.3.2. Vibration périodique : .....	26
III.3.3. Vibration aperiodique : .....	27
III.4. Représentations d'un signal vibratoire : .....	27
III.4.1. Représentation temporelle .....	28
III.4.2. Représentation vectorielle : .....	28
III.4.3. Représentation spectral (fréquentielle) : .....	29
III.5. La classification des signaux : .....	30
III.6. Etude des Caractéristiques vibratoires : .....	31
a. Amplitude : .....	31

a.1. Valeur maximale $X_c$ :	31
a.2. Valeur Crête à Crête :	31
a.3. Valeur moyenne :	31
a.4. Valeur efficace :	32
b. Fréquence :	32
c. phase :	32
III.7. Les grandeurs de mesure d'une vibration mécanique :	32
a. Le déplacement vibratoire :	32
b. La vitesse vibratoire.....	32
c. L'accélération .....	33
III.8. Les capteurs pour la détection des vibrations.....	33
a. Les capteurs de déplacement .....	33
b. Capteur de vitesse.....	34
a) Les capteurs d'accélération.....	35
III.9. Les vibrations relatives et vibrations absolue .....	35
Conclusion.....	36

#### **Chapitre IV: Défauts du Groupe Turbo-alternateur**

IV.1. Introduction .....	37
IV.2. Les défauts proposées à étudier .....	37
IV.2.1. Déséquilibre : défaut de balourd .....	37
IV.2.1.1 Définition .....	37
IV.2.1.2. L'origine des défauts de balourd .....	38
IV.2.1.3. Les types de balourd.....	38
IV.2.1.4. Signature vibratoire .....	40
IV.2.2. Défaut de désalignement .....	42
IV.2.2.1. Définition .....	42
IV.2.2.2. Les causes du désalignement .....	42
IV.2.2.3. Les types de désalignement .....	43
IV.2.3. Défauts de serrage .....	45
IV.2.4. Défauts des paliers lisses :	46
IV.2.4.1 Généralités :	46
IV.2.4.2. Instabilités de paliers :	47
IV.2.4.3. Fouettement et tournoiement :	47
IV.2.4.4. Origine des instabilités :	47
Conclusion .....	48

## Chapitre V: Etude Expérimentale

V.1. Introduction .....	49
V.2. But de travail .....	49
V.3. Les outils de mesures .....	49
V.3.1. Description de système VIBROCAM 4000 .....	49
a) Fonctionnement « « ON-LINE » » .....	50
b) Fonctionnement « « OFF-LINE » » .....	51
a.1 Capteur des vibrations .....	52
c) Logiciel de diagnostic et d'analyse VIBRO-EXPERT CM 400 .....	54
V.4. Partie manipulation .....	55
V.4.1. Les points de mesures .....	55
V.4.2. Matériel utilisé dans l'équilibrage .....	56
a) OROS séries 3 .....	56
b) Avantage et Inconvénient de ce système .....	57
c) Logiciel associé avec OROS est le NVGate .....	57
V.4.3. Les normes à suivre à la surveillance .....	57
a) Vibrations Relatives Selon La Norme ISO 7919-2 .....	57
b) Vibrations Absolue Selon La Norme ISO10816-2 .....	58
V.4.4. L'équilibrage .....	61
a) Définition de l'équilibrage statique .....	61
b) Définition de l'équilibrage dynamique .....	61
Conclusion .....	65
Conclusion Générale .....	66

### Annexes

Annexes .....	67
---------------	----

### Bibliographe

Références bibliographiques .....	82
-----------------------------------	----

## Liste des figures

Figure I.1 : Photo de central.....	4
Figure I.2 : Salle de commande centralisée .....	5
Figure I.3 : Rôle de la centrale thermique.....	6
Figure I.4 : Schéma de circuit d'eau- vapeur.....	8
Figure I.4 : Photo de corps HP.....	10
Figure I.5 : Photo de corps MP.....	11
Figure I.6 : Photo de corps BP.....	11
Figure I.7 : Photo de partie mobile de la machine (l'inducteur).....	12
Figure I.8 : Photo de partie fixe de l'alternateur (l'induit) .....	13
Figure I.9 : Photo que représente le cycle à vapeur .....	15
Figure I.9 : Photo que représente le cycle de Rankine.....	16
Figure II.1 : les différentes formes de maintenance .....	18
Figure II.2 : fonctions de surveillance .....	22
Figure II.3 : la chaîne de mesure vibratoire on line .....	24
Figure III.1: vibration harmonique .....	26
Figure III.2: vibration périodique .....	26
Figure III.3: vibration aperiodique.....	27
Figure III.4: représentation temporelle .....	28
Figure III.5. Représentation vectorielle .....	28
Figure III.6: représentation spectral.....	29
Figure III.7 : Echelle linéaire.....	29
Figure III.8 :Echelle logarithmique .....	30
Figure III.9 : classification des signaux .....	30
Figure III 10 : Les modes de détection .....	31
Figure III.10: Capteur de déplacement .....	33
Figure III.11 : Capteur de vitesse.....	34
Figure III.12 : Capteur d'accélération .....	35
Figure IV. 1: Tolérances d'usinage sur un rotor.....	37
Figure IV. 2: spectre théorique d'un défaut de balourd .....	37
Figure IV. 3 : Exemples de défaut induisant un balourd. ....	38
Figure IV.4: balourd statique.....	39
Figure IV. 5: balourd couple.....	39
Figure IV.6 : balourd dynamique.....	40

Figure IV.3.b : balourd initial .....	40
Figure IV.3 : spectre d'un balourd initial.....	41
Figure IV.3 : Balourd évolué .....	41
Figure IV.7: défauts d'alignement d'arbres.....	42
Figure IV.8: Signale d'un défaut d'alignement radial.....	43
Figure IV.9: Spectre théorique d'alignement radial.....	44
Figure IV.10: Spectre théorique de désalignement angulaire.....	44
Figure IV.11: Défaut d'usure d'accouplement .....	45
Figure IV.12: paliers lisses hydrodynamiques.....	46
Figure IV.13: Spectre théorique d'un défaut d'une instabilité de paliers .....	47
Figure V.1 : organigramme de VIBROCAM 4000 .....	50
Figure V.2: photo de système de control ON-LINE .....	51
Figure V.3 : photo de SCHENCK .....	52
Figure V.4 : Accéléromètre .....	52
Figure V.5 : collecteur de données portable SCHENCK.....	53
Figure V.6 : VIBROEXPERT CM-400.....	54
Figure V.7: représentation des sept paliers de GTA .....	55
Figure V.9: les différentes capacités de matériel OROS (2 à 32 voies) .....	56
Figure V.7: les positions des mesures.....	56
Figure V.10: représentation temporel .....	59
Figure V.11: spectre en axial de défaut .....	59
Figure V. 12 : spectre en vertical de défaut .....	60
Figure V.13: la position des 14 masses en corps BP .....	61
Figure V.14: positionnements des masses de correction .....	62
Figure V.15: représentation temporel après l'équilibrage.....	64
Figure V.6 : représentation spectral en position vertical après l'équilibrage .....	64

## Liste des tableaux

Tableau II.1 Présentation les cinq niveaux de maintenance.....	21
Tableau V.1 : représentation des principaux avantages et inconvénients de l'OROS [9] .....	57
Tableau V.2 : classement des vibrations selon le danger d'après la norme ISO. ....	58
Tableau V.3 : classement des vibrations selon le danger d'après la norme ISO. ....	58
Tableau V.4: les résultants de premières mesures à 160 MW. ....	58
Tableau V.5 : les mesures après soulèvement de la chaise palier N°1(HP) de 0,5mm.....	61
Tableau V.6: les mesures effectuait après les 14 masses a différent régime. ....	62
Tableau V.7: les mesures effectuait après les masses de correction a différent régime. ....	64
Tableau V.8 : comparaison entre les deux systèmes de surveillances.....	65

## ملخص

رصد الاهتزازات في الآلات الدوارة في المصانع يلعب دورا هاما في تمديد حياة الآلات وفقا لهذا قمنا بتعريف طريقة OFF-LINE وON-LINE لتمديد حقل دراسة العطوب بحيث ندمج التحليل شكلي متناسق ومؤقت لمختلف الآلات و دراسة سلوك العمل الحقيقي بتوظيف العيوب الاهتزازية. قمنا بتطبيق الطريقتين علي GTA لوحدة 10 رأس جنات لإعطاء فكرة حول أهمية استعمال هذه الطرق في إيجاد و تحليل مشاكل الاهتزازات

**الكلمات المفتاحية**  
الاهتزازات، الآلات الدوارة، العطوب، المراقبة.

## Résumé

La surveillance vibratoire des machines tournantes dans l'industrie jeux un rôle très important pour prolongée la durée de vie des équipements, en fonction de sa nous avons déterminé les méthodes OFF-LINE, ON-LINE, pour élargir le champ d'étude des défauts, tout en intégrant l'analyse modale, harmonique et transitoire des déférentes machines et étudier leur comportement de fonctionnement réel en fonction des défauts vibratoires.

Nous avons réalisé une application sur le groupe turboalternateur(GTA) site 10 de Cap Djinet, pour donner une aidée générale sur l'intérêt d'utilisation des ces méthodes pour l'analyse des problèmes vibratoire.

### **Mot clé**

Vibration, les machines tournantes, défaut, surveillance.

## Abstract

Vibration monitoring of rotating machinery in industry play a very important role for the extended life of equipment, according to his we were determining method OFF-LINE, ON-LINE, to broaden the study of defects failure , while integrating the modal analysis , Harmonic and transient of different machines and study the real operating behavior depending on the vibration defect.

We were establishing an application on the Turbo alternator group (GTA) site 10 Cap Djinet , for give a general idea about the value of using this method for analysis of the vibration problem.

### **Keys word**

Vibration, rotating machinery, defect, monitoring.



# **Introduction Générale**

## Introduction Générale

Le secteur de l'énergie est l'un des secteurs les plus stratégiques pour assurer le développement économique, et même pour garantir la sécurité d'un pays.

L'intérêt de l'énergie électrique est d'exaucer les besoins des consommateurs en quantité (Puissance demandée), et en qualité (continuité). Ce qui pousse notre pays à donner une grande importance à ce domaine.

Aujourd'hui, l'électricité est devenue une énergie incontournable, sans elle, plus d'éclairage, ni distribution d'eau, ni de communication.....La production de l'électricité s'articule autour de trois objectifs :

- Garantir l'indépendance énergétique
- Fournir l'électricité au moindre coût
- Développer la production l'énergie renouvelable

Une centrale thermique produit l'énergie électrique à partir d'une énergie calorifique obtenue en brûlant du charbon, du fioul ou du gaz (dans notre cas si de gaz). Cette dernière est composée de plusieurs organes qu'il assure la bonne marche de système.

Le développement de l'industrie exige un système d'appareillage qui permet d'améliorer le travail, accélérer les rythmes de productivité, augmenter les produits finis et diminuer les coûts d'intervention. Les machines tournantes jouent un rôle vital dans la production. Pour éviter des arrêts de production, il faut surveiller en permanence ces équipements et "traquer" tous les signes précurseurs de défauts avant qu'il ne soit trop tard.

La maintenance est encore ( au-delà du dépannage et de la réparation qui concrétisent une de ses formes ) surveillance, contrôle, révision, rénovation, correction, prévention, amélioration. Elle implique une parfaite maîtrise du processus de production , elle fait donc appel à une approche globale qui lui est propre et à des outils de plus en plus performants, Lorsque la politique ou la stratégie de maintenance est définie, on doit choisir ensuite la méthode la plus appropriée pour atteindre les objectifs fixés, le choix de cette méthode dépendra également d'autres paramètres à savoir

La lutte pour la qualité, l'environnement, la santé et sécurité est engagée à chaque étape de la conception et de la fabrication du produit dont il faut des moyens parfaitement adaptés et en parfaite condition de fonctionnement.

Les vibrations sont les oscillations mécaniques d'un objet près de son point d'équilibre. Les vibrations des systèmes dans l'industrie causent des dommages aux matériels, Pour cela, il existe une grande variété de techniques d'analyse. L'analyse vibratoire est la plus connue et la plus largement employée. Il faut dire qu'elle permet de détecter pratiquement tous les défauts susceptibles d'apparaître dans les machines tournantes. Un balourd, un jeu, un défaut d'alignement,

# Introduction Générale

---

usé ou endommagé... Les méthodes de la surveillance vibratoire ont toujours des procédées de diagnostic, utilisés pour la détection des défauts.

Pour les raison économique, il faut assurer la disponibilité des moyens de production d'électricité avec un cout optimum.

Comme les centrales thermiques de production d'électricité telle que la centrale de Ras-Djinet contiennent des machines vitales (turbines, alternateurs et...) qui marchent en permanence et avec une vitesse constante, donc il faut éviter le minimum des vibrations. Pour cela il faut une surveillance et une analyse vibratoire permanente réalisée par des gents qualifiés.

Nous avons choisi le sujet qui concerne l'étude des phénomènes vibratoires de la turbine d'un groupe turboalternateur à cause des paramètres suivants :

- l'intérêt et le besoin de l'analyse vibratoire dans l'industrie.
- l'existence des moyens dans la centrale pour faire l'analyse vibratoire et même pour les autres types d'analyse de la maintenance prédictive.
- L'existence des phénomènes vibratoires bien remarquables sur l'un des paliers de la turbine et qui représentent un grand risque sur le comportement mécanique de la turbine.
- Le bon bagage et la bonne connaissance dans les vibrations à cause de bon enseignement et bon encadrement (cours de cinquième année de la mécanique vibratoire avec notre professeur Mr. Chelil).

La planification et le déroulement du travail dans ce mémoire ont été basés sur les points suivants.

- Un premier chapitre qui contient des petits résumés sur la présentation et description des principaux équipements dans la centrale. tout ça pour donner au lecteur une notion générale sur le lieu du stage.
- Un deuxième chapitre ou nous avons fait une étude sur les généralités de maintenance pour mettre le lecteur à un point de vu globale sur tout les politique de maintenance suivé à la central de Cap Djinet.
- Nous avons passé dans le troisième chapitre à donner des notions générales sur les théories des vibrations concernant les types des vibrations, les modes des vibrations et le formulaire pour faire l'étude vibratoire et même les types des signaux vibratoires proposé dans les systèmes mécaniques
- Pour le quatrième chapitre qui contient quel que défaut proposé dans la GTA avec leur spectre théorique,.
- Le cinquième chapitre est une étude expérimentale où nous avons indiqué les résultats de mesures ainsi que l'interprétation des résultats avent et après une équilibrage fait par des agent de siemens.

# **CHAPITRE I : Présentation Et Description**

## I.1. Présentation de la centrale Thermique de Cap Djinet

### I.1.1. historique de la centrale

La centrale thermique de Cap Djinet est située au bord de mer, à 75 KM du coté d'Alger, près de la ville de Boumerdes. Elle est implantée sur une superficie de 35 hectares.

le choix du site revient à:

- La possibilité d'extension
- A proximité des consommateurs importants, situés notamment dans la zone industrielle Rouiba-Reghaia
- Condition du sous sol favorable, ne nécessitant pas de fondations profondes.

La centrale a été construite par un consortium Austro-allemand : SIEMENS-KWUSGP.

KWU : KRAFTWERK-AG (RFA)

SGP : SIMMERING GRAZ PAUKER (Autriche)

SIEMENS (Autriche)

Qui avaient la responsabilité des études, de la supervision du montage et du contrôle de l'ouvrage, ainsi que d'une entreprise Espagnole (DRAGADOS) à laquelle a été confiée la réalisation de la prise d'eau de mer.

Les principales entreprises algériennes qui ont participé à la réalisation de la centrale sont les suivantes : ENCC, ETTERKIB, BATIMETAL, GENISIDER, INERGA, SNLB, PROSIDER, ENATUB, SNIC, GTP, SONATRAM, SOGEP.

La mise en service de groupe s'est effectuée comme suit :

- Groupe1, couplage sur réseau le 17/06/1986
- Groupe2, couplage sur réseau le 17/09/1986
- Groupe3, couplage sur réseau le 29/11/1986
- Groupe4, couplage sur réseau le 21/02/1987



Figure I.1 Photo de central.

La centrale thermique de Cap Djinet se compose de 04 tranches de type thermique à vapeur d'une puissance nominale unitaire de 176KW à borne de l'alternateur (BA).

La puissance totale installée est de 704 MW(BA), la puissance fournie au réseau est de 672MW borne usine (BU) à la consommation totale des auxiliaires des 04 tranches et des auxiliaires communs est d'environ 32MW, et de trois groupes chaudières à pour rôle de transformer l'eau en vapeur sous haute pression pour alimenter le groupe turbo-alternateur (GTA) d'une capacité de vaporisation maximale de 523T /h sous une pression de service de 160 bars à une température de vapeur de 540 °C, le débit nominal combustible par groupe est de 40 000 m<sup>3</sup>/h en marche avec gaz au fuel.

- La chambre de combustion formée par les tubes écrans (faisceaux vaporisation).
- Ballon (réservoir) et 01 économiseur.
- 03 surchauffeurs et 02 resurchauffeurs.
- 03 désurchauffeurs par injection d'eau pour la régulation de la vapeur.
- 04 colonnes de descentes.
- 08 brûleurs de combustion mixte gaz /fuel.
- 02 ventilateurs de recyclage, ont pour rôle de recycler, en fonction de la charge, une partie des fumées issues de la combustion afin de régler la température à la sortie du resurchauffeur.
- 02 prés chauffeurs d'air à vapeur, servent à l'augmentation de la température de d'air de combustion avant le réchauffeur rotatif.
- Réchauffeur rotatif d'air de combustion, sert à réchauffer l'air de combustion par récupération de chaleur des fumées.

- Les générateurs de vapeur sont de type pressurisé à circulation naturelle (circulation naturelle de l'eau et de la vapeur, l'eau qui arrive par gravité vers les tubes écrans, sera vaporisée sous l'effet de la combustion, et la vapeur produite, sera acheminée vers la partie supérieure du ballon chaudière par différence de densité avec l'eau).

### I.1.2 Commande et contrôles

La centrale se caractérise par un degré d'automatisme de centralisation des commandes

On dénombre une quarantaine de chaîne de régulation par groupe de production qui permette un pilotage automatique du groupe

### I.1.3 Système de surveillance, d'alarme et d'analyse

Pour permettre une bonne conduite du groupe de production des paramètres d'exploitation (température, pression, niveau d'eau vibration,.....), des différents équipements du groupe ,sont indiqués, enregistrés en permanence en salle de commande et signalé en cas de dépassement de seuil.

Pour une analyse en cas d'incident un consigneur d'état est installé.

Il permet d'enregistrer les alarmes dans un ordre chronologique.

### I.1.4 Salle de commande centralisée

Chaque partie de tranche est contrôlée et réglée depuis une salle de commande. La salle de commande comprend pour chaque tranche :

- Deux pupitres de conduites.
- Deux tableaux verticaux où sont rassemblés les organes de commande et les appareils d'enregistrement de la plus grande partie des paramètres.

Un tableau synoptique schématisant les auxiliaires électrique

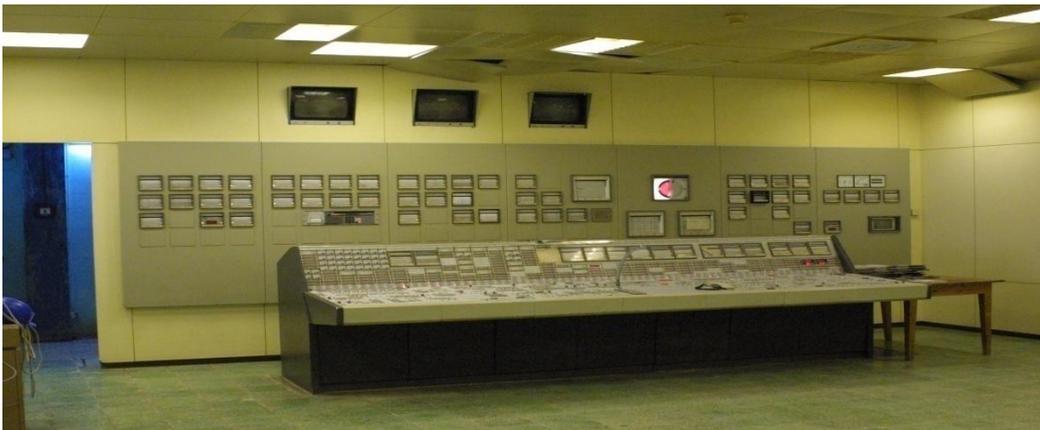


Figure I.2 : Salle de commande centralisée.

### I.1.5 Rôle de la centrale thermique

Le rôle d'une centrale thermique est de transformer l'énergie chimique dans un combustible, en énergie électrique en passant par l'intermédiaire de l'énergie thermique et mécanique. Cette transformation s'opère dans divers appareils en utilisant les propriétés physiques de l'eau sous ses diverses formes liquides et vapeur.

Ces transformations sont données par le schéma suivant :

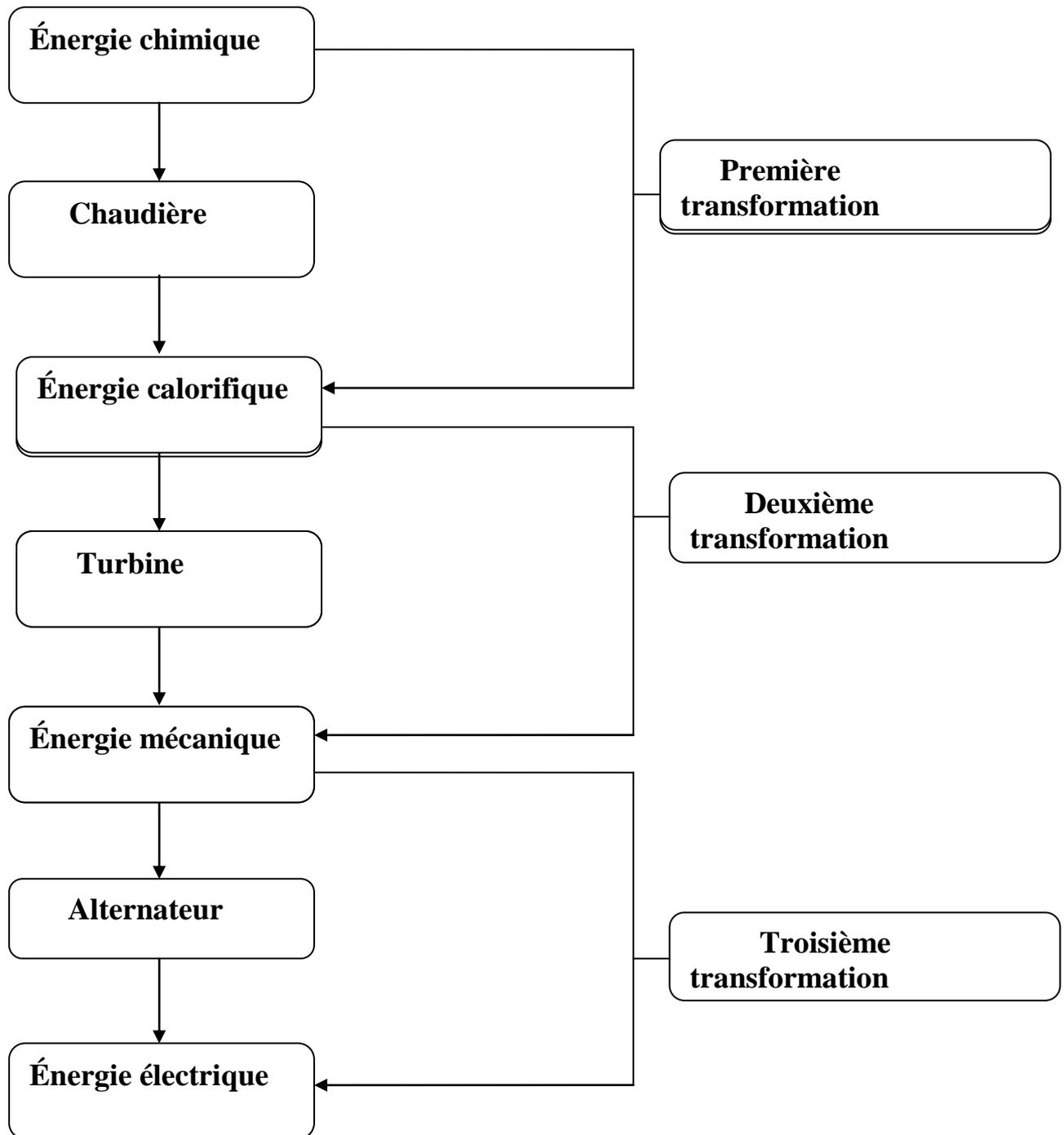


Figure I.3 : Rôle de la centrale thermique.

### I.1.6 les principaux organes de la centrale

- Générateur de vapeur (chaudière).
- Turbine à vapeur.
- Condenseur.
- Bâche alimentaire.
- Pompe de d'extraction.
- Pompe d'alimentation.
- Réchauffeur haute pression.
- Réchauffeur basse pression.
- Alternateur

### I.1.7 principe de fonctionnement de la centrale thermique

Dans la centrale thermique l'eau peut être dans un état liquide comme il peut être dans un état vapeur, et ceci dépend du circuit traverse.

#### a) Circuit liquide

L'eau extraite depuis de condenseur passe par les trois réchauffeurs basses pression (BP1),(BP2),(BP3) puis la bâche alimentaire .l'eau est pompée par les pompes alimentaires vers l'économiseur qui se trouve en fin de parcours des gaz de combustion et comme son rôle principale est le réchauffement de l'eau d'alimentaire et puis il est conduit aux écrans vaporisateurs par les quatre colonnes de descentes.après un temps d'échauffement, un mélange eau vapeur monte vers le ballon chaudière où se produit une séparation entre l'eau et la vapeur

#### b) Circuit vapeur

La vapeur séparée dans le ballon chaudière est menée par les tubes ascendants. Elle parcourt le premier désurchauffeur et ensuite par le deuxième surchauffeur, et elle traverse le deuxième désurchauffeur avant d'arrive au dernier surchauffeur.

La vapeur surchauffée quitte la chaudière et elle détendue dans le corps (HP) de la turbine .après la détente elle est récupérée pour être désurchauffée qui servent à la stabilité de la température de sortie.

La vapeur surchauffée est détendue dans le corps (MP) de la turbine et continue sa détente dans le corps(BP).Elle est ensuite dirigée vers le condenseur ou elle se condense dans le puits.

### C. Schéma de circuit d'eau- vapeur

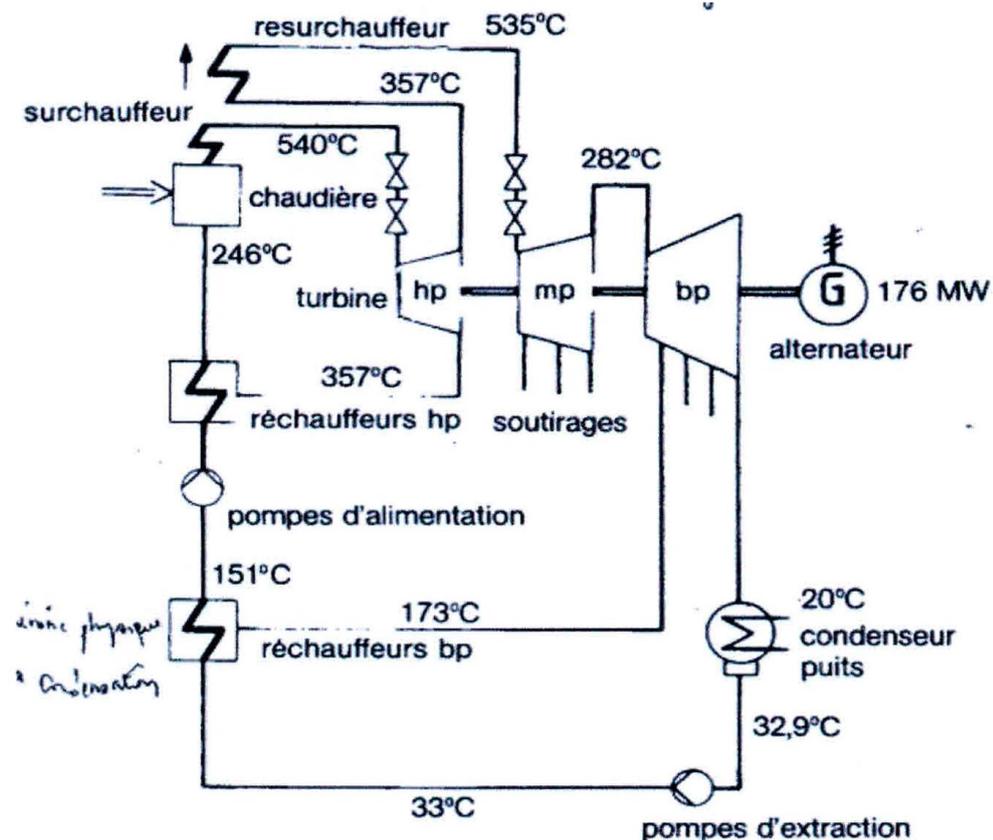


Figure I.4 : Schéma de circuit d'eau- vapeur.

## I.2 Description du GTA

### I.2.1 description de la turbine à vapeur

#### I.2.2 Introduction

La turbine à vapeur, comme toutes les turbomachines, sont des appareils à écoulement continu, qui prêtent, dans les conditions économiques, à la production de l'énergie électrique à partir de la vapeur.

Ces machines jouent un rôle important dans la production de l'énergie électrique à cause des avantages qu'elles présentent comparativement à d'autres modes de production d'énergie de même type.

#### I.2.3 Turbine à vapeur de la centrale

La turbine à vapeur de la centrale de Cap Djinet est une machine à une seule ligne d'arbre de type à condensation et à simple resurchauffe. Elle comporte six soutirages qui alimentent les réchauffeurs BP (Basse Pression), HP (Haute Pression) et la bache alimentaire et elle est composée de trois corps HP, MP (Moyenne Pression) et BP qui sont séparés. Les rotors de la turbine et de l'alternateur sont accouplés rigidement [3].

## Ses caractéristiques sont

- Numéro de la machine : N° 117327.
- Longueur : 13.725 m.
- Largeur : 13 m.
- Pression : 138.2 bars.
- Température vapeur : 535 °C.
- Vitesse de rotation : 3000 tr/mn.
- Fréquence : 50 Hz.
- Pression de la vapeur d'échappement : 0.05 bar.
- Puissance : 176 MW.
- Poids : 500 tonnes.

## **Aubages**

Hormis l'étage de réglage, toute la turbine est du type à réaction. Les aubes mobiles des corps HP sont fraisées dans la masse avec un pied en forme de marteau et tenon.

Les dernières étages de corps BP sont dotés d'aubes à profil gauche venues de matrice dont le pied en forme de sapin ou de marteau double est émanché dans les rainures correspondante de l'arbre. Les aubes directrices des corps MP et HP soumises à de fortes sollicitations sont fraisées dans la masse avec un pied en forme de marteau et un tenon comme les aubes mobiles.

Les autres aubes directrices ont un pied en forme de crochet et un tenon river. Les trios dernières étages du corps BP sont constitués par des couronnes d'aubes directrices en tôle.

### **a) Corps haut pression (HP)**

Le corps HP de la turbine est une construction en tonneau. Ce dernier est équipé d'un étage de régularisation par groupe de tuyères. Quatre ensembles combine vannes d'arrêt/soupapes régulatrices sont associées à autant de groupes de tuyères qui sont disposée de coté du corps [3] [5].

La vapeur conduite à la turbine par l'intermédiaire des tuyères parvient aux soupapes régulatrices après avoir traversé les vannes d'arrêt. A partir de ces soupapes la vapeur s'écoule dans l'enveloppe.

Des clapets anti-retour sont montrés sur les tuyères de resurchauffe entre le corps HP et le resurchauffeur pour empêcher le reflux chaud du resurchauffeur vers le corps MP.

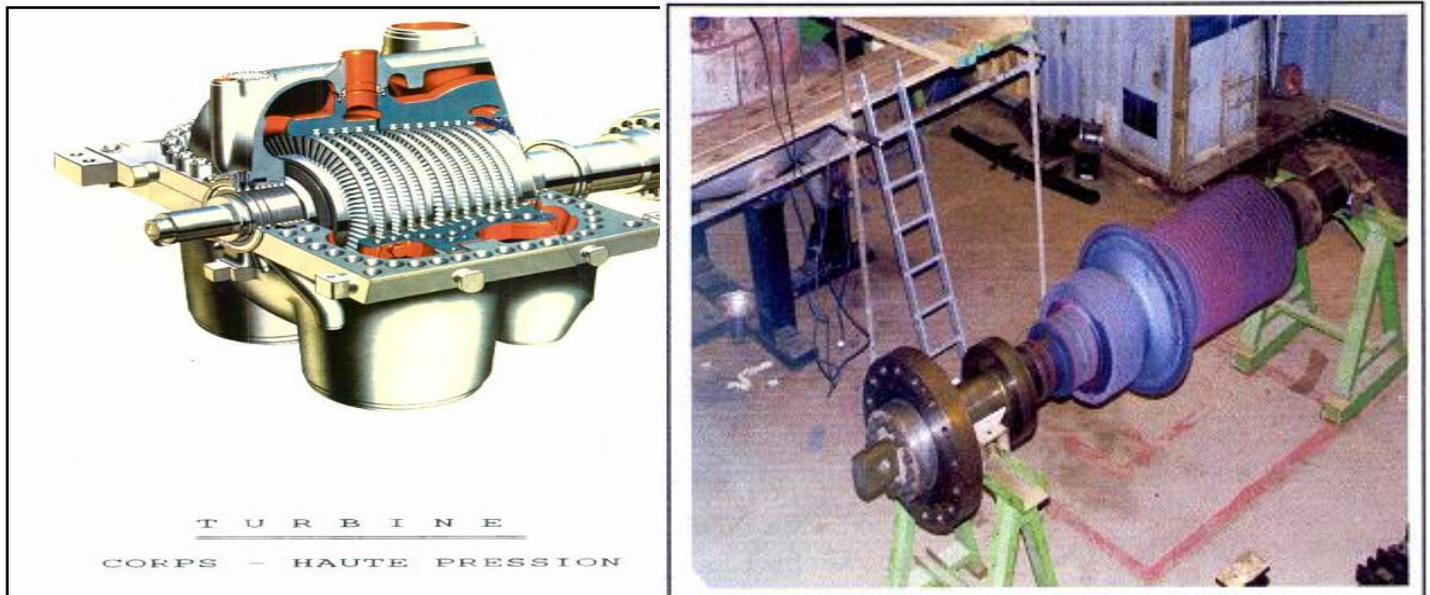


Figure I.5 : Photo de corps HP.

Ses caractéristiques sont

- Corps : simple flux.
- Débit vapeur : 232 t/h.
- Pression vapeur : 138 bars.
- Température vapeur : 535 °C.
- Etage de réglage à action : 1.
- Etage à réaction : 23.

**b) Corps moyenne pression (MP)**

Le corps MP est à double flux. L'enveloppe externe possède un plan de joint horizontale. Elle porte l'enveloppe interne montée de façon à ne pas entraver les dilatations thermiques. Les aubes directrices sont logées dans l'enveloppe interne et la vapeur resurchauffée pénètre au milieu de l'enveloppe interne par le bas et le haut. La présence de l'enveloppe interne limite les caractéristiques élevées de la vapeur à la zone d'admission de cette enveloppe, alors le joint horizontal de l'enveloppe n'est exposé qu'aux faibles pressions et à la température réduite de la vapeur à la sortie de l'enveloppe interne [3].

Ses caractéristiques sont

- Corps : double flux.
- Nombre d'étage à réactions : 2\*19.
- Pression à l'admission : 35.9 bar.
- Température de la vapeur : 535 °C.
- Débit de vapeur : 467.7 t/h.

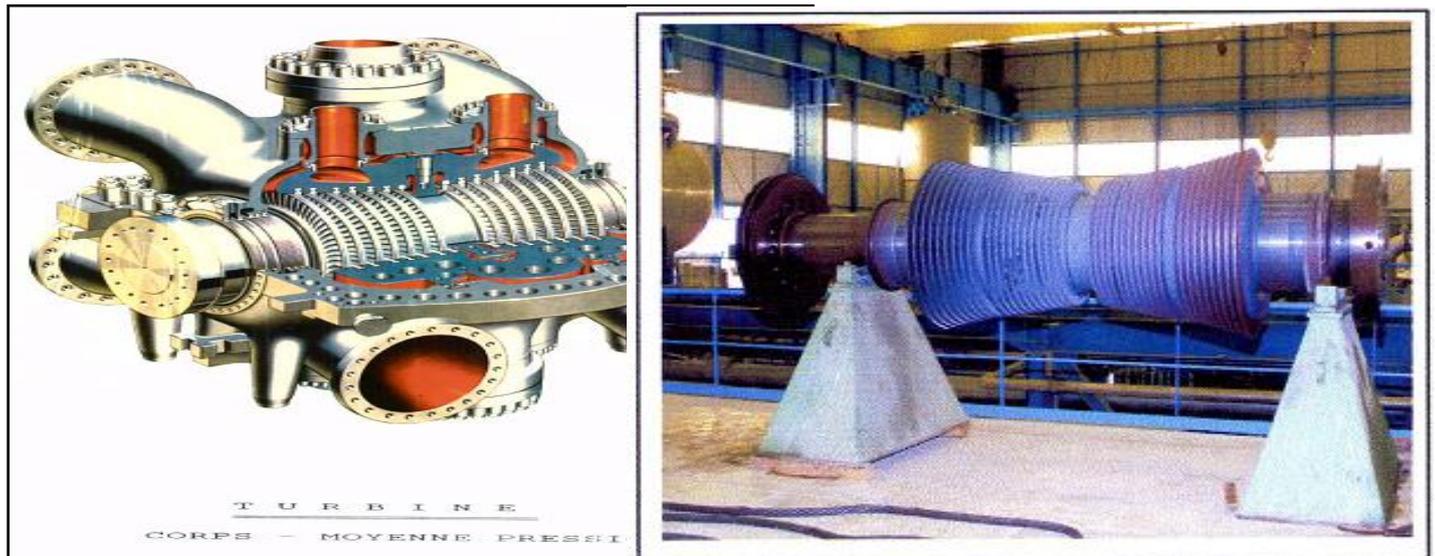


Figure I.6 : Photo de corps MP

### c) Corps à base pression (BP)

Le corps BP (basse pression) est du type à double flux. Il s'agit d'une construction mécano-soudée comprenant une carcasse et une double enveloppe. La vapeur provenant du corps MP pénètre dans le corps interne de l'enveloppe double en amont des aubages BP par les pipes d'admission disposées de part et d'autre du corps BP [3].

Des compensateurs sont montés sur les gaines de vapeur pour éviter la déformation sous l'effet de dilatation thermique.

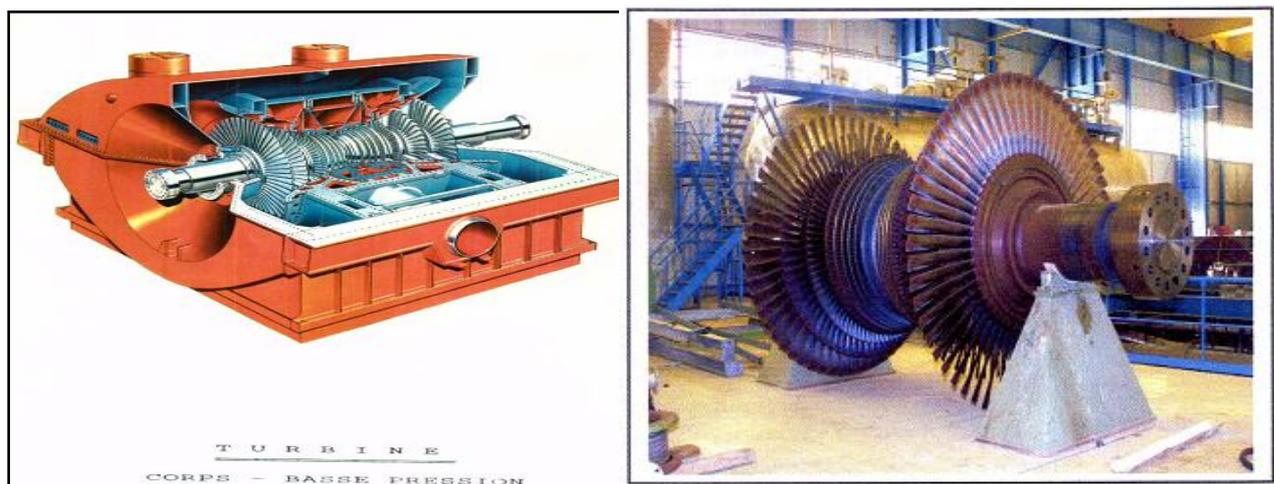


Figure I.7 : Photo de corps BP.

Ses caractéristiques sont :

- Corps : double flux
- Nombre d'étage à réactions : 2\*8
- Pression à l'admission : 5.5 bar
- Température de la vapeur : 282°C.
- Débit de vapeur : 406 t/h.

**I.3 Alternateur****I.3.1. description de l'alternateur**

Il transforme l'énergie mécanique de la turbine en énergie électrique.

Il est refroidi par l'hydrogène en circuit fermé qui présente des avantages par rapport à l'air.

Parmi ces avantages : la faible densité et une grande conductibilité thermique ce qui permet de déduire les pertes de chaleur lors de la ventilation, ainsi que la chaleur dégagée par l'alternateur est récupérée par l'eau d'alimentation [1].

L'alternateur se compose essentiellement de deux organes, l'inducteur alimenté par de la courante continue basse tension, et l'induit où est se développe la façon électromotrice alternative.

**I.3.2. L'inducteur**

C'est la partie mobile de la machine, d'où le nom rotor est souvent donné. Son corps est tiré d'une seule pièce forgée en acier à haute perméabilité magnétique. Environ 2/3 de sa circonférence est occupée par l'enroulement de l'excitation [1] [2].

Les bobines concentrées de l'enroulement sont ainsi disposées de façon à obtenir une distribution du champ magnétique à l'entrefer presque sinusoïdale. L'isolation contre masse des conducteurs est réalisée par du papier aramide.



Figure I.8 : Photo de partie mobile de la machine (l'inducteur).

### I.3.3. L'induit

Appelé couramment le stator, est formé de tôles isolées les empilées les unes sur les autres, de sorte à constituer un cylindre, dans lequel tourne l'inducteur. Sur la surface interne de ce cylindre sont disposés les conducteurs où prend naissance la force électromotrice (f.e.m) générée [1],[2].



Figure I.9 : Photo de partie fixe de l'alternateur (l'induit).

La carcasse, le noyau magnétique et l'enroulement représentent les principaux éléments de l'induit :

✓ **Carcasse**

Dimensionnée, avec des passages des gaz de réfrigération, pour résister à la pression qu'ils exercent d'une part et d'autre part pour maintenir le poids des parties interne.

✓ **Noyau magnétique**

Conçu à base de tôle en acier doux collées et isolées entre elles, afin de minimiser les courants de Foucault et les pertes par hystérésis.

✓ **Enroulement**

Il est de type triphasé imbriqué, constitué de conducteurs élémentaires en cuivre, dont l'isolation principale est en papier de mica. A chaque encoche creusée dans le noyau sont logées deux barres dans le but d'atteindre un enroulement comportant plus de conducteurs par pôles et par phase.

Caractéristiques technique de l'alternateur

- Température nominale : 15.5 KV
- La longueur : 7.340 m.
- $\cos \varphi = 0.8$
- Excitation : à diodes tournantes.
- Poids du stator complet : 198 tonnes.

**I.4.1 fonctionnement de la turbine à vapeur**

L'énergie peut se manifester sous diverses formes : mécanique, thermique, chimique, électrique.

L'énergie calorifique est caractérisée par l'enthalpie, qui englobe à la fois l'énergie de pression et de chaleur emmagasinées dans le fluide, et si en créant une différence de pression et de température ; on obtient une différence d'enthalpie.

Le rôle de la turbine à vapeur est de convertir cette chaleur d'enthalpie à un travail mécanique à moindre perte. En pratique, on dispose de la turbine à vapeur entre deux sources de chaleurs, source froide et chaude.

A l'intérieur de la turbine à vapeur, la vapeur se détend d'abord dans les turbines ; sa vitesse est ainsi considérablement augmentée, elle aborde ensuite les rangées d'ailettes motrices.

Le profil de ces ailettes est courbé, et les forces agissant sur les deux faces opposées de chaque ailette (intrados, extrados) sont inégales.

La force qui agit sur l'intrados est supérieure à celle qui agit sur l'extrados et cette différence provoque la rotation du rotor de turbine [3].

**I.4.2 présentation de cycle thermodynamique**

Dans une centrale thermique, la même quantité d'eau se trouve successivement vaporisée, condensée après travail dans les turbines, puis retourne à la chaudière pour y être à nouveau vaporisée, elle décrit donc un cycle fermé. Le cycle est défini lorsqu'on connaît les

caractéristiques de l'eau et de la vapeur en tous ses points : température, densité, pression,

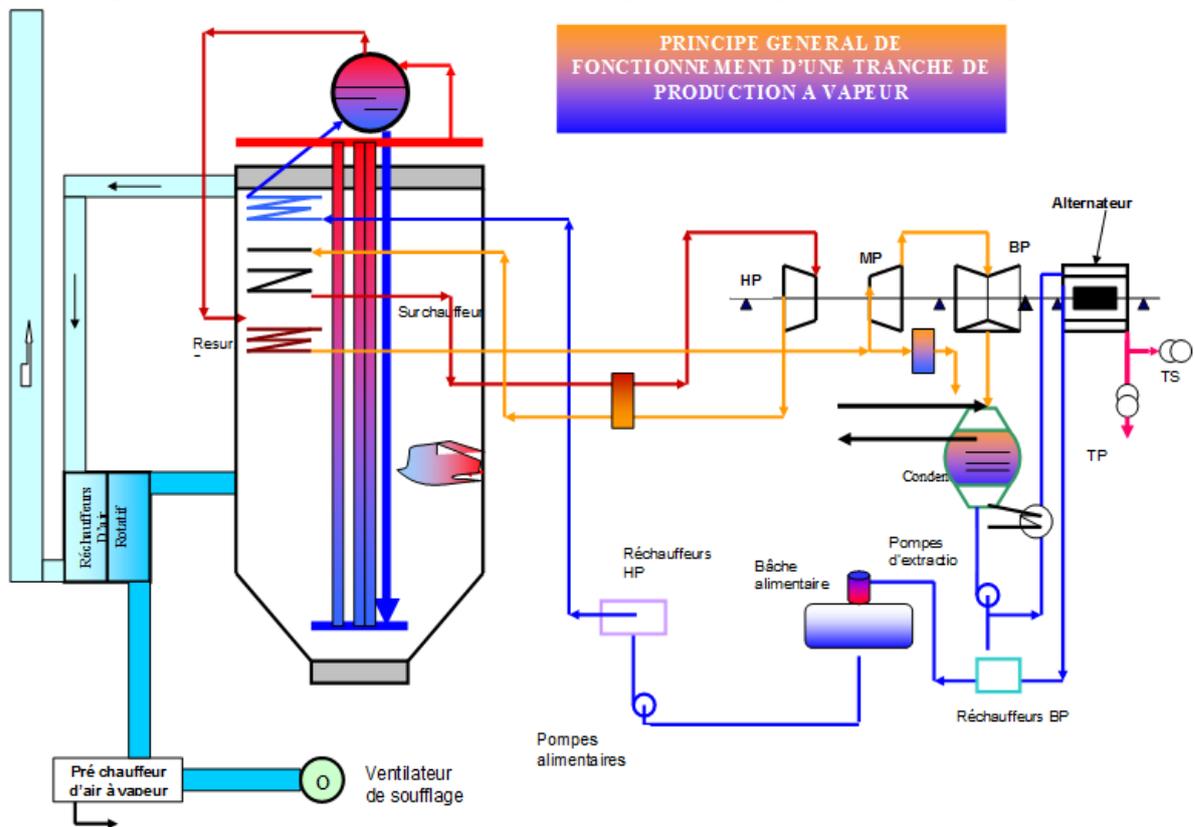


Figure I.10 : Photo que représente le cycle à vapeur.

### I.4.3. cycle de Rankine

Le cycle idéal correspondant à une centrale thermique élémentaire à vapeur d'eau, est le cycle de Rankine présenté sur la figure I.11 [14]

Le cycle de Rankine utilise donc une pompe à eau liquide plutôt qu'un compresseur en mélange liquide/vapeur. Technologiquement, une pompe est plus simple à concevoir, fabriquer et mettre en œuvre qu'un compresseur. Autre avantage, la compression d'un liquide est plusieurs dizaines de fois plus économique en énergie que celle du mélange.

Toutefois, cette économie d'énergie n'est pas sans contrepartie : à la sortie de la pompe, l'eau est à température bien plus faible qu'elle ne l'était à la sortie du compresseur. C'est la chaudière qui devra ramener l'eau à l'état de liquide saturé.

Autrement dit, il faut fournir une dépense supplémentaire considérable sous forme de chaleur pour compenser la baisse de puissance de compression.

La différence entre les deux cycles (théorique et réel) a causé des pertes par :

- Frottement visqueux ;
- Frottement mécanique ;

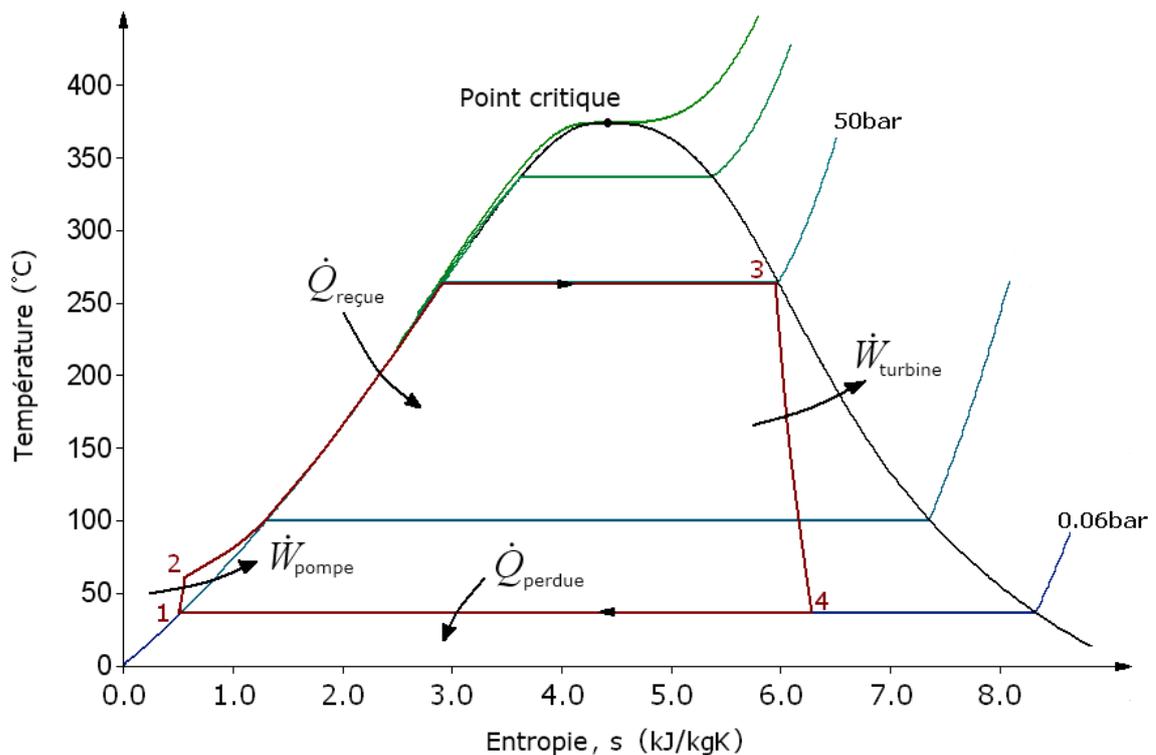
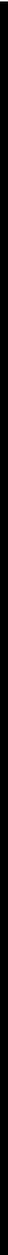


Figure I.11 : Photo que représente le cycle de Rankine.



## **Chapitre II :Généralités sur la maintenance**

## I. Introduction

Le rôle principal d'un service maintenance est de maintenir les capacités opérationnelles de moyens de production.

Lorsque la politique ou la stratégie de maintenance est définie on doit choisir ensuite la méthode la plus appropriée pour atteindre les objectifs fixés le choix de cette méthode dépendra également d'autres paramètres à savoir :

- la connaissance du matériel.
- la probabilité de pannes.
- la facilité d'intervention.
- la possession en stock de pièces de rechange.
- les moyens disponibles au moment de l'intervention.

## II.1.Généralités

### II.1.1.Définition générale

Selon **AFNOR X60-010** la maintenance est définie 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 ».

Le terme maintenir regroupe ainsi les opérations dépannage, graissage, visite, réparation ...etc, qui se fait dans l'objectif de conserver dans un état bien défini pour assurer la continuité et la qualité de la production ou d'améliorer la sécurité des individus ou de matérielles.

La définition de la maintenance fait donc apparaître 4 notions :

- Maintenir qui suppose un suivi et une surveillance.
- Rétablir qui sous-entend l'idée d'une correction de défaut.
- État spécifié et service déterminé qui précise le niveau de compétences et les objectifs attendus de la maintenance.
- Coût optimal qui conditionne l'ensemble des opérations dans un souci d'efficacité économique.

### II.1.2.Objectifs de la maintenance

Les principaux objectifs de la maintenance sont :

- Garantir un niveau de disponibilité à un coût défini.
- Maîtriser le savoir-faire de la maintenance.
- Prévenir les risques et la qualité de service.
- l'amélioration de la sécurité des individus.
- la maintenance permet d'améliorer les conditions de travail sur le matériel concerné.

**II.1.3. Les différents types de maintenance**

Dans le secteur de l'industrie il ya deux types principal de la maintenance [5]:

- La maintenance corrective.
- La maintenance préventive.

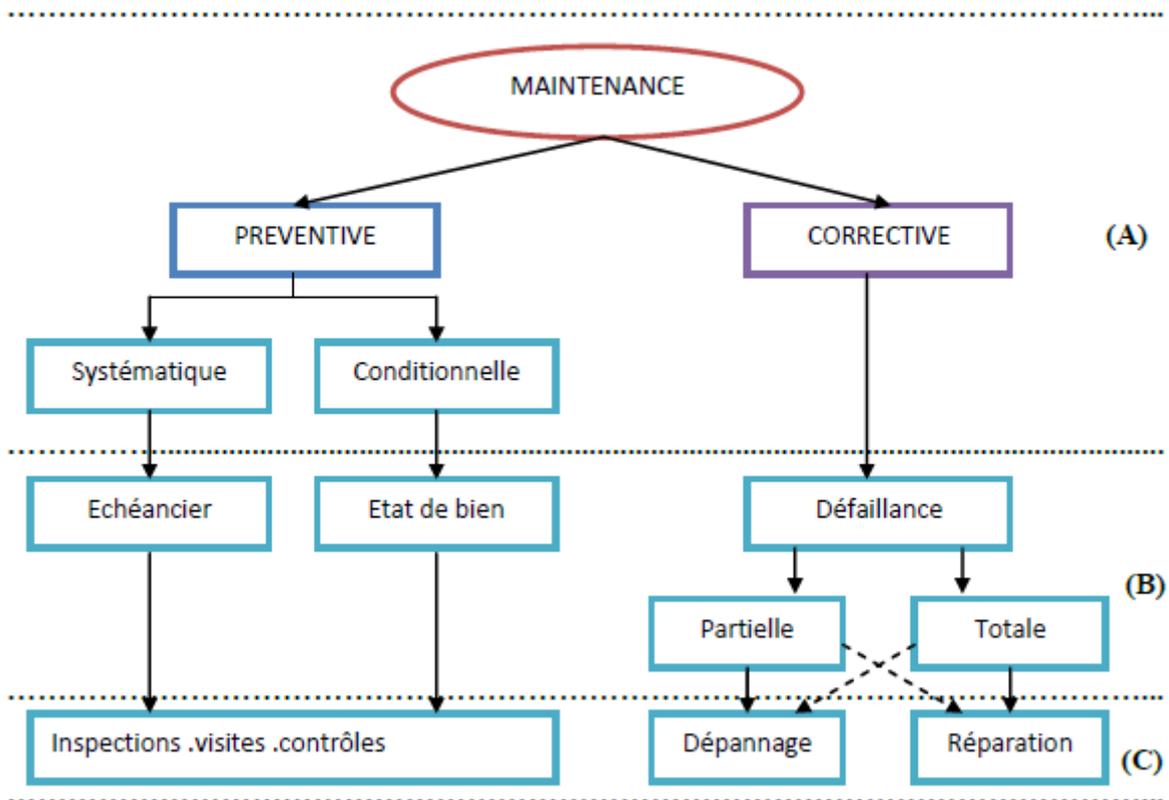


Figure II.1 : les différentes formes de maintenance.

(A) : Méthodes de maintenance.

(B) : Evènements.

(C) : Opération de maintenance.

**II.1.3.1. La maintenance corrective**

D'après la norme **AFNOR X60-010** la maintenance corrective est une maintenance effectuée après défaillance, consiste en ou réparation ou un dépannage, Ces activités de la maintenance corrective regroupées trois sous groupes [5].

- 1-sous groupe de détection / localisation des défauts.
- 2-sous groupe de remise en état avec ou sans modification.
- 3-sous groupe de durabilité (contrôle de bon fonctionnement).

### II.1.3.1.1. Les opérations de la maintenance corrective

#### a) Le dépannage

On entend généralement une intervention de type provisoire, le plus souvent immédiate, rendue nécessaire soit par l'absence de pièces de rechange, soit pour préparer le terrain avant la réparation définitive. Ce type de pratique est fréquent en période de mise au point et de rodage d'une machine ou d'un procédé de fabrication ou, au contraire, en fin de vie d'un matériel [6].

#### b) La réparation

C'est le but ultime de la maintenance et, par la même occasion, là où se situe le plus fort pourcentage des activités qui y sont liées. La réparation consiste en la remise en état initial au bien un état bien détermine [6].

Cette forme de maintenance permet d'introduire un certain nombre d'améliorations visant :

- la suppression ou la diminution des pannes ou d'anomalies.
- l'augmentation de la durée de vie des organes de la machine.
- la réduction de la consommation (de lubrifiants, par exemple).
- la standardisation des composantes.
- l'amélioration de la maintenabilité.

### II.1.3.2. La maintenance préventive

Selon la norme **AFNOR X60-010** C'est une maintenance effectuée selon des critères prédéterminés dans l'intention de réduire la probabilité de défaillance d'un bien ou dégradation d'un service rendu, on agit avant la défaillance permettent d'éviter les surpris défaillances [12].

#### II.1.3.2.1. Différents formes de maintenance préventive

##### a) Maintenance préventive systématique

C'est une maintenance selon un échéancier établie en fonction du temps ou nombre d'unité d'usage.

##### b) Maintenance préventive conditionnelle

D'après la norme **AFNOR X60-010**, la maintenance conditionnelle se définit comme « une maintenance préventive subordonner à un type d'événement prédéterminé (intelligence artificiel autodiagnostic, information d'un capteur) [12].

### II.1.3.1.2. Les opérations de la maintenance préventive

➤ **Les inspections**

C'est une activité de surveillance qui consiste à relever périodiquement les anomalies et exécuter des réglages simples ne nécessitent pas un outillage spécifique ni l'arrêt de l'outil de production ou des équipements [12].

➤ **Les visites**

Dans le cadre de la maintenance préventive systématique, les visites sont des opérations de surveillance qui se font selon une périodicité prédéterminée (hebdomadaire, mensuelle, trimestrielle...etc) [5].

➤ **Les contrôles**

Ils correspondent à une comparaison entre les résultats relevés et des résultats étalonnés, suivie d'un jugement et d'un diagnostic (rapport de visite) [5].

### II.1.4. Les autres opérations de maintenance

➤ **Les révisions**

Il est d'usage de distinguer suivant l'étendue de cette opération, les révisions partielles des révisions générales. La révision implique la dépose des différents sous-ensembles et ne doit pas être confondu avec visites, contrôle et inspection.

➤ **Les échanges standards**

Afin d'accélérer les procédures et de déterminer les coûts, le recouvrement de la soudeuse doit faire l'objet d'un forfait.

### II.1.4. Les opérations annexes de la maintenance

➤ **La rénovation**

La rénovation apparaît donc comme l'une des suites logiques d'une vision générale.

➤ **La reconstruction**

La reconstruction peut être assortie d'une modélisation ou des modifications, et peuvent concerner, en plus de la durabilité, la capacité de production, l'efficacité, la sécurité,...

➤ **La modernisation**

Cette opération peut aussi bien être exécutée dans le cas d'une rénovation, dans celui d'une reconstruction.

**II.2. Les niveaux de la maintenance**

D'après la gravité de l'empanne on peut arriver à définir les cinq niveaux de la maintenance.

Niveau	Types de travaux	Personnel concerné	Exemples
1	réglages simples - pas de démontage ni ouverture	exploitant du bien	remise à zéro d'un automate après arrêt d'urgence
2	Dépannage par échange standard - opérations mineures de maintenance préventive	technicien habilité	changement d'un relais - contrôle de fusibles - réenclenchement de disjoncteur
3	identification et diagnostic de pannes - réparation par échange standard - réparations mécaniques mineures - maintenance préventive (par ex. réglage ou réaligement des appareils de mesure)	technicien spécialisé	identification de l'élément défaillant, recherche de la cause, élimination de la cause, remplacement
4	travaux importants de maintenance corrective ou préventive sauf rénovation et reconstruction - réglage des appareils de mesure	équipe avec encadrement technique spécialisé	intervention sur matériel dont la remise en service est soumise à qualification
5	rénovation - reconstruction - réparations importantes	moyens proches de la fabrication	mise en conformité selon réglementation d'équipements lourds

Tableau II.1 : présentation les cinq niveaux de maintenance

## II.3.Surveillance

### II.3.1Définition

La surveillance est un dispositif passif, informationnel qui analyse l'état du système et fournit des indicateurs. La surveillance consiste notamment à détecter et classer les défaillances en observant l'évolution du système puis à les diagnostiquer en localisant les éléments défaillants et en identifiant les causes premières [5].

#### II.3.2.Fonction :

La surveillance est composée de deux fonctions principales qui sont la détection et le diagnostic.

La figure suivant nous montre ces composants :

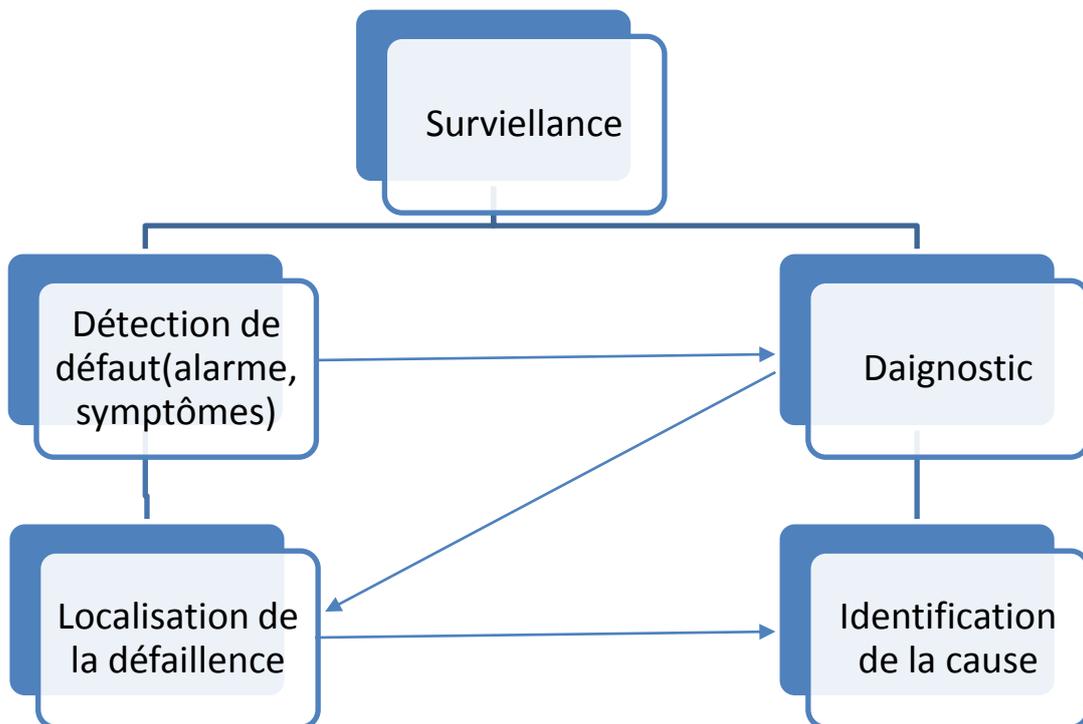


Figure II.2 : fonctions de surveillance

#### II.3.3.Détection

Avant de détecter une défaillance du système, il faut des gents capable de classer les situations observable comme étant normales ou anormales.

Cette classification n'est pas triviale, étant donné le manque d'information qui caractérise généralement les situations anormales. Une simplification communément adoptée consiste à considérer comme anormale toute situation qui n'est pas normale [5].

### II.3.4.Diagnostic

Le **diagnostic** d'un système matériel désigne toute méthode permettant de déterminer si une machine est défaillante ou non et de déterminer l'origine de la panne à partir des informations relevées par observation, contrôles et tests. Le diagnostic permet d'identifier la cause ayant entraîné la défaillance. Une action sera reliée en intervenant sur la cause (actions Maintenance Corrective) ou sur la défaillance (Actions Maintenance palliative).

Cette fonction décompose en deux fonctions élémentaires : **localisation** et **identification**. A partir de l'observation d'un état de panne (détection), la fonction diagnostic est chargée de retrouver la faute qui en est à l'origine [13].

#### a) Localisation

Elle permet de déterminer le sous-ensemble fonctionnel défaillant.

#### b) Identification de la cause

Cette dernière étape consiste à déterminer les causes qui ont mené à une situation anormale. Ces causes peuvent être internes (sous-ensembles défaillants faisant partie de l'équipement), ou bien externes à l'équipement (l'environnement par exemple).

## II.4.Le choix de type de suivi

Il existe deux type de surveillance vibratoire, ON-LINE donc les capteurs sont installés sur la machine et OFF-LINE dans ce cas le mesure se fait manuellement avec les collecteurs (analyseurs). .

### II.4.1.La surveillance périodique « « OF LINE » »

Les résultats obtenu à partir des mesures effectuées à des intervalles de temps régulier (périodiquement) par des gents qui métrise le système portable de plus en plus fréquemment informatisée, dans ce système de surveillance un seul technicien capable d'enregistré précisément les paramètres désirés pour un grand nombre des machine. Cette méthode donne un avantage dans l'aspect économique (minimum de temps et faible coût), par ce que un seul capteur placé sur l'outil de mesure est suffisent [5].

Au début, on charge l'outil de mesure (ONE PROD, SCHENCK) par tout les donner que n'a besoin de faire après en vas partir au site (machine concerné) on fait les mesure après on va retourner à la salle pour décharger les donnés et transférer à un microordinateur permettant au responsable de maintenance de les stocker et analyser.

La périodicité des contrôles est déterminée en fonction :

- du nombre de machines à contrôler
- du nombre de point de mesure nécessaires
- de la durée d'utilisation de l'installation
- des moyens matériels dont dispose le service

### II.4.2.La surveillance en continu « « ON LINE » » :

Le système de surveillance ON-LINE est l'ensemble des capteurs qui installé à demeure sur la machine à survie, en générale les résultant obtenu par si capteurs établir dans en salle de control, cette méthode n'analyse pas l'évolution on la tendance de défaut considéré, mais alerte si le défaut dépasse le seuil prédéterminé [5].

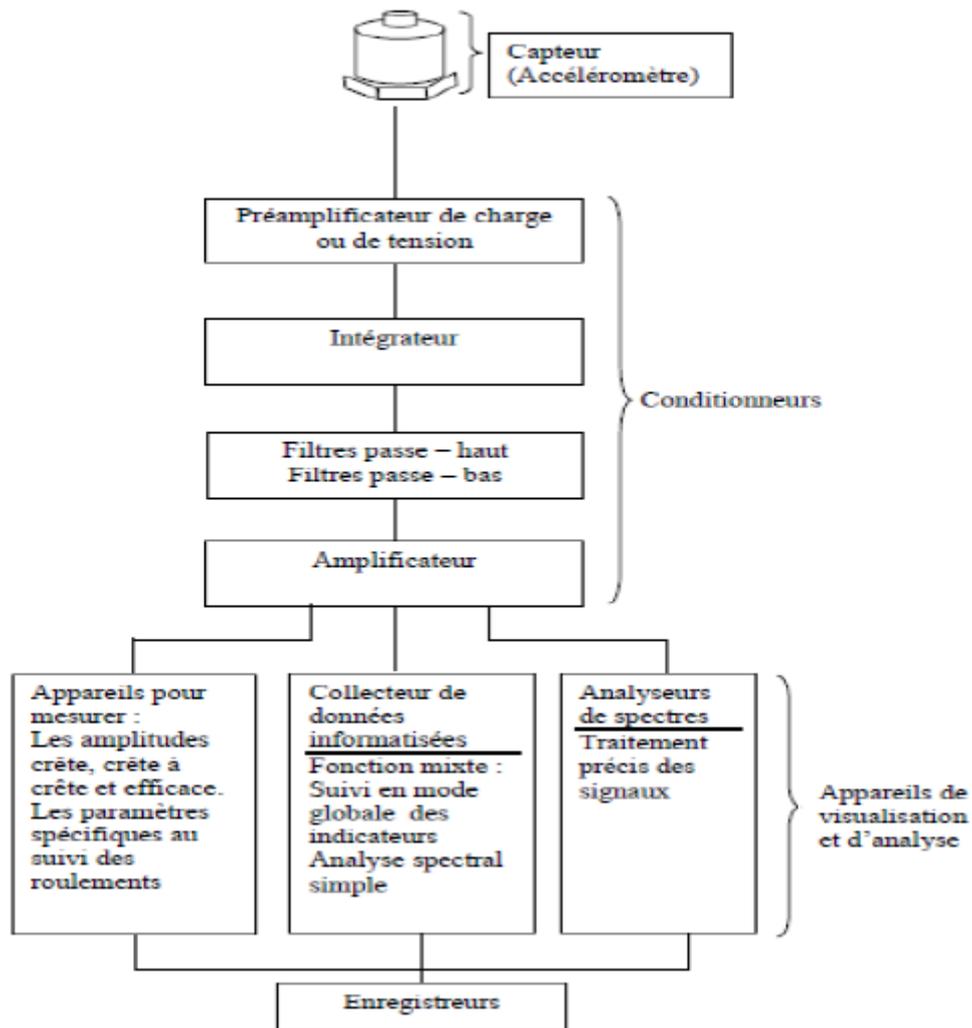


Figure II.3 : la chaîne de mesure vibratoire ON- LINE

### Conclusion :

La maintenance est une fonction complexe qui, selon le type de processus, peut être déterminante pour la réussite d'une entreprise. Les fonctions qui la composent et les actions qui les réalisent doivent être soigneusement dosées pour que les performances globales de l'outil de production soient optimisées.



## **Chapitre III : Notion des vibrations**

### III. Notion des vibrations mécaniques

#### Introduction

Les vibrations sont des oscillations mécaniques. Si vous pouviez observer un objet vibrant au ralenti, vous pourriez voir des mouvements dans différentes directions. La distance sur laquelle se déplace l'objet et sa vitesse permettent de déterminer plus facilement ses caractéristiques de vibration. Les termes utilisés pour décrire le déplacement de l'objet sont la fréquence, l'amplitude et l'accélération.

#### III .1. Définition

Selon la norme **AFNOR E90-0001**, la Variation avec le temps de l'intensité d'une grandeur caractéristique de mouvement ou de la position d'un système mécanique, lorsque l'intensité est alternativement plus grande et plus petite qu'une certaine valeur moyenne ou de référence [5].

#### III .2. Origine des vibrations

Les phénomènes à l'origine des vibrations dépendent de la constitution de la machine et de ses paramètres de fonctionnement. Les plus curant sont présentés dans ce chapitre.

##### III.2.1. Vibrations de machines voisines

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

##### III.2.2. vibrations d'origine électrique

les vibration des partie métallique du stator et du rotor sous l'excitation de champs électromagnétiques produisent des pics à des fréquences égales à celle du secteur et à ses harmonique.

##### III.2.3. Résonance de la structure ou du rotor

Chaque sous-ensemble de la machine possède une fréquence propre de résonance qui est fonction de paramètres multiples tels que la rigidité et la masse et la forme géométrique. Si une excitation quelconque possède une fréquence voisine de celle la résonance, un pic apparait dans le spectre.

#### III.3. Les déférentes formes de vibration

On classe généralement la vibration d'après l'évolution de la variable considérée dans le temps (périodicité). On distingue ainsi la vibration [7].

##### III.3.1. Vibration harmonique

Une vibration harmonique est une vibration qui est représentée par une sinusoïde dans un diagramme amplitude-temps.

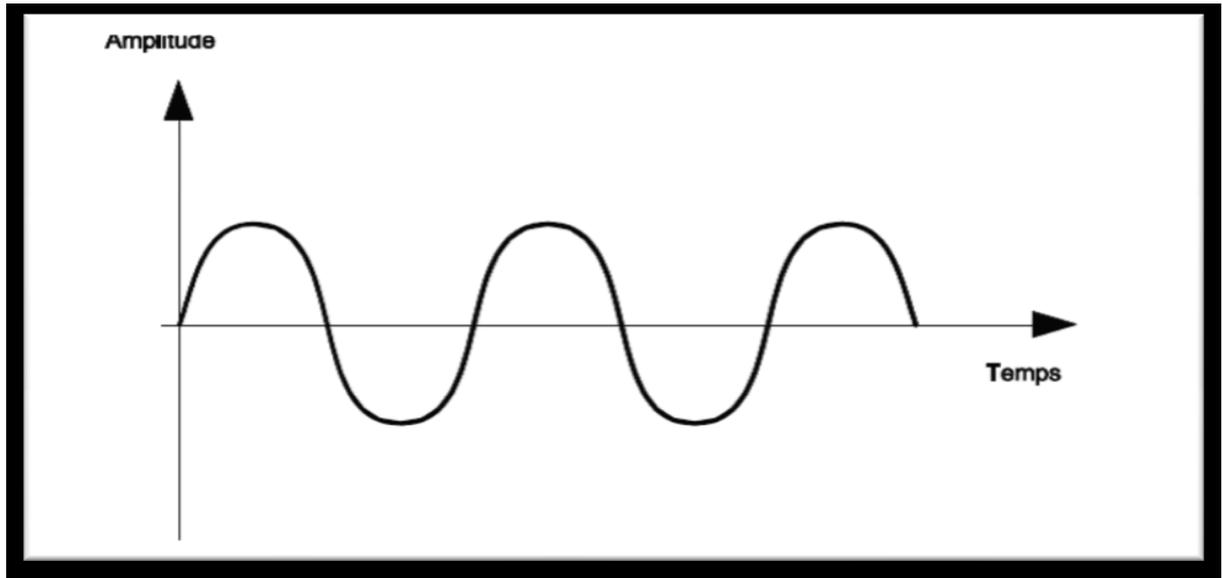


Figure III.1: vibration harmonique.

**Exemple**

Le meilleur exemple qu'explique la vibration harmonique est celle qui est générée par le balourd d'un rotor en mouvement. Elle est décrite par l'équation

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

**III.3.2. Vibration périodique :**

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

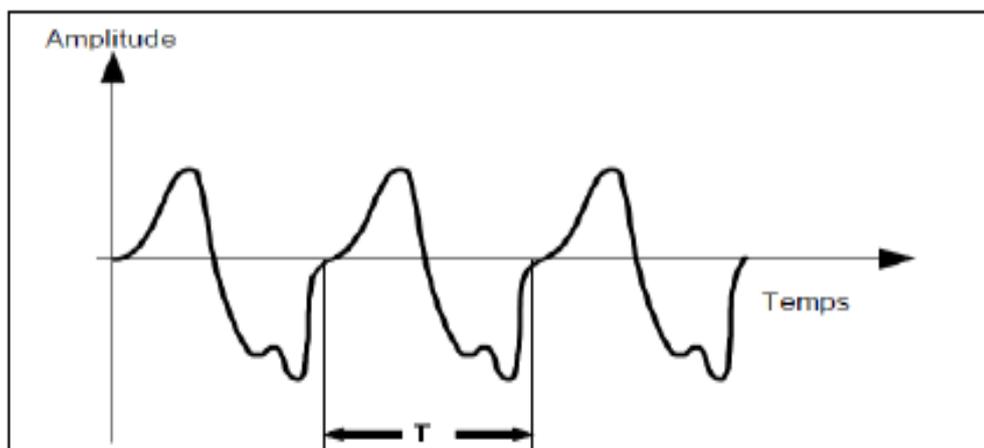


Figure III.2: Vibration périodique.

Les vibrations périodique elle décrite par l'équation suivant

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

### III.3.3. Vibration apériodique :

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

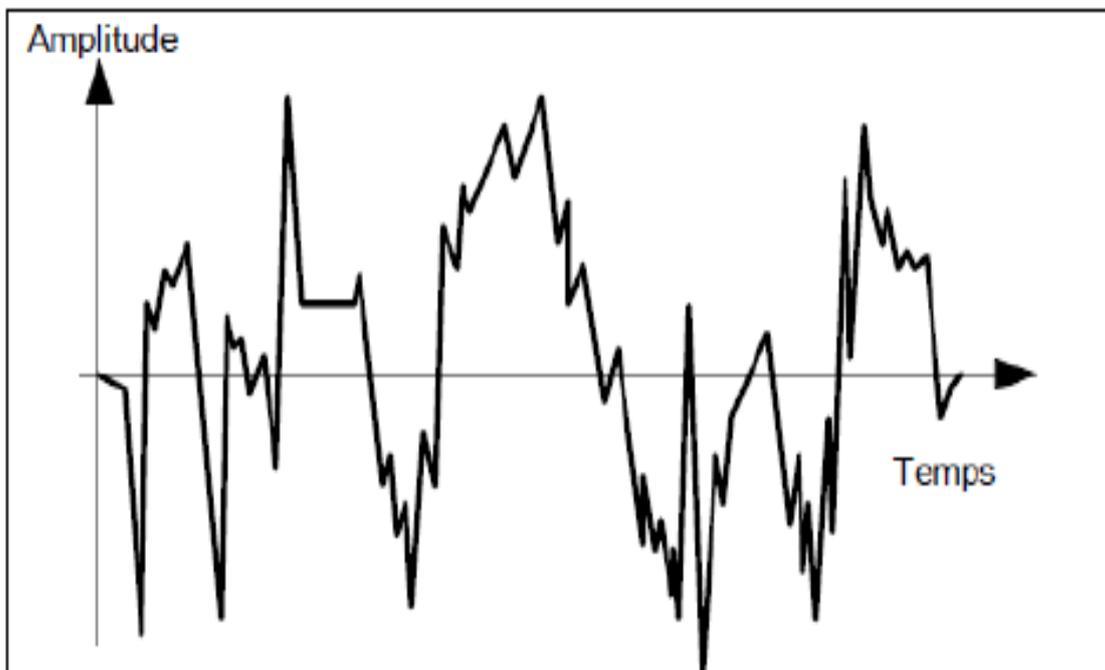


Figure III.3: Vibration apériodique.

En d'écrite l'équation suivant :

$$X(t) = \sum_{i=0}^{\infty} [X_i \sin(\omega_i t + \varphi_i)]$$

### III.4. Représentations d'un signal vibratoire :

Un signal sinusoïdal mathématique est une équation de forme [7]

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

### III.4.1. Représentation temporelle

La représentation temporelle est une représentation d'une amplitude en fonction de temps, comme il à présente dans la figure suivant.

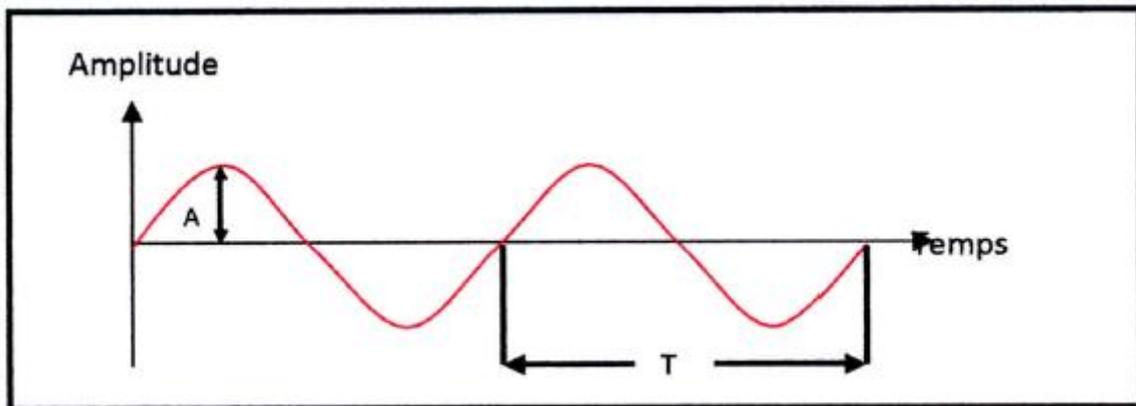


Figure III.4: représentation temporelle.

### II.4.2. Représentation vectorielle :

Cette représentation est base sur des vecteurs.

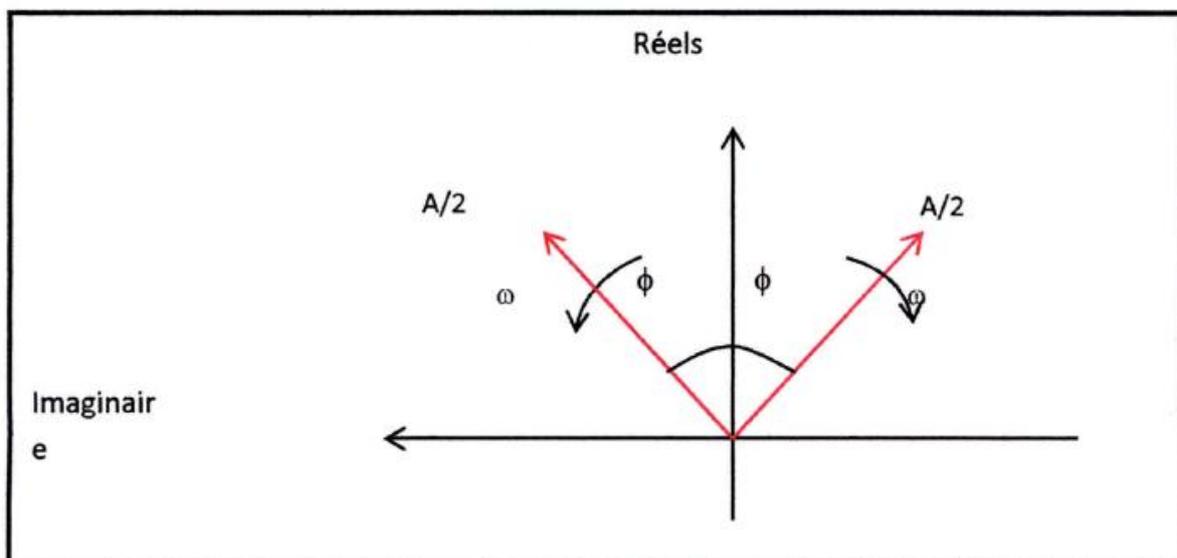


Figure III.5. Représentation vectorielle.

### III.4.3. Représentation spectral (fréquentielle) :

La représentation spectral est une représentation d'une amplitude en fonction de fréquence soit en

- échelle linéaire
- échelle logarithmique

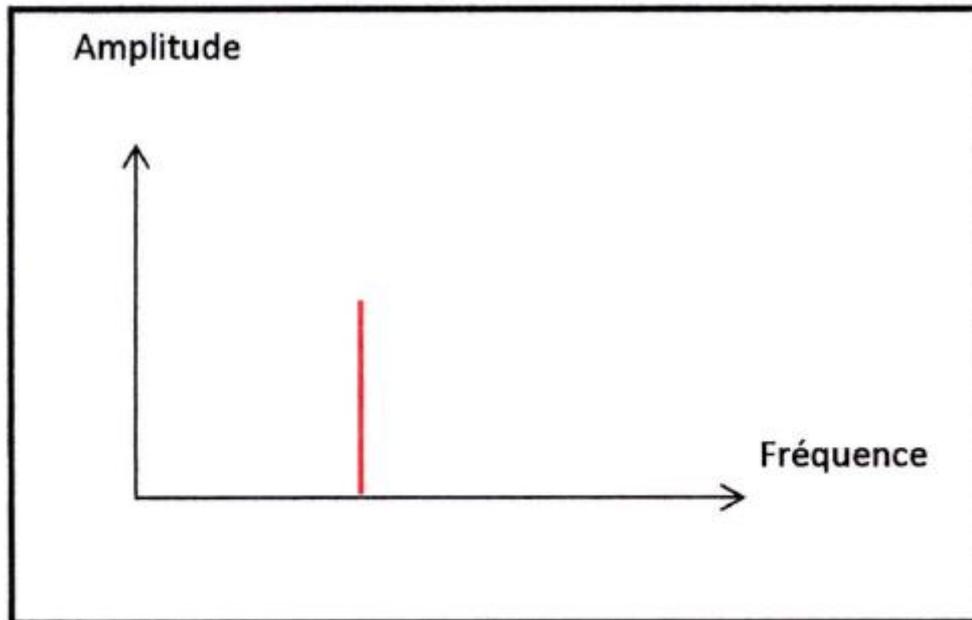


Figure III.6: représentation spectral.

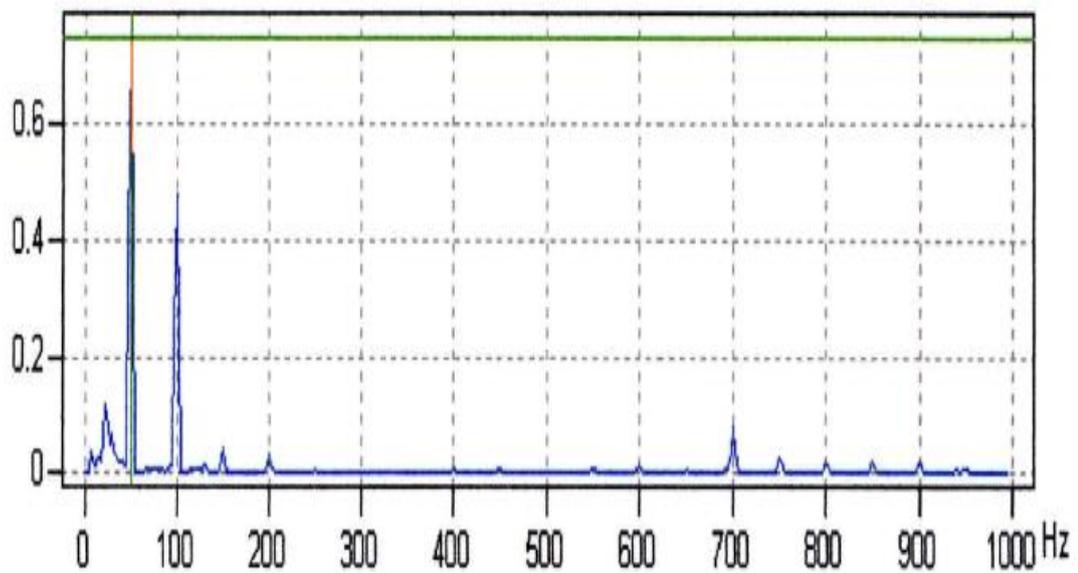


Figure 7 Echelle linéaire.

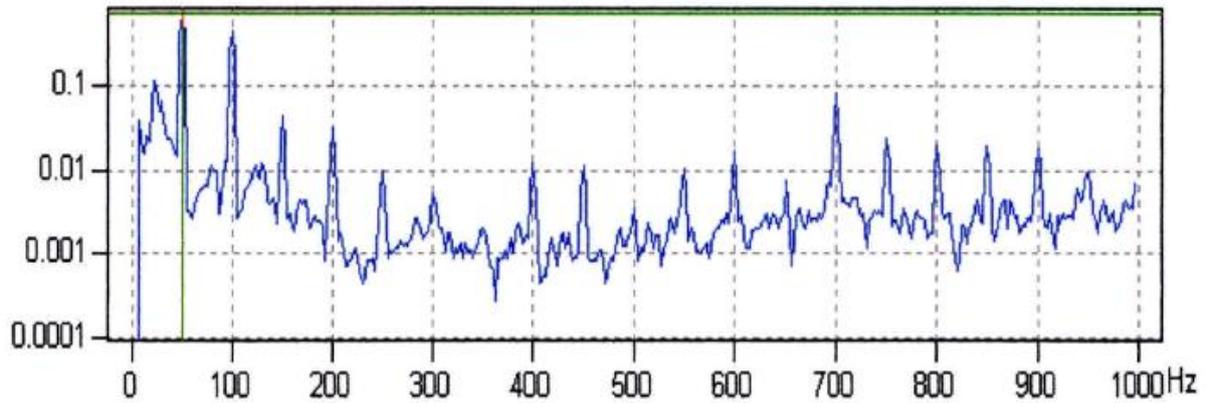


Figure 8 Echelle logarithmique.

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

**III.5. La classification des signaux :**

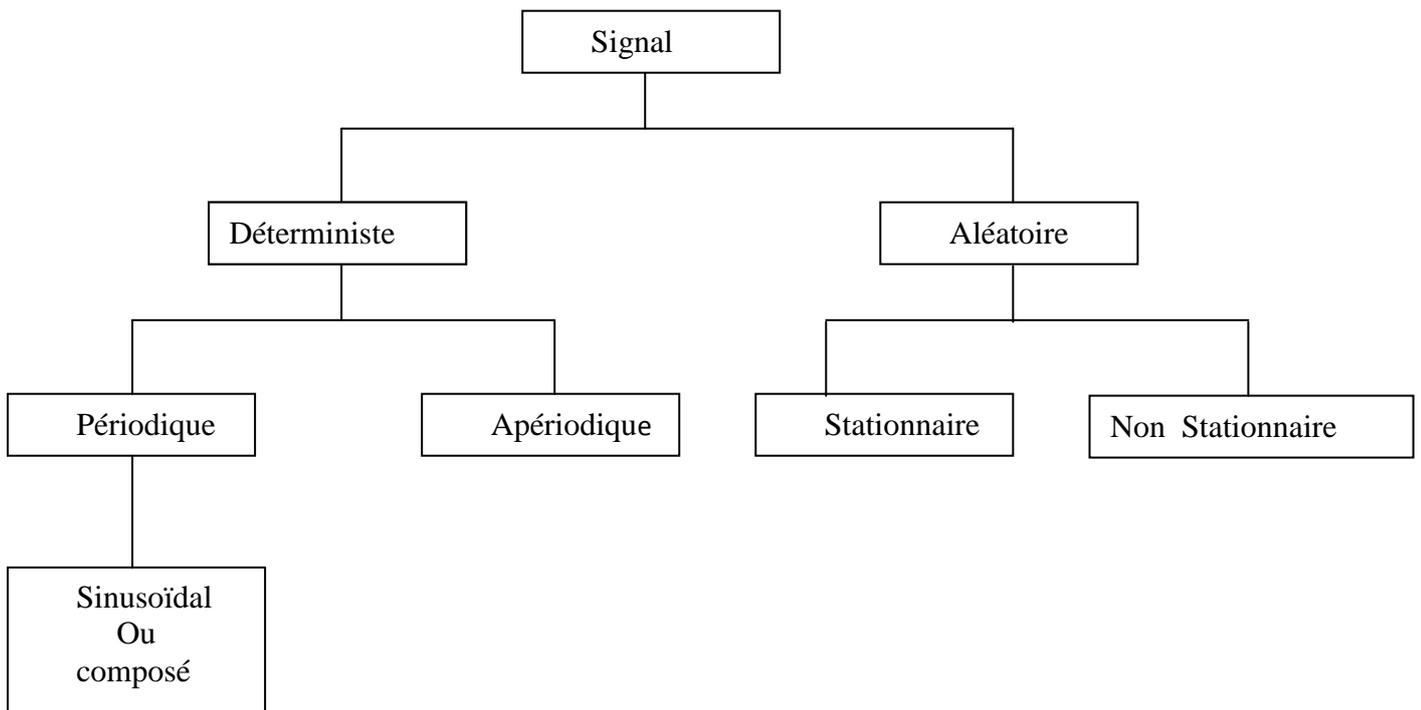


Figure III.9 : classification des signaux.

### III.6. Etude des Caractéristiques vibratoires :

Lorsque on parle sur un phénomène vibratoire on se base sur trois caractéristiques principales [7], [8]:

- Amplitude
- Fréquence
- phase

#### a. Amplitude :

C'est le déplacement maximal que subit le corps en mouvement. On peut définir une amplitude par l'un des valeurs suivantes :

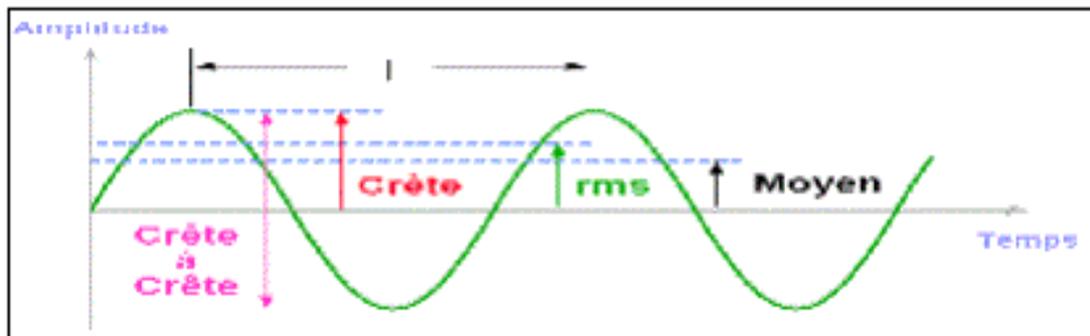


Figure III 10 : Les modes de détection.

#### a.1. Valeur maximale $X_c$ :

C'est la valeur instantanée définie par la plus grande valeur positive atteinte. Elle est appelée aussi valeur Crête ( $X_c$ ).

#### a.2. Valeur Crête à Crête :

C'est la grandeur d'un extrême positif à un extrême négatif d'un mouvement. Dans le cas où le signal est symétrique, cette valeur sera égale à deux fois la valeur maximale ( $X_{cc}$ ).

#### a.3. Valeur moyenne :

C'est la valeur constante qui correspond à la moyenne du signal sur une période  $T$ .

$$X_m = \frac{1}{T} \int_0^T X(t) dt$$

Avec  $x(t)$  ...valeur absolue de  $X(t)$   
 $X_{moy}$  est inférieure à la crête

**a.4. Valeur efficace**

Conte en parle sur une valeur efficace en remarqué qu'il ya une relation directe entre l'énergie contenue dans le signal vibratoire et la valeur efficace de ce signal ( $X_{eff}$ ). Cette valeur est constante et souvent utilisée.

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

Pour une vibration purement sinusoïdale :  $X_{eff} = \frac{X_m}{\sqrt{2}}$

$X_m$  ..... valeur maximale. On la note parfois RMS (root mean square).

**b. Fréquence :**

Elle représente le nombre d'oscillations ou de cycle par seconde. C'est aussi l'inverse de la période. Elle s'exprime en hertz.

$$1\text{Hz} = \frac{1\text{CPM}}{60} = \frac{1\text{RPM}}{60}$$

CPM : Cycles par minutes

RPM : Rotations par minutes

**c. phase :**

Elle permet de déterminer la position d'un corps à un instant donné.

**III.7. Les grandeurs de mesure d'une vibration mécanique :**

Dans le domaine des vibrations mécaniques, on se base généralement de mesurée trios grandeurs [7].

**a. Le déplacement vibratoire :**

Il convient de la distance entre le point de mesure et son point de repos, la dimension de cette grandeur est L, L'unité de mesure est le mètre (**m**).

$$\mathbf{X(t) = X_m \sin (\omega t + \varphi)}$$

**b. La vitesse vibratoire**

Il s'agit d'une dérivation de la variation de déplacement qui subit le point considéré sur une intervalle de temps bien déterminer , sa dimension est une longueur divisée par le temps (**L/T**), L'unité de mesure est en mètre par second (**m/s**).

$$V(t) = X_m \omega \cos(\omega t + \phi)$$

### c. L'accélération

Il s'agit d'une dérivation de la variation de vitesse en fonction de variation de temps.

$$a(t) = \frac{dv}{dt} = -X_m \omega^2 \sin(\omega t + \phi)$$

## III.8. Les capteurs pour la détection des vibrations

Pour collecter les données nécessaires à la mesure et à l'analyse, on utilise des capteurs dont le rôle est de transformer l'énergie mécanique dispensée par la machine en un signal électrique proportionnel mesurable de manière reproductible. Il existe trois types de capteurs [8].

### a. Les capteurs de déplacement

Capteurs sans contact à courants de Foucault. Réservées à la mesure relative d'arbre (paliers fluides). Le capteur est constitué d'une bobine et d'un câble de raccordement. Ce câble présente le plus souvent une interruption (connecteur).

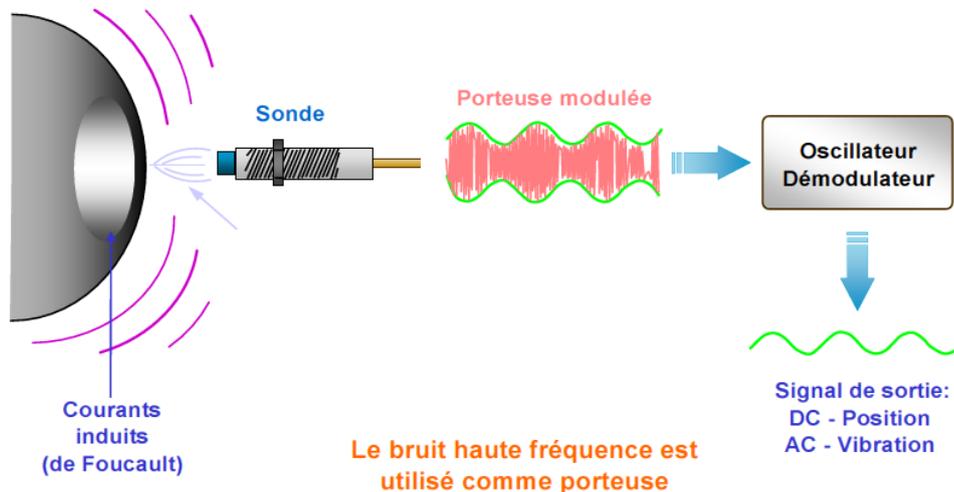


Figure III.10: Capteur de déplacement.

La bobine et le conditionneur forment ensemble un circuit électronique oscillant. La figure montre que le câble du capteur aussi bien que le câble prolongateur sont des composants figés du circuit oscillant. Une modification de la longueur totale de ces câbles conduit automatiquement à une variation de ses paramètres électriques : résistance et capacité.

Le circuit oscillant crée un champ magnétique alternatif dans la bobine du capteur. D'après le principe alors des courants de Foucault dans un corps conducteur que l'on approche du capteur. Ces courants de Foucault agissent à leur tour sur la bobine par l'intermédiaire du

champ magnétique et consomment ainsi de l'énergie électrique. Cette transformation d'énergie est d'autant plus importante que le corps métallique est proche de la bobine et que sa susceptibilité magnétique est élevée.

**b. Capteur de vitesse**

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.

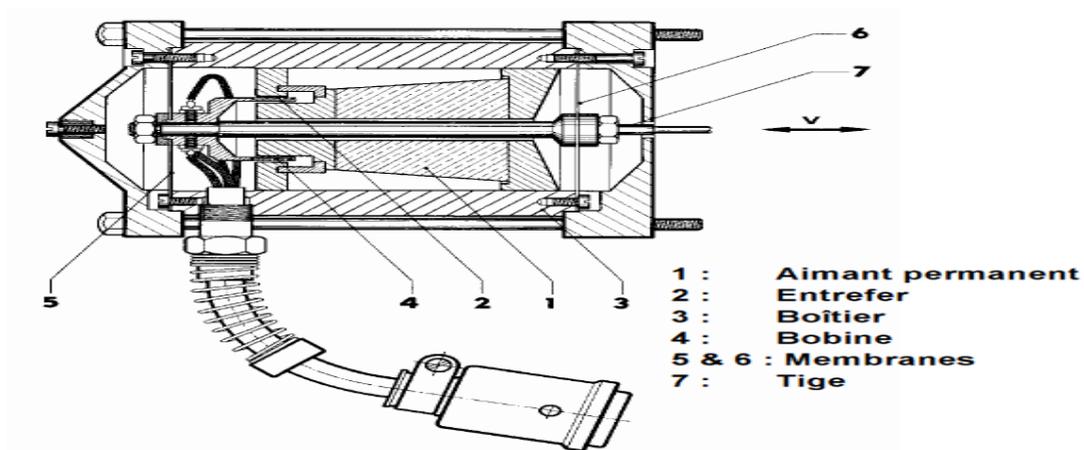
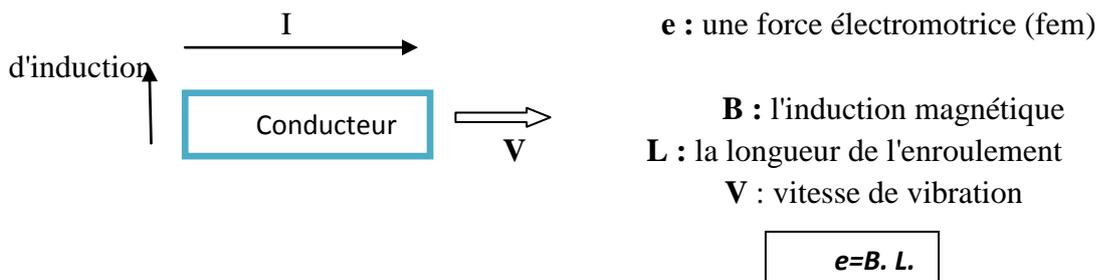


Figure III.11 : Capteur de vitesse.



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 (fem) d'induction  $e$  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.

### a) Les capteurs d'accélération

Ce sont des capteurs avec une large couverture de la gamme de fréquence (35 KHz). Ils sont indispensables pour la mesure absolue des phénomènes hautes fréquence (roulement, engrènement...).

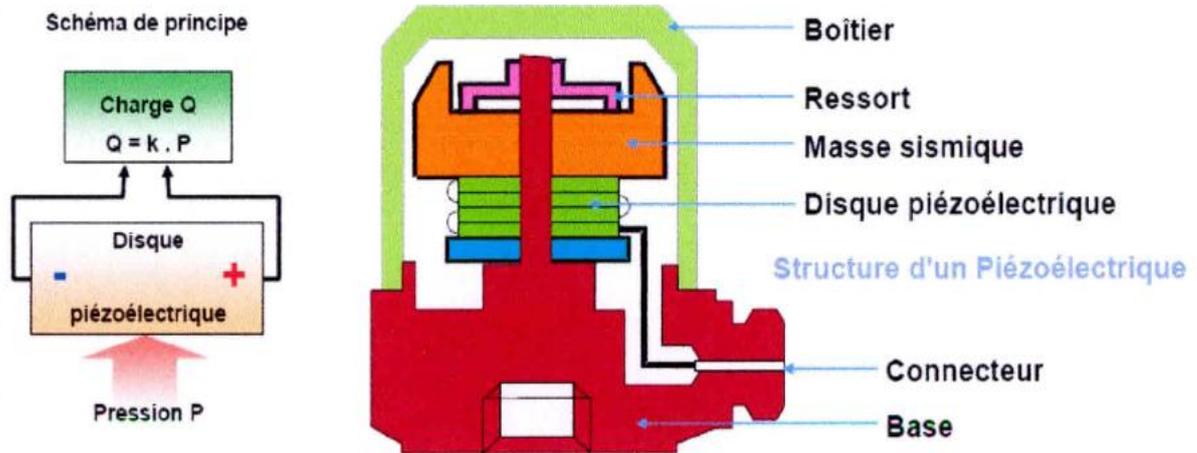


Figure III.12 : Capteur d'accélération.

L'enregistreur d'accélération est constitué principalement d'un cristal de quartz piézoélectrique, sur lequel se trouve une masse sismique. Sous le quartz se trouve un contact plaque-ressort. Ce système masse-ressort est mis en précontrainte à l'aide d'une vis. Quand l'appareil d'enregistrement est soumis à des oscillations en direction de son axe principale. Il se produit un changement de la masse sismique due à la masse d'inertie agissant sur la précontrainte du quartz piézoélectrique engendre une charge proportionnelle à la force exercée et à l'accélération.

## II.9. Les vibrations relatives et vibrations absolue

### ➤ Vibration absolue

La vibration absolue est le mouvement vibratoire d'une partie non rotative de la machine par rapport à un espace lié à la terre.

#### • Mesure des vibrations absolues

La mesure s'effectue au moyen des capteurs sismique appelés accéléromètre ou vélocimétrie ayant un axe de sensibilité pour avoir la mesure des vibrations de rotor.

➤ **Vibration relative :**

La vibration relative est un mouvement d'une partie rotative (mobile) de la machine par rapport à une partie non rotative (fixe).

• **Mesure de vibration relative**

Elle se fait principalement perpendiculairement à l'axe de rotation de l'arbre (vibration radiale) et accessoirement dans le sens de l'axe de rotation (vibration axiale), deux capteurs sont placés à proximité de chaque palier selon deux axes perpendiculaires afin de pouvoir détecter le niveau maximal de vibration.

### **Conclusion**

Ce chapitre fait le point des principales technologies dans le domaine des capteurs, leurs principes, domaines d'emploi, avantages et inconvénients respectifs. Seuls sont traités les capteurs pouvant délivrer en sortie un signal électrique.

En fin, des éléments de choix sont proposés pour permettre à l'utilisateur de sélectionner le type de capteur ou détecteur de déplacement le mieux adapté à son problème.



## **CHAPITRE IV : Défaits du Groupe Turbo- alternateur**

## IV.1. Introduction

Le diagnostic de l'état d'une machine n'est possible que si l'on connaît les symptômes vibratoires associés à chaque défaut susceptible d'affecter la machine considérée, C'est à dire si l'on connaît les images vibratoires induites par ces défauts. La connaissance de ces images vibratoires et de la cinématique de la machine permet de formuler un diagnostic de l'état de la machine.

D'après les expériences on peut établir un tableau qui permet la reconnaissance des principales anomalies pouvant affecter une machine. Malheureusement, une même image vibratoire peut correspondre à plusieurs défauts. Il faut donc établir la liste de tous les défauts correspondant à chaque image et par déduction, entreprendre les analyses complémentaires et rechercher d'autres symptômes pour se diriger progressivement vers l'hypothèse la plus probable. On se propose dans ce chapitre d'étudier les images vibratoires des principaux défauts.

## IV.2. Les défauts proposés à étudier

### IV.2.1. Déséquilibre : défaut de balourd

#### IV.2.1.1 Définition

Dans la fabrication mécanique rien est parfait, Donc il n'est pas possible de faire coïncider l'axe de rotation avec le centre de gravité de chaque tranche élémentaire du rotor (tolérance), De cette non-concentricité, résulte l'application de forces centrifuges proportionnelle à la vitesse de rotation selon la relation  $F = m \cdot \omega^2 \cdot r$  qui déforment le rotor. On dit que le rotor présente un balourd. Ce balourd provient généralement de défauts d'usinage, D'assemblage et de montage, Ou sont la conséquence, d'une altération mécanique, perte d'ailette, érosion ou encrassement d'une altération thermique, déformation suite à des dilatations différentes des matériaux Constituant le rotor ou à des différences de température localisée.

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

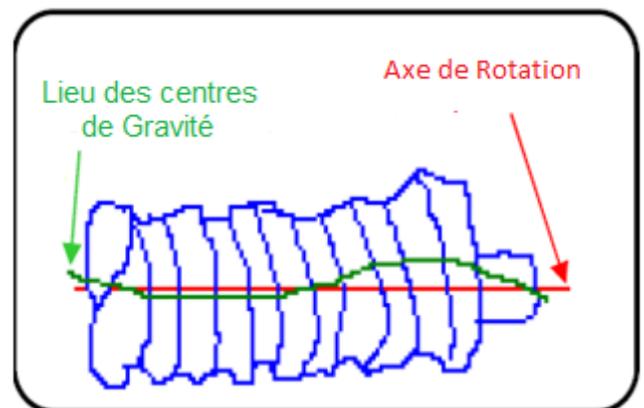


Figure IV. 1: Tolérances d'usinage sur un rotor.

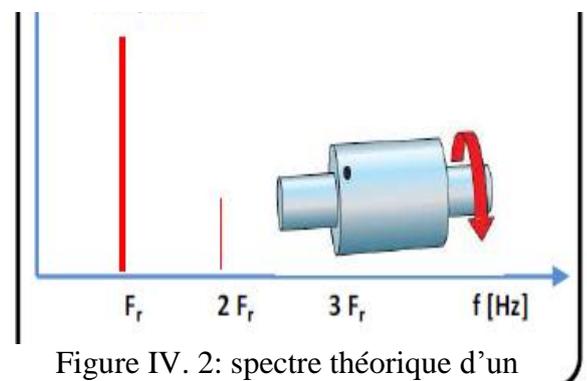


Figure IV. 2: spectre théorique d'un défaut de balourd.

Avec  $m_b$  masse théorique du balourd [Kg]  
 $R_b$  rayon théorique du balourd [m]  
 $\omega$  pulsation ou vitesse angulaire [rad /s]  
 $F_r$  fréquence de rotation

#### IV.2.1.2.L'origine des défauts de balourd

- défaut de montage
- défaut d'usinage
- Encrassement d'un ventilateur
- Perte d'ailette d'une pompe

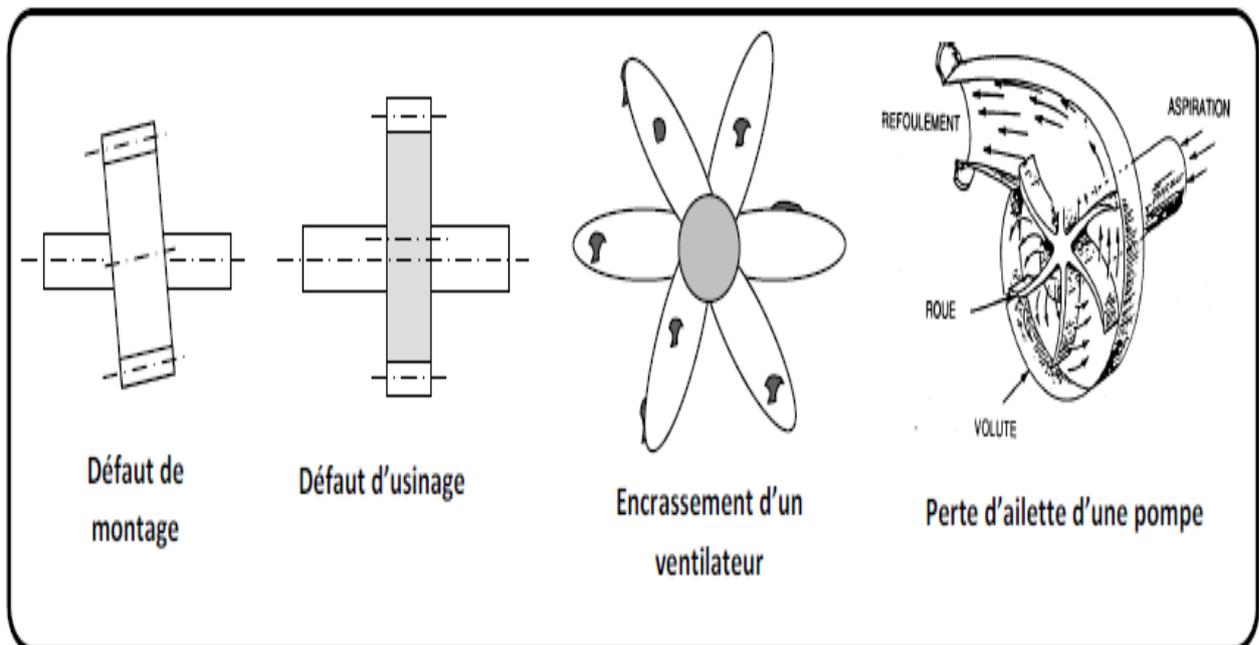


Figure IV. 3 : Exemples de défaut induisant un balourd.

#### IV.2.1.3.Les types de balourd

Pour les machines à axe horizontale, les amplitudes des vibrations absolues sont normalement plus faibles dans le sens horizontal que vertical. On peut distinguer trois types de balourd.

### ❖ Balourd Statique

A la vitesse nominale, les deux paliers supportant le rotor vont subir, en même temps l'effort centrifuge. Il n'y a pas donc de déphasage entre les mesures prises aux mêmes angles sur les deux paliers. L'axe d'inertie est parallèle à l'axe de rotor, ce type de balourd est surtout présent lorsque le rotor comprend un disque de rayon important par rapport à l'axe.

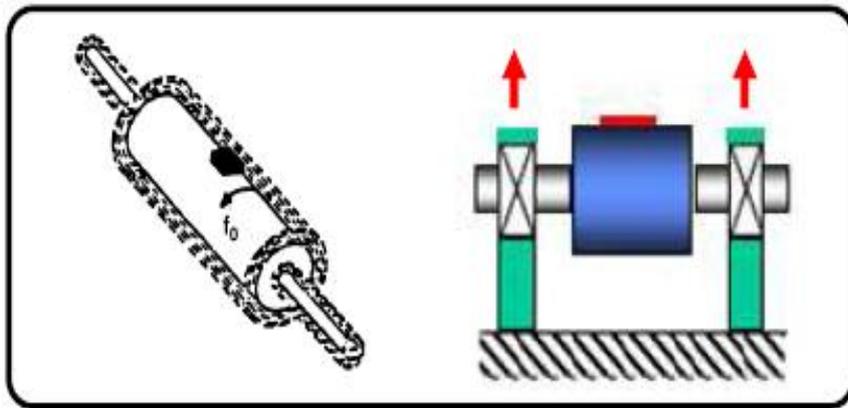


Figure IV.4: balourd statique.

### ❖ Balourd dynamique

Le centre de gravité est bien sur l'axe de rotation : l'équilibre statique est réalisé, mais les deux axes ne coïncident pas. L'axe central d'inertie coupe l'axe de rotation de l'arbre au centre de gravité. Il est nécessaire d'installer au minimum deux masses pour équilibrer ce rotor : par exemple, deux masses diamétralement opposées

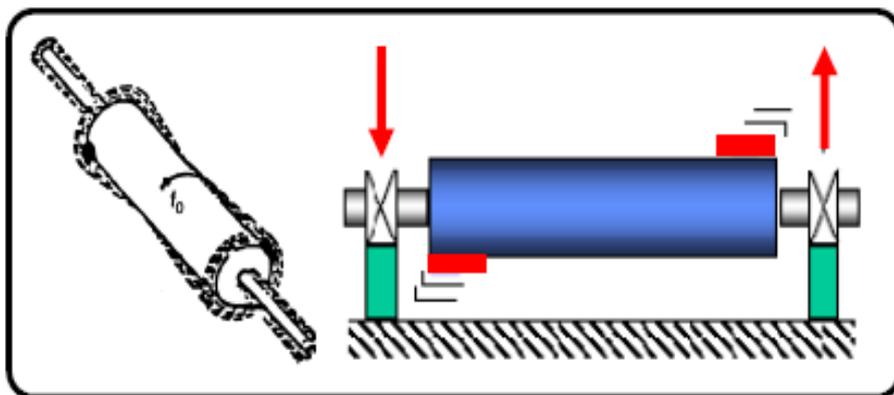


Figure IV. 5: balourd dynamique.

**❖ Balourd couple**

C'est une combinaison des deux premiers, il correspond au cas réel le plus fréquent.

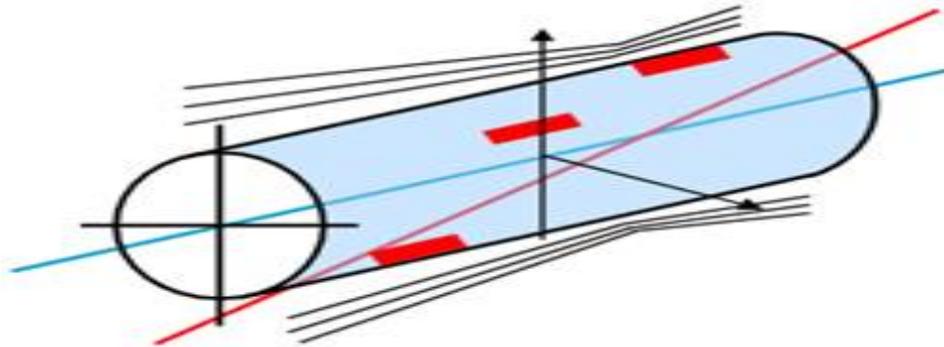


Figure IV.6 : balourd couple.

**IV.2.1.4. Signature vibratoire**

Le balourd se manifeste par une énergie vibratoire localisée :

- A la fréquence de rotation  $F_r$ .
- Aux fréquences des harmoniques  $2F_r$ ,  $3F_r$ ... (Avec des pics d'amplitudes plus faibles)

L'évolution du balourd se manifeste par une augmentation de la raie à  $F_r$  et des harmoniques  $2F_r$ ,  $3F_r$ ,...

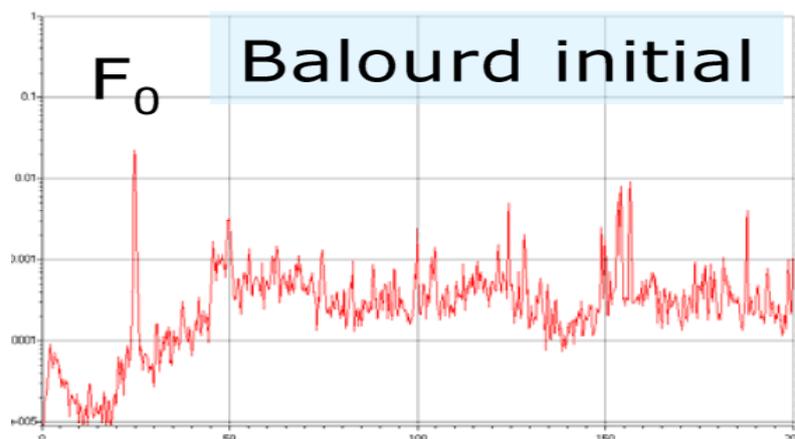


Figure IV.3.b : balourd initial

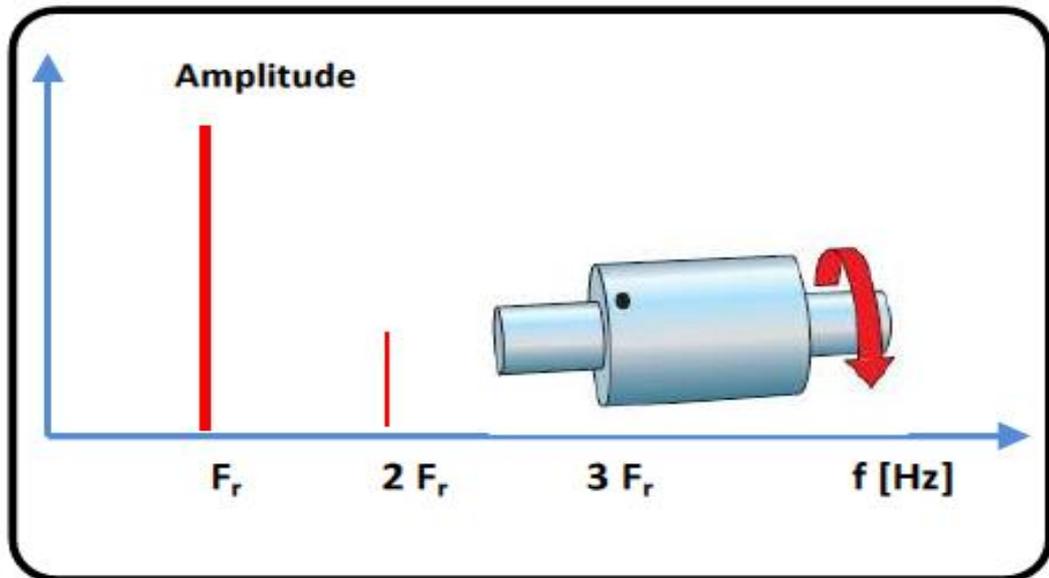


Figure IV.3.a : spectre d'un balourd initial

Il existe toujours un balourd résiduel sur une machine tournante. L'évolution du balourd se manifeste par une augmentation de la raie à  $F_r$  et des harmonique  $2F_r$ ,  $3F_r$ ,...

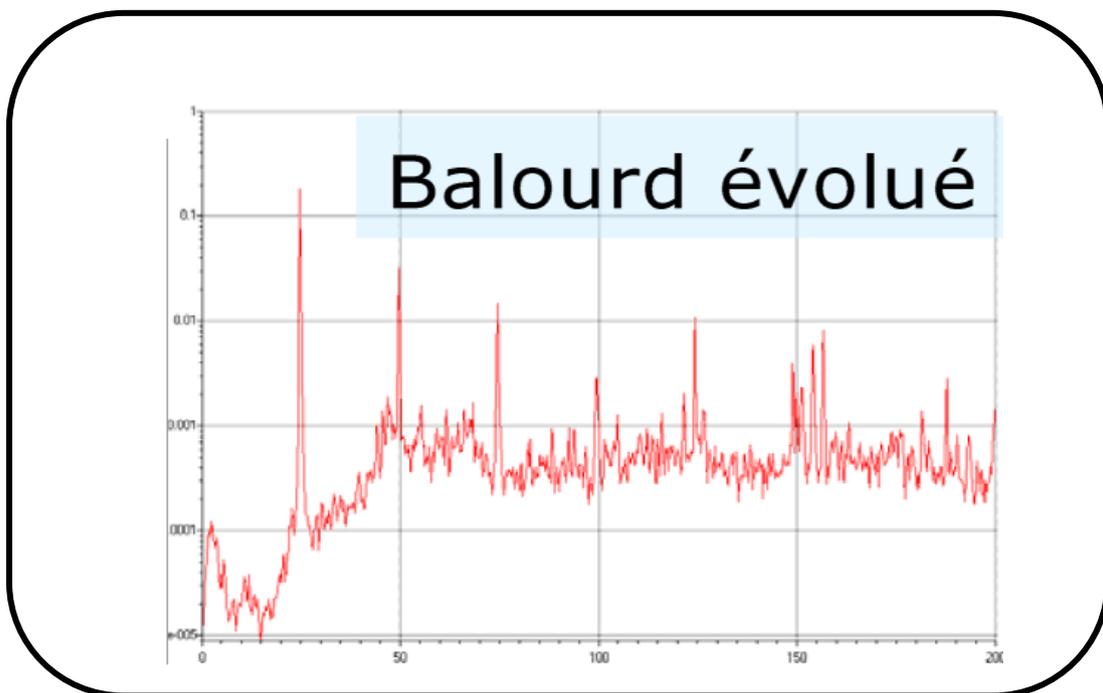


Figure IV.3.c : Balourd évolué.

## IV.2.2. Défaut de désalignement

### IV.2.2.1. Définition

Le défaut d'alignement est l'une des principales causes de réduction de la durée de vie des équipements. Il concerne soit deux arbres liés par un accouplement, soit deux paliers soutenant le même axe [13].

Un défaut d'alignement peut apparaître lorsqu'un arbre doit entraîner un autre arbre, souvent par l'intermédiaire d'un accouplement. Il y a deux types de désalignement :

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

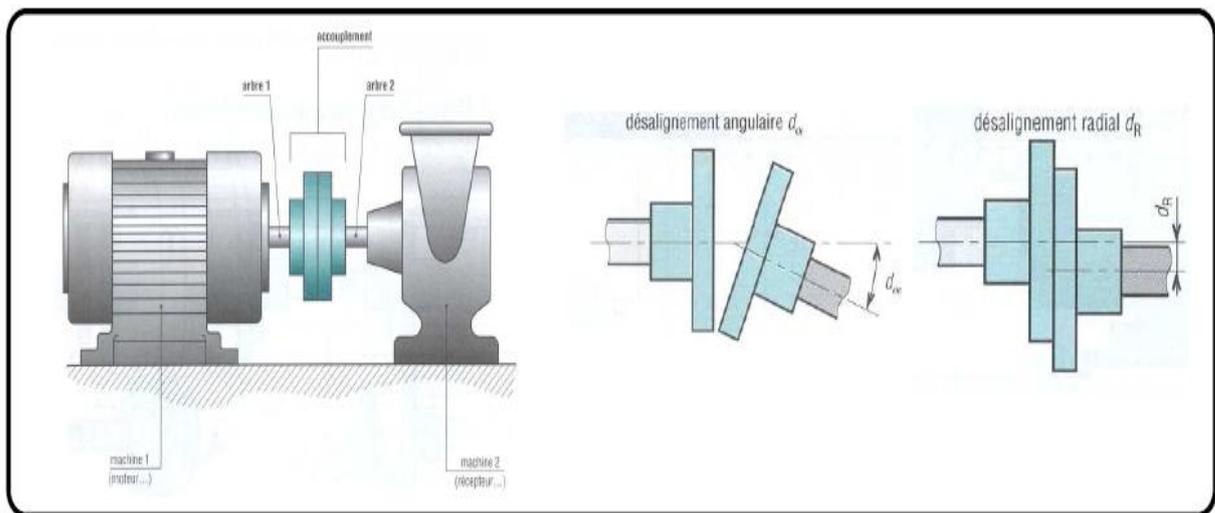


Figure IV.7: défauts d'alignement d'arbres.

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

### IV.2.2.2. Les causes du désalignement

Un désalignement peut être également la conséquence :

- D'un défaut de montage d'un palier.
- D'un mauvais calage des pattes de fixation.
- D'une déformation du châssis qui se traduit par une flexion de l'arbre du rotor. Dans ce cas les deux paliers ne sont pas concentriques.

Le défaut de désalignement est l'une des principales causes de réduction de la durée de vie des machines tournantes. Il engendre des efforts importants qui entraînent la dégradation rapide du système d'accouplement.

### IV.2.2.3. Les types de désalignement

#### ❖ Désalignement radiale

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

Un défaut d'alignement est révélé par un pic d'amplitude prépondérante à, généralement, deux fois la fréquence de rotation (parfois 3 ou 4 fois). Il apparaît une vibration dans la direction radiale de composante d'ordre 2 de la fréquence de rotation (rarement d'ordre 3, voire exceptionnellement d'ordre 4), avec des amplitudes supérieures aux composantes d'ordre 1.

Le même phénomène se manifeste dans la direction axiale.

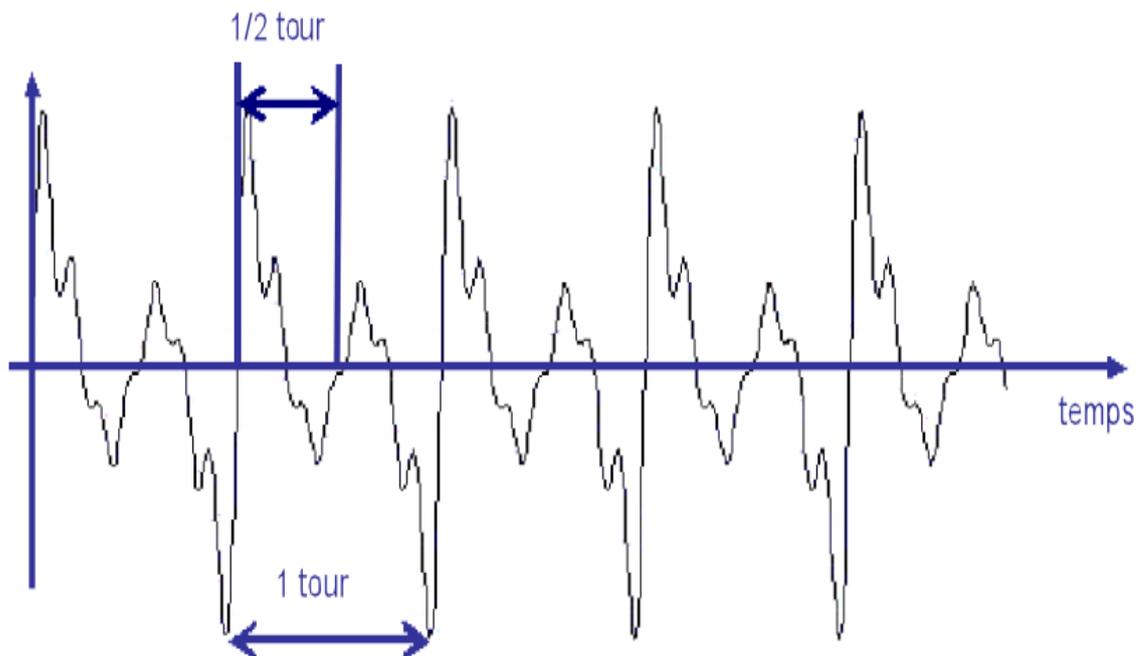


Figure IV.8: Signale d'un défaut d'alignement radial.

Le spectre théorique de défaut d'alignement radial est présenté dans la figure suivante :

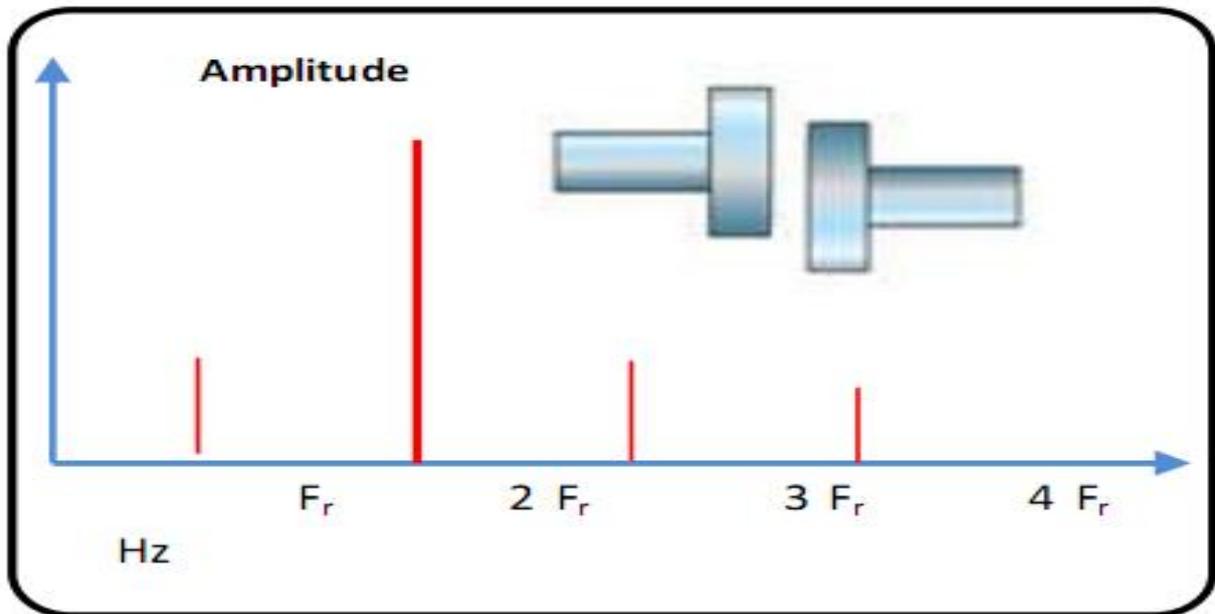


Figure IV.9: Spectre théorique d'alignement radial.

#### ❖ Désalignement angulaire :

Il apparaît une vibration axiale de composante d'ordres 1, 2, 3, ou 4 de la fréquence de rotation avec des amplitudes supérieures à celles des composantes radiales correspondantes.

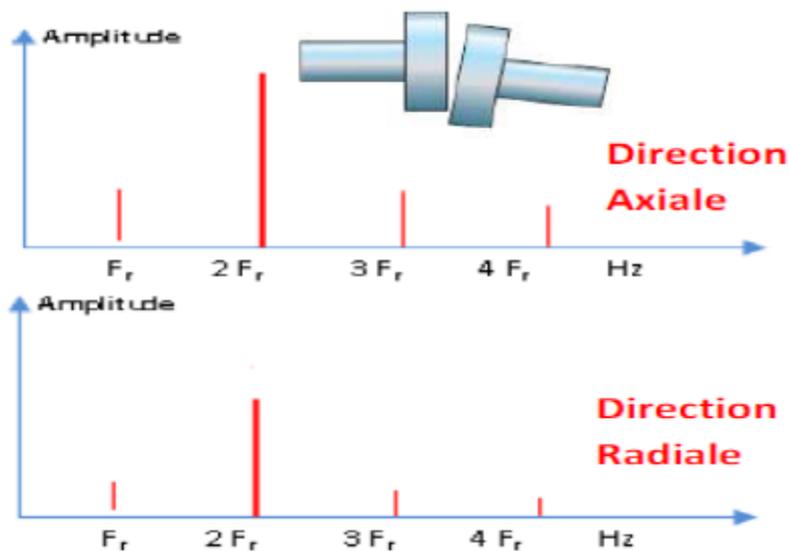


Figure IV.10: Spectre théorique de désalignement angulaire.

Ce défaut d'alignement est l'une des principales causes de réduction de la durée de vie de l'équipement par :

- Déformation du stator.
- Efforts dissymétriques sur le rotor.
- Déformation de la structure porteuse.
- Blocage d'accouplement.
- Créé des efforts importants qui vont entraîner la dégradation des palies.

### IV.2.3. Défauts de serrage

Le mauvais serrage de la structure de la machine génère des vibrations et un certain bruit. Le Spectre typique mesuré sur une machine dans laquelle il existe un jeu contient un grand nombre de pic à des fréquences multiples de la fréquence de rotation.

Il est également parfois possible de retrouver des pics à l'harmonique ( $1/2 \times$  la fréquence de rotation de l'arbre) et ses multiples [5].

Les causes d'un jeu sont principalement l'usure ou un mauvais montage. Comme exemples de jeu, on peut entre autre citer : accouplement dont le caoutchouc est usé, paliers montés avec un jeu excessif, ou boulons cassés (plus de jonction mécanique).

Une roue à aubes dont les aubes touchent la carcasse nous donne un défaut semblable au jeu, amplifié.

La figure suivante montre un exemple spectre sur une machine dont le joint de l'accouplement est use. La fréquence de rotation est de 24,25 Hz.

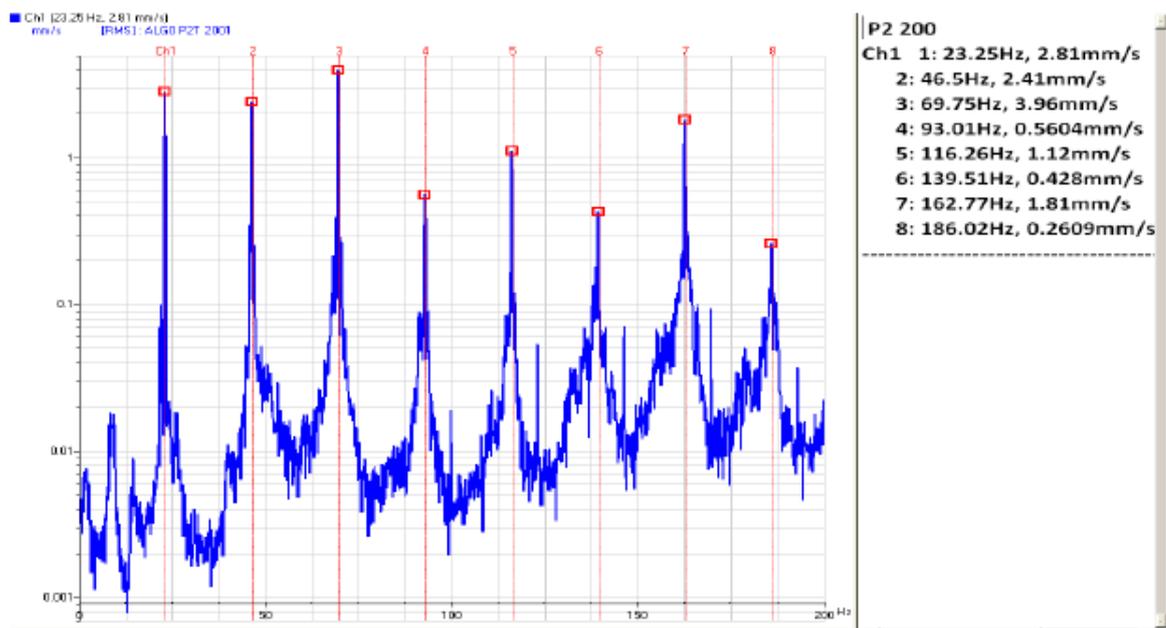


Figure IV.11: Défaut d'usure d'accouplement

#### IV.2.4. Défauts des paliers lisses :

##### IV.2.4.1 Généralités :

On admet généralement qu'il est difficile de rechercher un défaut sur un palier lisse (enlèvement de matière) à l'aide d'un accéléromètre.

Le meilleur moyen pour la surveillance des paliers lisses est l'utilisation de capteur de déplacement qui permettent de mesurer les déplacements de l'axe de rotation. En utilisant un collecteur bivoies, il est possible d'utiliser l'analyse orbitale.

Un problème spécifique aux paliers lisses est l'instabilité du film d'huile à l'intérieur du palier. Des turbulences se produisent dans l'huile et provoquent l'excentricité de l'arbre. Cette excentricité peut aussi être provoquée par un balourd. La fréquence résultant de l'instabilité du film d'huile se situe aux alentours de 0.35 à 0.49 fois la vitesse de rotation.

Dans un tel palier, l'arbre est en équilibre sur le film d'huile entretenu par la rotation. La position d'équilibre est définie par l'angle de calage qui est l'angle formé par la droite des centres et la direction de la charge de l'arbre dans le palier. L'angle de calage dépend de la technologie du palier et a une forte incidence sur la stabilité de la machine [5].

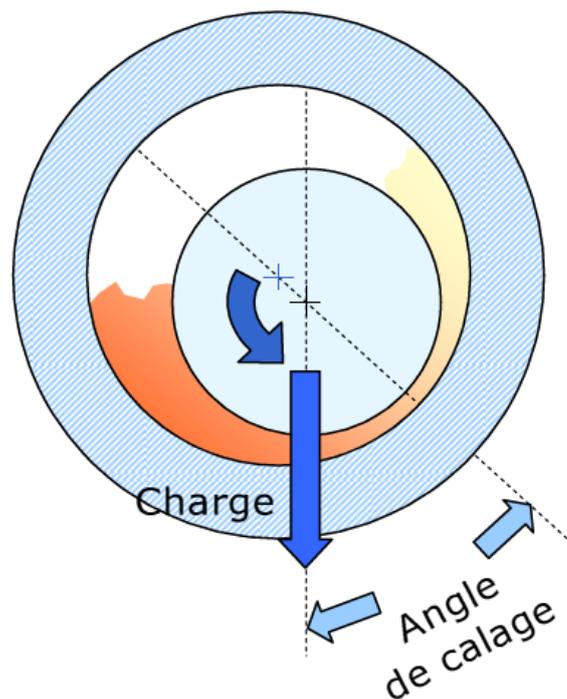


Figure IV.12: paliers lisses hydrodynamiques.

#### IV.2.4.2. Instabilités de paliers :

Des instabilités de l'arbre dans le palier peuvent apparaître sous l'effet de variations de certains paramètres tels que :

- Charge appliquée au rotor
- Vitesse de rotation
- Viscosité de l'huile

L'instabilité se manifeste par une vibration auto-entretenu qui entraîne une précession du rotor, avec une période différente de la période de rotation, dont la fréquence est :

$$0.23F_0 < F_{\text{instabilité}} < 0.63F_0$$

Selon la technologie du palier.

#### IV.2.4.3. Fouettement et tournoiement :

Il existe deux types d'instabilités :

- **Le tournoiement d'huile (Oil Whirl) :** Instabilité dont la fréquence varie avec la fréquence de rotation du rotor.
- **Le fouettement d'huile (Oil Whip) :** Instabilité dont la fréquence coïncide avec la vitesse critique correspondant à la première pulsation propre du rotor (rotor en état flexible).

#### IV.2.4.4. Origine des instabilités :

Les instabilités de paliers peuvent apparaître au cours des phases transitoires des machines tournant à vitesse élevée (turbines). Elles peuvent être observées sur des acquisitions spectrales en cascade.

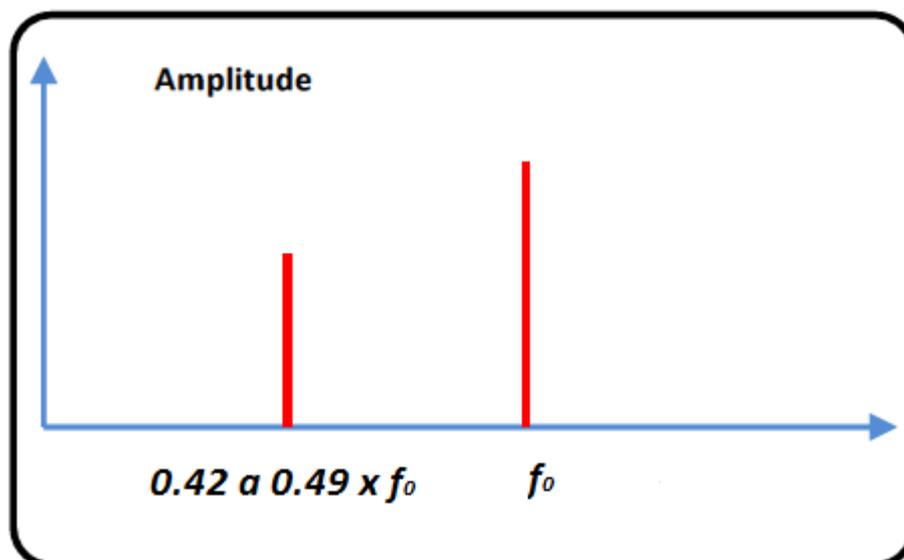


Figure IV.13: Spectre théorique d'un défaut d'une instabilité de paliers.

**Conclusion :**

Ce chapitre a été consacré aux différents défauts et leurs spectres caractéristiques. L'idée qu'on peut constater de ce chapitre est :

Un y a pas de bon diagnostic sans une bonne connaissance des défauts. C'est pourquoi, la première démarche d'une action de surveillance, c'est de rechercher quels sont les incidents les plus fréquemment rencontrés sur les machines et comment ils se manifestent et quelle est leur signature.

Pour être efficace, il faut d'abord avoir une idée aussi claire que possible des mécanismes qui influent sur les grandeurs significatives (nombre de pannes, temps de réparation, délais logistiques, coûts de maintenance préventive, coûts du stockage des matières, actions de communication, etc.). Il faut ensuite mesurer ces grandeurs et construire des indicateurs pour juger de l'état du système maintenance et pour identifier.

Les différentes représentations des signaux (temporel, vectoriel, spectral) aident les agents de maintenance pour déterminer le défaut.



## **Chapitre V : Etude Expérimentale**

### **V.1. Introduction**

L'obligation de mise en service la GTA pose une max de disponibilité pour l'intérêt de production de l'électricité. Cette mise en service obligé des révisions systématique. Ces révisions périodiques faites par des systèmes de surveillance qui permet de maintenir le groupe en bonne état de fonctionnement avec une plate forme bien organisée pour les interventions et les révisions.

Pour les raison économique, il faut assurer la disponibilité des moyens de production d'électricité avec un cout optimum, cela exige aux personnels de maintenance de faire une stratégie ou de planifier un plan de maintenance à la cour de l'année pour les systèmes des productions.

### **V.2. But de travail**

Ce modeste travail sert à étudier le comportement vibratoire du groupe turboalternateur du la central de cap Djinet, et choisi un défaut et fait la correction de ce défaut par une analyse spectral.

### **V.3. Les outils de mesures**

#### **V.3. Description de système VIBROCAM 4000**

Le VIBROCAM 4000 est un système modulaire destiné au diagnostic et à la maintenance des machines.

Grâce à différents composantes matériels et logiciels, il répond à un grand nombre d'applications dans les domaines de protection et de la maintenance des machines comme, par exemple la mesure, la surveillance, l'exploitation ou l'affichage des paramètres importants, tout comme l'édition de rapports.

L'acquisition des mesures se fait en ligne ou hors ligne, à l'aide de différents appareils d'acquisition

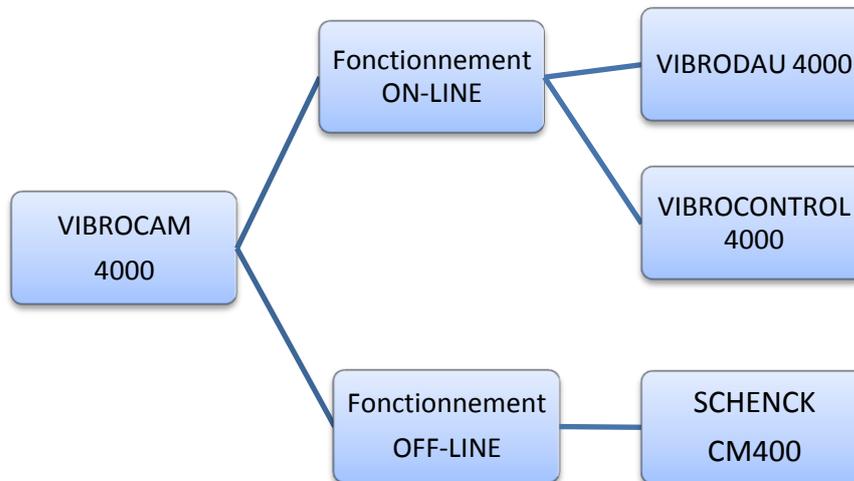


Figure V.1 : organigramme de VIBROCAM 4000.

#### a) Fonctionnement « « ON-LINE » »

A l'aide du système multivoies d'acquisition discontinue de données VIBRODAU 5000. Le VIBRODAU 5000 est un système d'acquisition périodique et de traitement des données.

Les mesures globales obturées peuvent être traitées, à l'aide du logiciel d'exploitation CM400.

- Mesure en bande large de vibration
- mesure d'état des roulements (BCU)
- Paramètres de procédé (pression, température, ... ect)
- vitesse de rotation

Le diagnostic peut être effectué grâce aux fonctions suivantes :

- Mesure d'un échantillon temporel
- Spectre en fréquence
- Amplitude et phase d'une mesure filtrée par exemple la 1<sup>ère</sup> et le 2<sup>ème</sup> harmonique

A l'aide du système modulaire d'acquisition continue de données VIBROCONTROL 4000. Le VIBROCONTROL 4000 est un système modulaire d'acquisition continue et de surveillance de données.

Les mesures globales suivantes peuvent être acquises et surveillées :

- Mesure en bande large de vibrations
- Mesure d'état des roulements (BCU)
- Vitesse et sens de rotation
- Fréquence et durée
- Position d'un arbre
- Déplacement d'un arbre
- Paramètres de procédé (pression, température, etc)

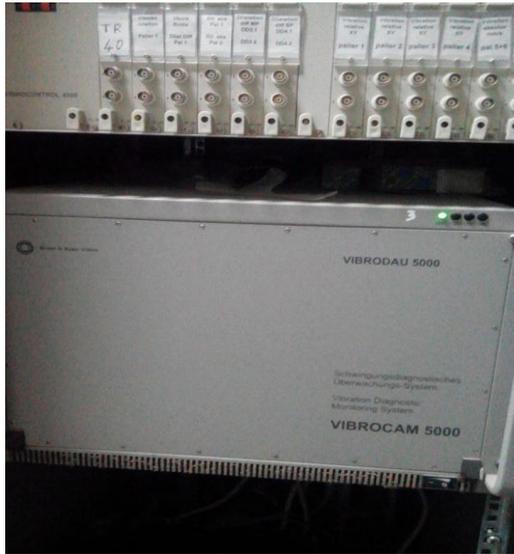


Figure V.2: photo de système de control ON-LINE.

### b) Fonctionnement « « OFF-LINE » »

Le service DIAGNOSTIC MACHINES de la centrale thermique de Cap Djinet utilise un système appelé SHINCK pour la maintenance conditionnelle (détections des défauts des machines tournantes à traverses les vibrations). Ces systèmes est composé d'un collecteur de données appelé VIBROTEST 60, qui permet de faire l'acquisition du signal vibratoire généré par les vibrations d'une machine. Les données acquises stockées dans la carte PCMCIA seront transmises, ver le logiciel VIBROEXPERT C M-400 qui fait le traitement du signal et l'analyse des tendances

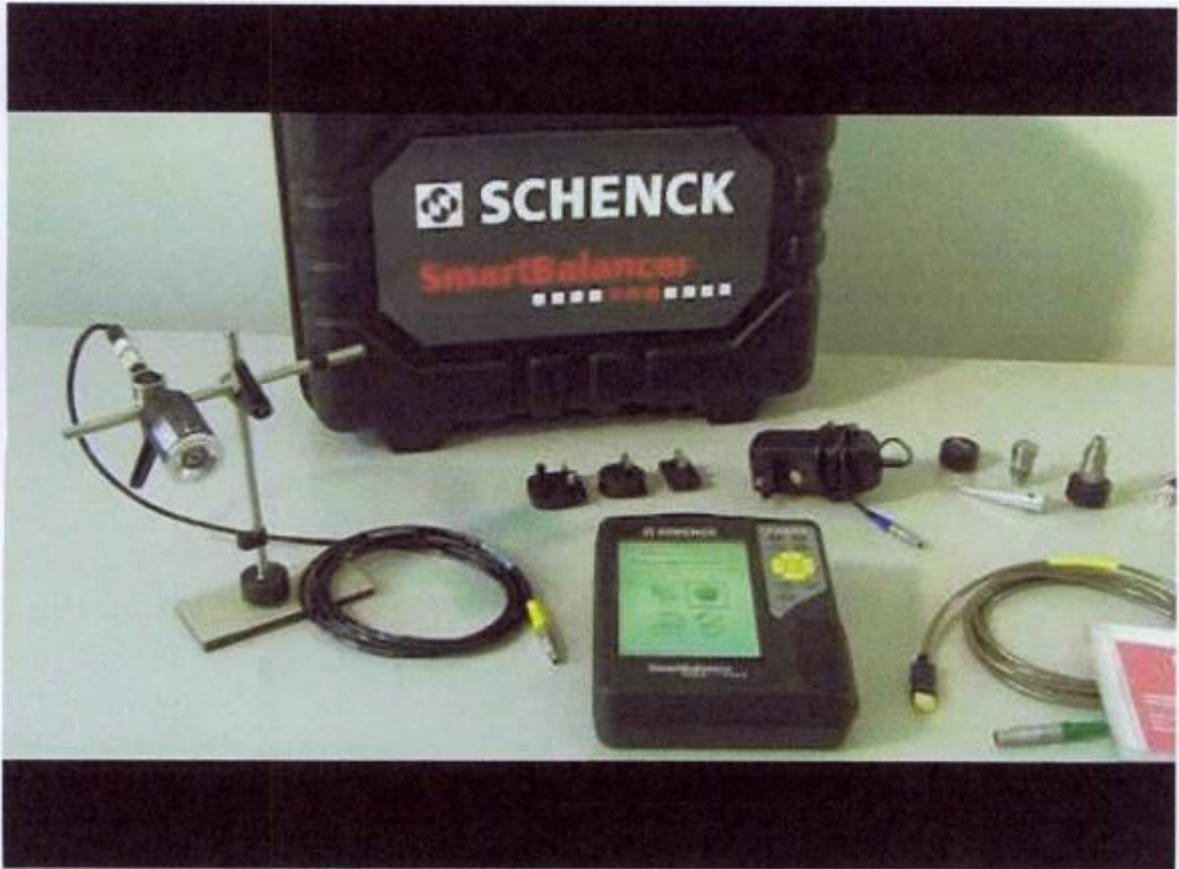


Figure V.3 : photo de SCHENCK.

### a.1 Capteur des vibrations

C'est un accéléromètre AS-065 de type piézoélectrique raccordé au collecteur analyseur VIBROTEST 60.

On utilise ce capteur pour mesurer l'accélération vibratoire.



Figure V.4 : Accéléromètre.

- Caractéristiques techniques
  - Marque : SCHENCK
  - TYPE : AS-065
  - Principe : piézo-électrique avec amplificateur de charge intégré
  - Mode de fixation : vissage, aimant ou point de touche
  - Facteur de transmission : 100mV/g ou 10.2mV/ms<sup>2</sup>
  - Plage de fréquence : 3. 10 000 Hz (±0.5 dB)- 1..15 000Hz (±0.3 dB)
  - Fréquence propre : 35KHz
  - Plage de température : -50.... +120 °C
- Les positions de capteur dans le système « OFF LINE»

Pour le système « OFF LINE» les mesures de vibration sont effectuées sur chaque point dans les trois directions axiales, horizontales et verticales

Analyseur-VIBROTEST60

- le VIBROTEST 60 est un appareil d'acquisition pratique destiné à faire : des mesures globales de vibration, de paramètre de procédé, de signaux temporels et des spectres.
- le VIBROTEST60 c'est un collecteur de données portable. Il permet la collecte des données vibratoire qui seront transférés dans un micro-ordinateur par l'intermédiaire d'une carte PCMCIA à travers un lecteur un OMNDRIVE

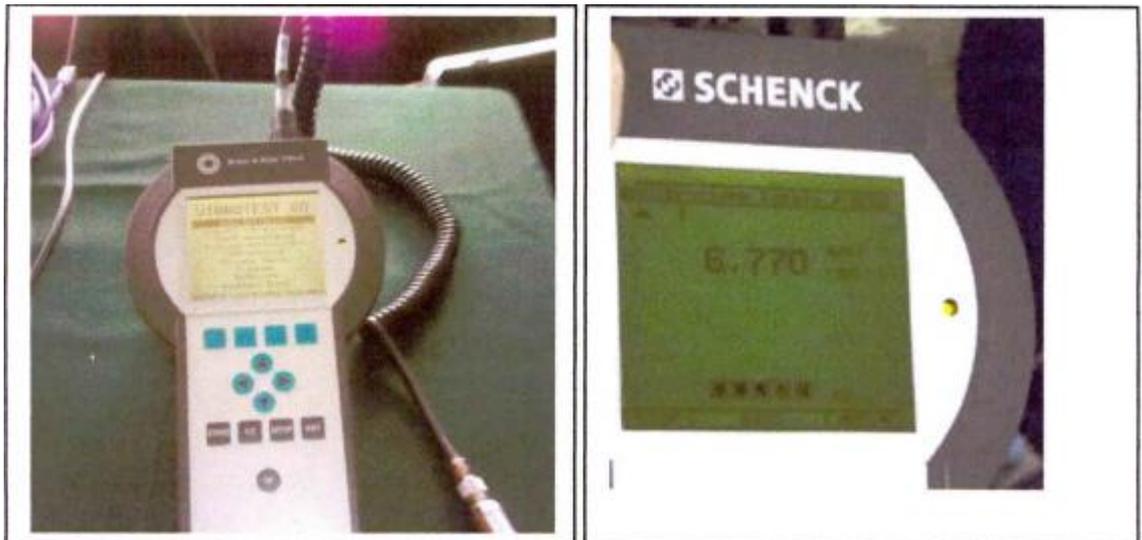


Figure V.5 : collecteur de données portable SCHENCK.

- Caractéristique techniques
  - Marque : SCHENK
  - Type : VIBROTEST 60
  - Modes de fonctionnement :
    - Mode analyseur de spectre
    - Fonction enregistreur (Temps)
    - Mode collecteur de données
    -

**c) Logiciel de diagnostic et d'analyse VIBRO-EXPERT CM 400**

Le logiciel VIBROEXPERT CM- 400, logiciel permet d'exploiter les données de mesure de la carte PCMCIA, pour apprécier l'état des machines, faire le diagnostic des défauts et réaliser la maintenance conditionnelle.

- Copyright de l'éditeur : SCHENCK VIBRO GmbH
- Modules d'analyse :
  - Global
  - Spectres
  - Fonction de temps (non disponible)
  - Harmoniques (non disponible)
  - Pré spectre
- Modules de base :
  - En ligne (non disponible)
  - Hors ligne
  - VIBRO-REPORT (éditeur de rapport)

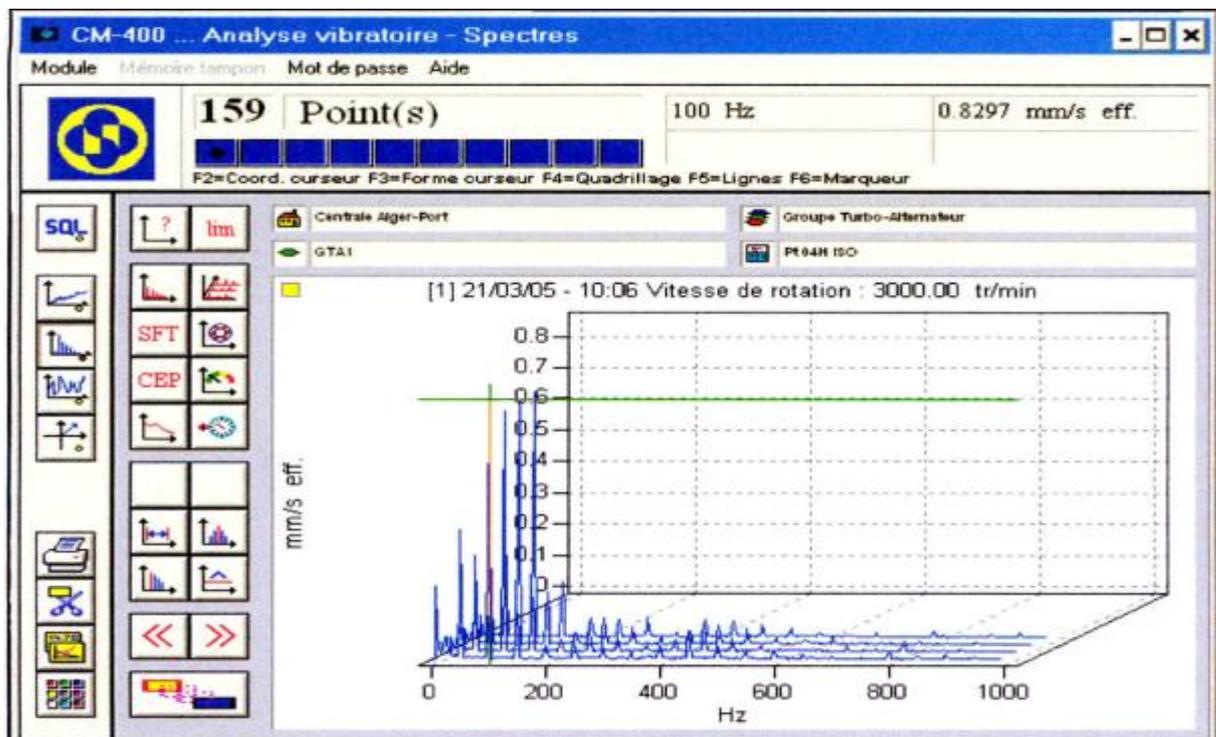


Figure V.6 : VIBROEXPERT CM-400.

## V.4. Partie manipulation

### V.4.1. Les points de mesures

L'implantation de l'accéléromètre sur les machines est très importante. Chaque campagne de mesure doit être effectuée en des points précis et toujours les mêmes, en effet un phénomène mécanique peut donner les images vibratoires sensiblement différentes en fonction des points de mesure.

On essaie de rapprocher les plus possible les points de mesure des paliers, cela nous a permis d'obtenir des images les plus fidèles des défauts mécaniques.

Chaque palier du GTA à trois capteurs de mesure :

- Palier avant le corps HP : deux capteurs absolues et un capteur relative ;
- Palier après HP et avant MP : deux capteurs absolues et un capteur relative ;
- Palier après MP et avant BP : deux capteurs absolues et un capteur relative ;
- Entre les corps BP et l'alternateur, on a deux paliers, tels que chaque palier comporte relative ;
- Palier après l'alternateur et avant l'excitatrice : deux capteurs absolues et un capteur relative ;
- Palier entre l'excitatrice : deux capteurs absolues et un capteur relative.

Les capteurs absolus sont des accéléromètres qui servent à mesurer les vibrations absolues des paliers, par contre les capteurs relatifs sont des proximités (capteur à courant de Foucault) servent à mesurer les vibrations relatives.

Et pour avoir une image vibratoire complète des vibrations. On a pris les mesures selon trois directions perpendiculaires sur chaque palier du groupe turboalternateur : les trois directions possibles sont verticale, horizontale, axiale. Ces mesures sont faites par le VIBROTEST 60.

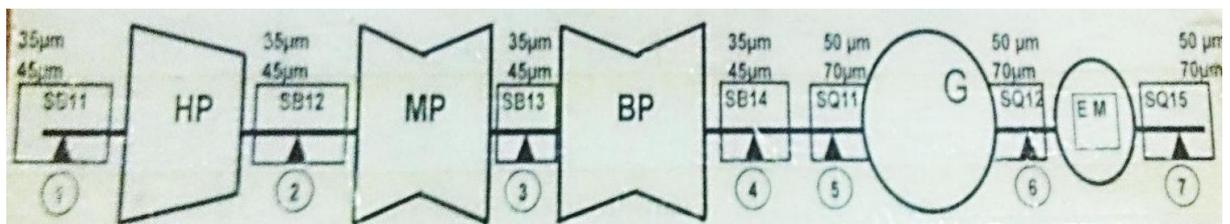


Figure V.7: représentation des sept paliers de GTA.

Les mesures sont faites à l'aide de VIBROTEST 60 (principe de mesure).

Les mesures sont faites sur trois positions : axiale, horizontale et verticale

Le traitement de ces signaux se fait à l'aide d'un logiciel s'appelle CM-400 .

**Remarque :** malheureusement on ne peut pas accéder pour mesure les vibrations au niveau de palier 7, si pour cette raison on a fait des mesures que sur six palier.

Les positions des mesures  
Position (1) : horizontale  
Position (2) : verticale  
Position (3) : axiale

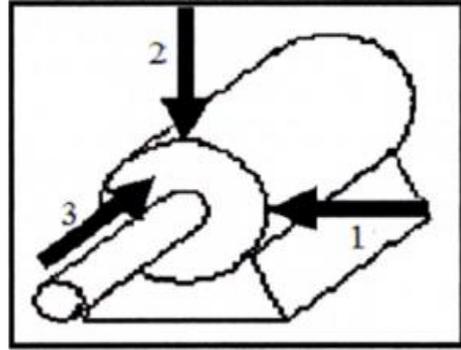


Figure 6 les positions des mesures.

#### V.4.2. Matériel utilisé dans l'équilibrage

##### a) OROS séries 3

Ces des analyseurs adaptés pour mesure des bruits et des vibrations. De 2 à 32 voies, ces instruments complets permettent des analyses précises en temps réel. Associés à un enregistreur autonome sur disque dur, intégré dans leur châssis, ces analyseurs se positionnent comme la référence des instruments portables pour professionnels [7].



Figure V.9: les différentes capacités de matériel OROS (2 à 32 voies).

Les domaines exigeants sont **L'automobile, l'aéronautique, l'énergie et l'industrie** : de plus en plus de mesures dans des laps de temps de plus en plus courts. OROS propose des analyseurs de bruit et de vibration conçus et fabriqués à partir des technologies les plus modernes. Nous on précisé le domaine de l'industrie

### b) Avantage et Inconvénient de ce système

Avantage	Inconvénient
<ul style="list-style-type: none"> <li>-Ces analyseurs permettent de réaliser les mesures sur site.</li> <li>-Ces instruments surmontent la plupart des obstacles grâce à leur large éventail de fréquences du milli hertz à 40 kHz et leur gamme dynamique étendue de 140 dB.</li> <li>-Jusqu'à 40 kHz, l'analyse FFT fournit une analyse spectrale haute résolution.</li> <li>- ces analyseurs en peu conte come un système ON-LINE come en peu conte come un système OF-LINE</li> <li>-L'enregistreur intégré autonome s'assure du stockage exact des données</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>-Ce système est équipé d'une batterie externe, donc il ya un problème de déchargement de batterie.</li> <li>- Capacité d'enregistrement petite par a pour à les calcule de la FFT (si pour ca que la capacité maximal d'enregistrement est 100000 dernière points mesuré)</li> <li>-</li> </ul>

Tableau V.1 : représentation des principaux avantages et inconvénients de l'OROS [9].

### c) Logiciel associe avec OROS est le NVGate

**NVGate** est le logiciel fondamental pour toutes vos mesures. IL utilise pendant tout le processus de mesure, de l'acquisition de données jusqu'au rapport. IL garde la même interface pour l'enregistrement, la post-analyse, les applications avancées et pour chaque mode d'analyse [7].

### V.4.3.Les normes à suivre à la surveillance

Dans la surveillance il y'a des notions ou bien des Norme à suivre

#### a) Vibrations Relatives Selon La Norme ISO 7919-2

Répartition en zone pour 3000 Tr /min	Vibration absolue d'arbre En m 0-crête	Explication selon ISO
A	< 45	Machine neuve
B	45> valeur <83	Service autorisé
C	83> valeur <120	Durée limité autorisé
D	>120	Endommagement possible de la machine

Tableau V.2 : classement des vibrations selon le danger d'après la norme ISO.

## b) Vibrations Absolue Selon La Norme ISO10816-2

Répartition en zone pour 3000 Tr /min	Vibration absolue d'arbre En mm /s eff	Explication selon ISO
A	< 3,8	Machine neuve
B	3,8 > valeur < 7.5	Service autorisé
C	7.5 > valeur < 11.8	Durée limité autorisé
D	>11.8	Endommagement possible de la machine

Tableau V.3 : classement des vibrations selon le danger d'après la norme ISO.

Tout si norme on est obligé à suivre pour une bonne surveillance de la machine. Dans ce chapitre en à étudié une balourd (avant l'équilibrage et après l'équilibrage).

Cette Analyse ce fait à basse fréquence (jusqu'à 2KHz) , Toutes les valeurs ont été relevées à la vitesse de 3000Tr /min.

10/12/2016		Vibration Globale		Système T300			
		Oros		Siemens			
A 160 MW	HP	2.5	En horizont ale les valeurs restent stables avec faible valeur	/	105.9	178.4	111.9
	MP Av	0.98		/	83.9	152.8	90.3
	MP Ar	3.76		/	82.6	71.2	94.4
	BP1	11.04		22.04	113.7	94.4	127.9
	Alter Av	3.34		/	Non installé		
	Alter Ar	3.12		/			
	Exct	/					

Tableau V.4: les résultats de premières mesures à 160 MW.

Ce tableau présente les résultats obtenus à la première mesure. On remarque que les valeurs en rouge, ces sont des valeurs en zone C (Durée limitée autorisée). Ces valeurs sont en verticale au palier 4 (BP1) 11.04 mm/s (eff), et en axiale au même palier (BP1), et en déplacement relatif arbre en Y de valeur de 178.4 µm, les agents de Siemens ont constaté que le défaut est un balourd. Si pour cette raison ils ont passé à l'équilibrage.

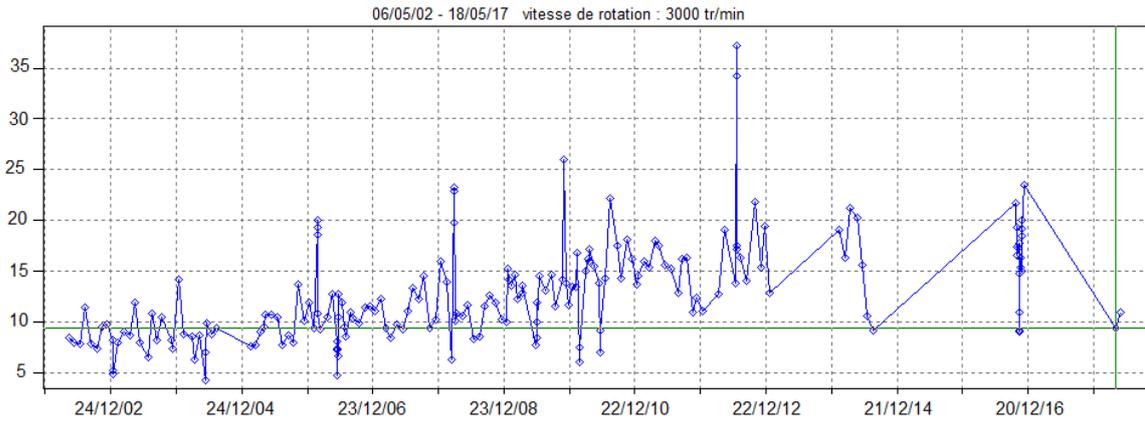


FIGURE V.10: représentation temporel.

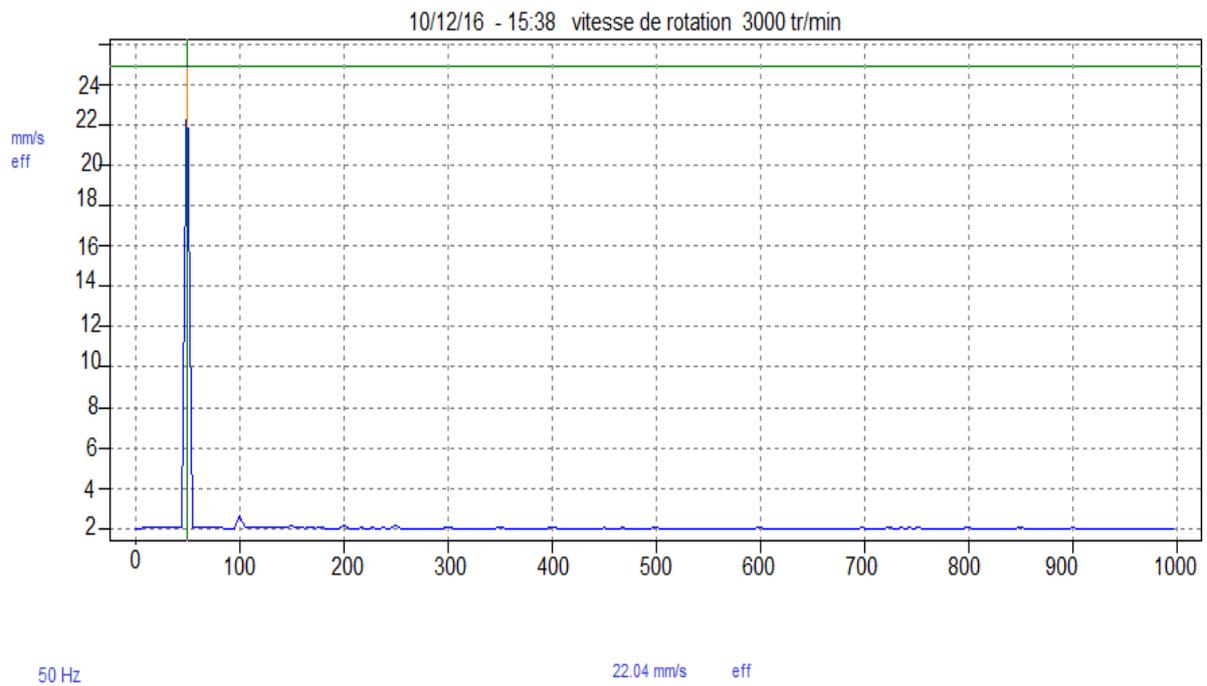


Figure V.11: spectre en axial de défaut.

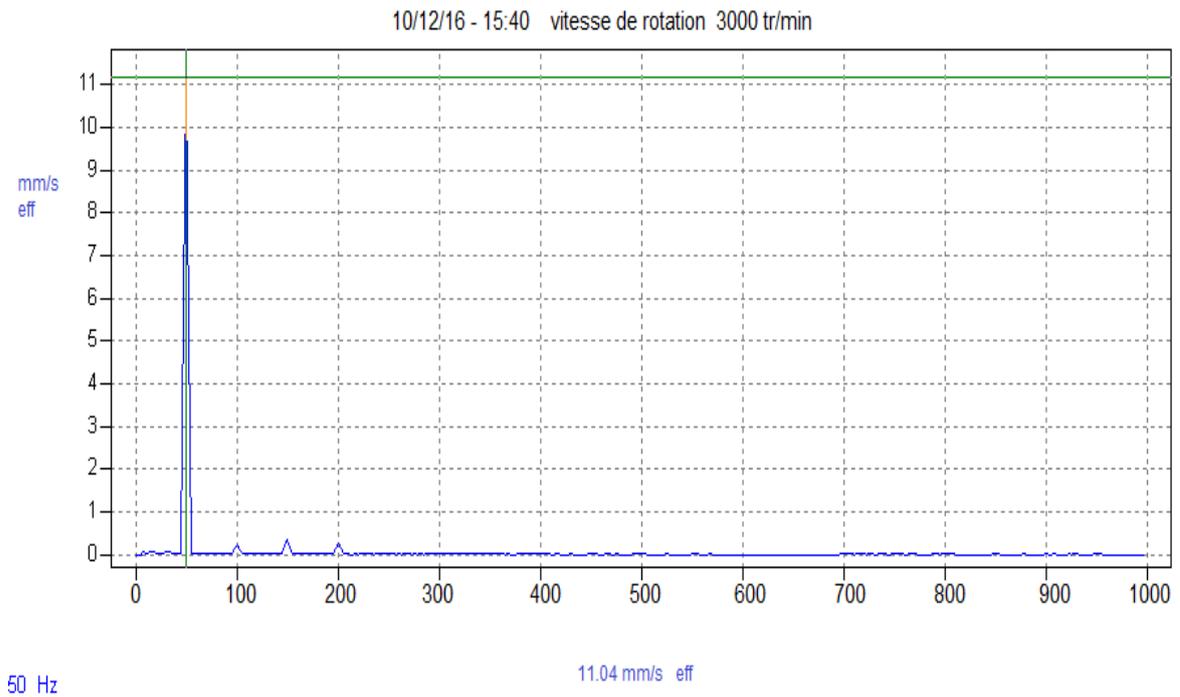


Figure V. 12 : spectre en vertical de défaut.

Soulèvement de la chaise palier N°1(HP) de 0,5mm et enlèvement des masses d'équilibrage du palier 4 (arrière BP)

26/02/2017		Vibration Globale Oros			Système Siemens T300		
Régime	Paliers	V (m m/s eff)	H ( mm/s eff)	A ( mm/s eff)	Relatif Arbre (X)	Relatif Arbre (Y)	Absolu e Arbre
A140 MW	HP	3.3	2.8	2.86	100.2	<u>168.9</u>	105.3
	MP Av	1.69	1.98	0.32	90.2	<u>162.8</u>	94.9
	MP Ar	2.17	1.71	1.2	74.7	73	79.4
	BP <sub>1</sub>	<u>9.99</u>	1.38	<u>22.7</u> <u>1</u>	117.6	86.7	132.5
	BP <sub>2</sub>	6.33	2.03	<u>23.0</u> <u>1</u>	/	/	/
	Alter Av	3.51	3.93	0.41	/	/	/
	Alter Ar	2.75	3.11	2.13	/	/	/

Tableau V.5 : les mesures après soulèvement de la chaise palier N°1(HP) de 0,5mm.

En à observé une amélioration de valeur vibratoire sur le palier 1 (HP) qui ne dépasse pas les 10µm en relative arbre Y. Les valeurs vibratoires obtenu sur les paliers 1, 2 en relatif arbre en Y sont élevés, atteint la valeur critique de la zone C. Et dans les vibrations globales axiales en remarque une augmentation de ca valeur au niveau de palier 5 (BP2) de valeur 23.01 mm/s

D'après les résultats obtenus le spécialiste siemens passe au palier 04 pour un équilibrage dynamique

#### V.4.4.L'équilibrage

L'équilibrage est une technique pour stabiliser une pièce qui dispose d'un axe de rotation. Il existe deux types d'équilibrage : l'équilibrage statique (en l'absence de rotation) et l'équilibrage dynamique (lorsque le mobile tourne sur son axe principal).

##### a) Définition de l'équilibrage statique

Un solide est **équilibré** statiquement si quelle que soit la position angulaire dans laquelle il est placé, la gravité ne le fait pas bouger. L'équilibrage statique consiste à placer le centre de gravité du solide étudié sur son axe de rotation

##### b) Définition de l'équilibrage dynamique

L'équilibre dynamique d'une pièce en rotation est atteint lorsqu'aucune vibration ne se produit quelle que soit sa vitesse de rotation

- Démarrage 30/03/2017 avec 14 masses des deux cotes du corps BP en opposé :

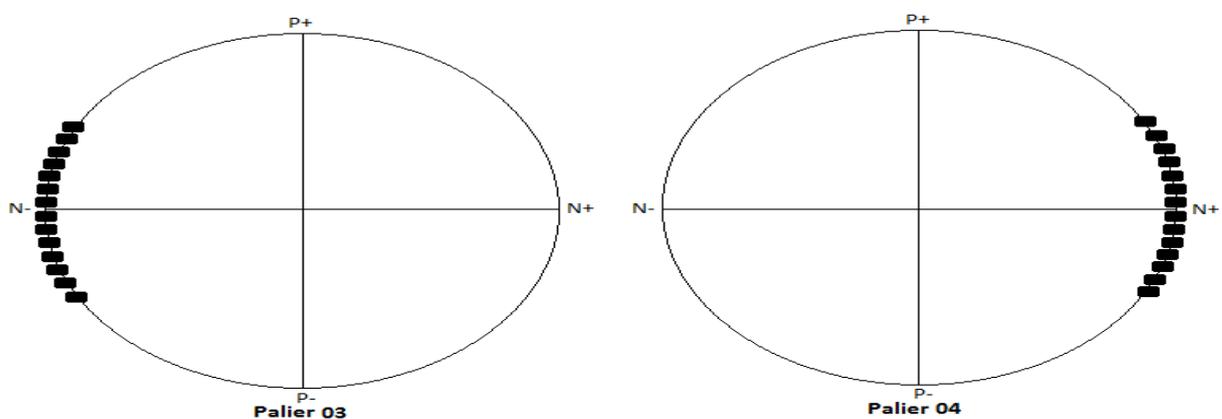


Figure V.13: la position des 14 masses en corps BP.

Les agents de siemens ajoutent dans ce démarrage 14 masses de 33 g, des deux cotes de corps BP (avant, et après le corps BP) on opposé.

30/03/2017		Vibration Globale Oros		
Régime	Paliers	V (m m/s eff)	H (mm/s eff)	A (m m/s eff)
A55M W	HP	2.27	En	/
	MP Av	/	horizontale	/
	MP Ar	3.7	les valeurs	/
	BP <sub>1</sub>	3.22	restent	4.79
	BP <sub>2</sub>	3.23	stables avec	/
	Alter Av	4.02	faible valeur	/
	Alter Ar	2.05		/
A 80MW	HP	2.48	En	/
	MP Av	/	horizontale	/
	MP Ar	3.64	les valeurs	/
	BP <sub>1</sub>	3.88	restent	6.97
	BP <sub>2</sub>	3.78	stables avec	/
	Alter Av	3.61	faible valeur	/
	Alter Ar	2.1		/
A 140MW	HP	3	En	/
	MP Av	/	horizontale	/
	MP Ar	4.21	les valeurs	/
	BP <sub>1</sub>	4.77	restent	9.36
	BP <sub>2</sub>	4.52	stables avec	/
	Alter Av	3.47	faible valeur	/
	Alter Ar	2.18		/

Tableau V.6: les mesures effectuait après les 14 masses a déférent régime.

Suite aux plusieurs tentatives d'équilibrage pour diminuer les vibrations relatives arbre des paliers 1 (HP) et 4 (BP), et les vibrations absolues du palier 4.

Compte tenu des points cités ci-dessus, le spécialiste siemens a pu réduire les valeurs vibratoires du groupe de la zone C à la zone B.

➤ Démarrage 10/04/2017 avec une masse de correction :

Les agents de siemens ajoutent 10 masses des deux cotes du corps BP en opposé et 17 masses au palier 01.

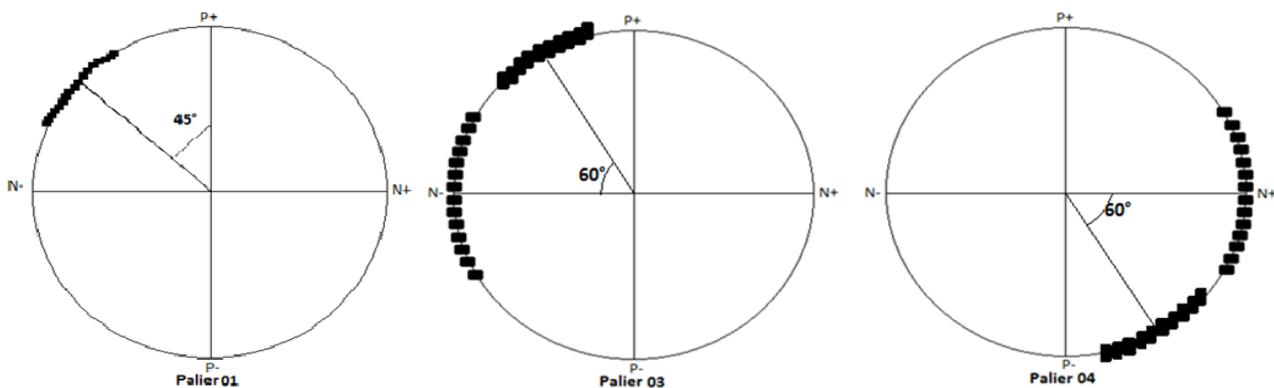


Figure V.14: positionnements des masses de correction.

Ils ont ajouté 10 masses des deux cotés de corps BP en opposé et 17 masses au palier 01, les positions de ces masses est  $60^\circ$  dans les deux cotés de corps BP, à  $45^\circ$  au palier 01. Les ongles ils n'ont pas prises aléatoire, ils ont fait des calculs. Généralement ces calculs faits par logiciel NV GATE. On peut faire ces calculs à la main mais si difficile et moins précise.

10/04/2017		Vibration Global Oros			Système T300 Siemens		
Régime	Paliers	V (mm/s eff)	H (mm/s eff)	A (mm/s eff)	Relatif Arbre (X)	Relatif Arbre (Y)	Absolute Arbre
A 100 MW	HP	3.13	En horizonta le les valeurs restent stables avec faible valeur	/	116	151.3	118.9
	MP Av	/		/	97.9	121.2	102
	MP Ar	3.71		/	72.8	27.8	80.8
	BP <sub>1</sub>	4.77		10.77	135.4	94.4	144.6
	BP <sub>2</sub>	3.58		/			
	Alter Av	3.63		/	Non installer		
	Alter Ar	2.42		/			
A 130 MW	HP	3.15	En horizonta le les valeurs restent stables avec faible valeur	/	86.3	137.4	90.1
	MP Av	/		/	97.9	121.4	102.5
	MP Ar	3.87		/	86.7	43.5	95.1
	BP <sub>1</sub>	3.91		8.99	133.6	96.5	141.6
	BP <sub>2</sub>	2.68		/			
	Alter Av	3.06		/	Non installer		
	Alter Ar	2.19		/			
A 148 MW	HP	3.55	En horizonta le les valeurs restent stables avec faible valeur	/	74.3	149.3	77.7
	MP Av	0.17		/	80	143.1	84.1
	MP Ar	4.16		/	84.6	41.6	93.4
	BP <sub>1</sub>	4.31		10.28	133.6	96.5	142.3
	BP <sub>2</sub>	2.66		/			
	Alter Av	3.4		/	Non installer		
	Alter Ar	2.19		/			

Tableau V.7: les mesures effectuées après les masses de correction à différents régimes.

Une amélioration remarquable de la vibration relative arbre direction Y (retour de la zone C à la zone B) à tous les régimes (100MW, 130MW, 148MW). Et absolu arbre au niveau des paliers 4, cette amélioration dans le régime de 100 MW, par contre les autres régimes les valeurs atteignent la valeur critique de la zone C.

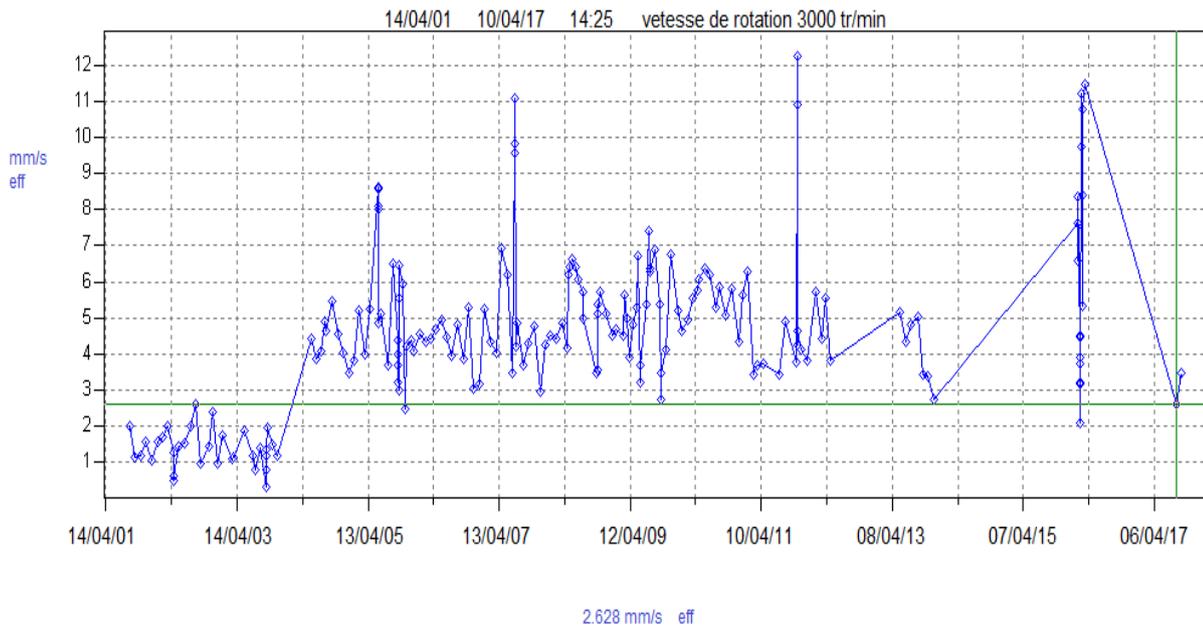


Figure V.15: représentation temporel après l'équilibrage.

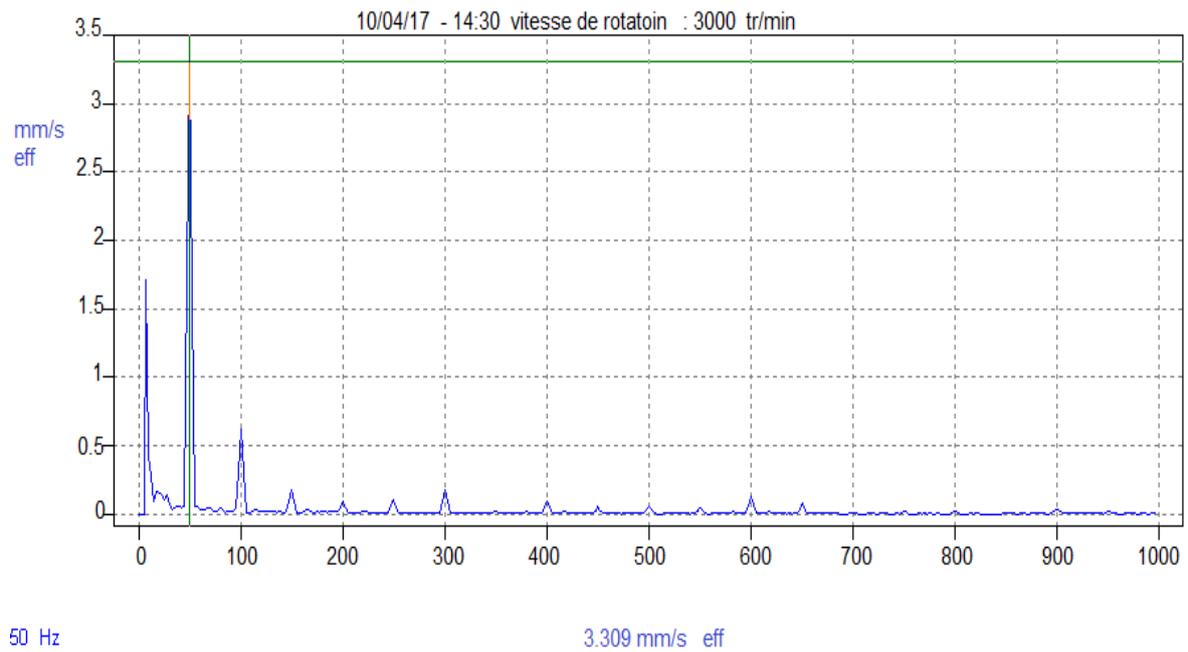


Figure V.6 : représentation spectral en position verticale après l'équilibrage.

### Comparaison entre les deux systèmes de surveillances

<b>ON-LINE</b>	<b>OF-LINE</b>
Aspect économique : Le système ON-LINE ça cote très cher (car dans chaque palier il faut deux capteur positionnée en permanent)	Aspect économique : Le système OFF-LINE est moindre cher (car un seul capteur est suffisent pour les mesure)
Aspect performance et fiabilité : Le système ON-LINE est très efficace (car il priant des mesures en temps réel)	Aspect performance et fiabilité : Le système OFF-LINE est moindre efficace (car les mesure est fait périodiquement ou bien dans le cas qu'il ya une anomalie)

Tableau V.8 : comparaison entre les deus systèmes de surveillances

### Conclusion

Compte tenu des résultats obtenus et des analyses effectuées en régime transitoire et stabilisé (3000tr/min) et en différent régimes de charge, le comportement vibratoire du groupe 10 de la centrale de Ras Djinet est considéré comme :

- **ADMISSIBLE** conformément aux spécifications de la norme internationale ISO 10816 pour ce type de machines, sur toute la ligne d'arbre et selon les mesures absolues palier.
- Une dégradation des vibrations relatives en fonction de la charge du palier HP a été enregistrée, et atteignant 151 um à 100 MW, qui est classé à la limite de la zone B (au voisinage du seuil d'alarme) selon la norme **ISO10816-2**.

Par ailleurs, malgré les différentes tentatives d'équilibrage effectuées par le spécialiste SIEMENS, nous remarquons que les niveaux des vibrations relatives restent toujours élevés et instables selon l'ordre d'ouverture des soupapes au niveau du palier HP.

À cet effet ; nous recommandons :

- une inspection adéquate sur la régulation des soupapes pour détecter l'origine du défaut.
- Une surveillance en continu du comportement vibratoire du groupe durant leur exploitation.



## **Conclusion Générale**

# Conclusion Générale

---

## Conclusion Générale

Par ce modeste travail, j'espère apporter quelques lumières aux problèmes envisagés dans le contexte de mon étude présent. Dans les limites du temps disponible, et de mes connaissances cumulées durant mon stage pratique au sein de la centrale de CAP DJINET, aujourd'hui le choix des techniques d'investigation à mettre en œuvre, en fonction du risque encouru et fiabilité à recherchée, obligée les techniciens de maintenance de faire des bonne choix.

La maintenance à pour objectif de maintenir la disponibilité des équipements pour garantir la qualité les délais et la productivité.

Nous avons démontre que la surveillance vibratoire possède une bonne capacité d'aide à la détection des défauts effectue dans un arbre de turboalternateur.

Le traitement des signaux vibratoires par analyse spectrale permet de mettre en évidence l'existence d'un défaut de l'arbre, la manifestation de ce défaut permet d'apparus une nouvelle fréquence qui représente la fréquence de défaut  $F_d$ .

L'avantage de surveillance des machine par analyse vibratoire et remarquable par leur pouvoir de détecter la défaillance ou une panne au débat de leur naissance qui nous permettre à éviter le maximum des interventions correctif et mille la machine toujours en bon fonctionnement.

Dans tout les cas de surveillance, il est impératif de prendre en considération les autres paramètres de fonctionnement de l'équipement.

- L'utilisation de ces outils permet à la centrale électrique .
- La réduction des coûts de la maintenance par l'amélioration de la longévité du matériel.
- L'augmentation de la production.

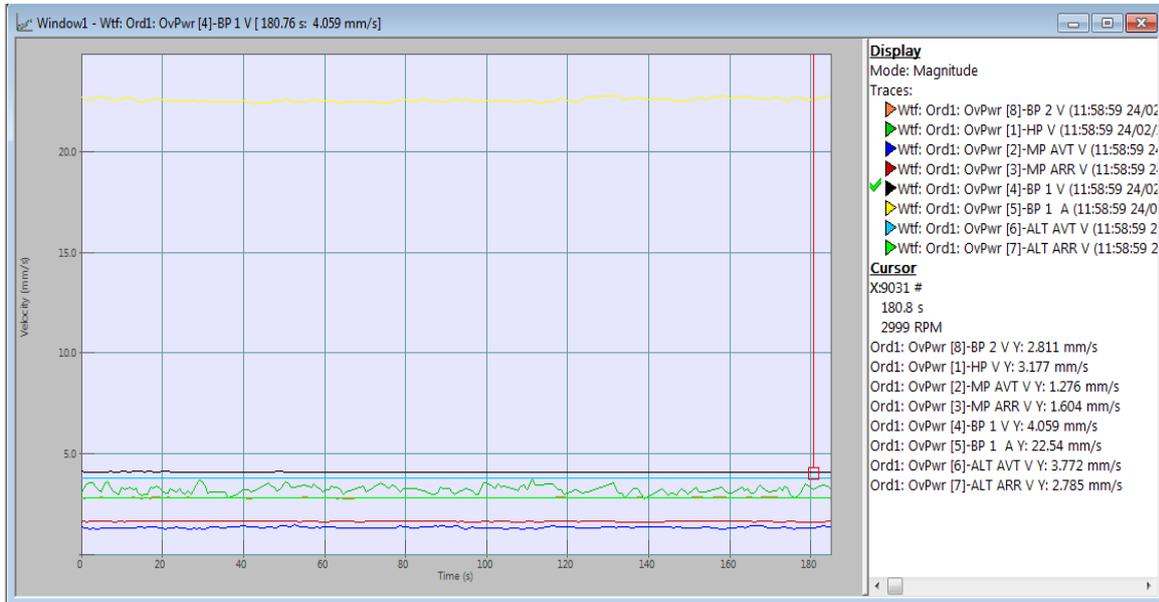
L'amélioration de la sécurité par le contrôle périodique des machines

# Annexes

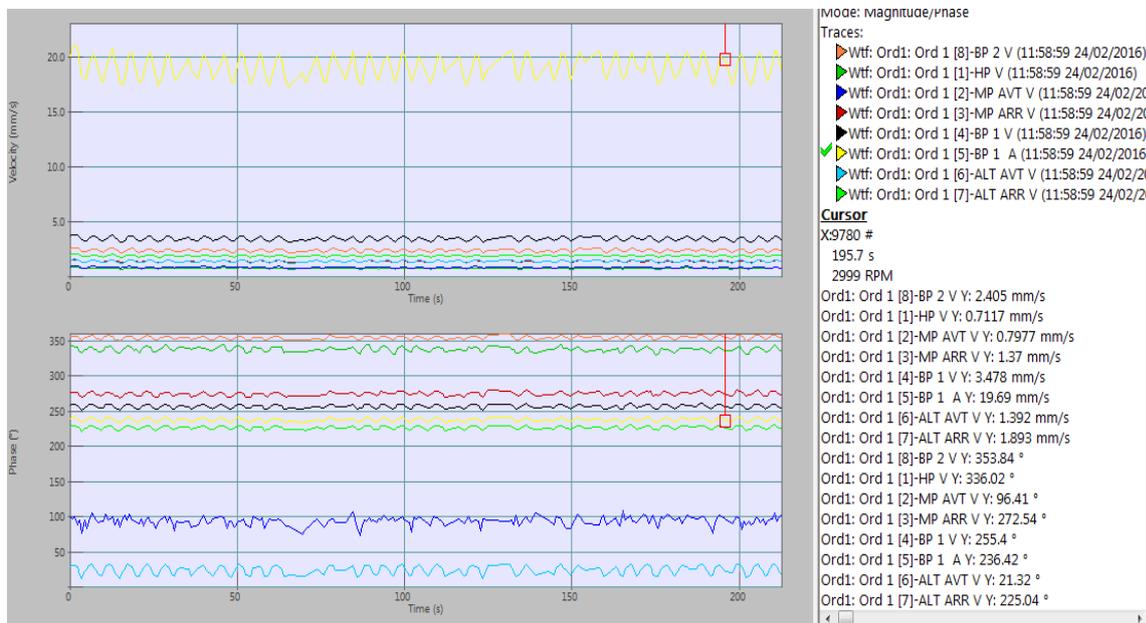
## Annexes

➤ Démarrage le 26/02/2017 : Soulèvement de la chaise palière N°1(HP) de 0,5mm et enlèvement des masses d'équilibrage du palier 4 (BP)

- Les valeurs globales A 140MW

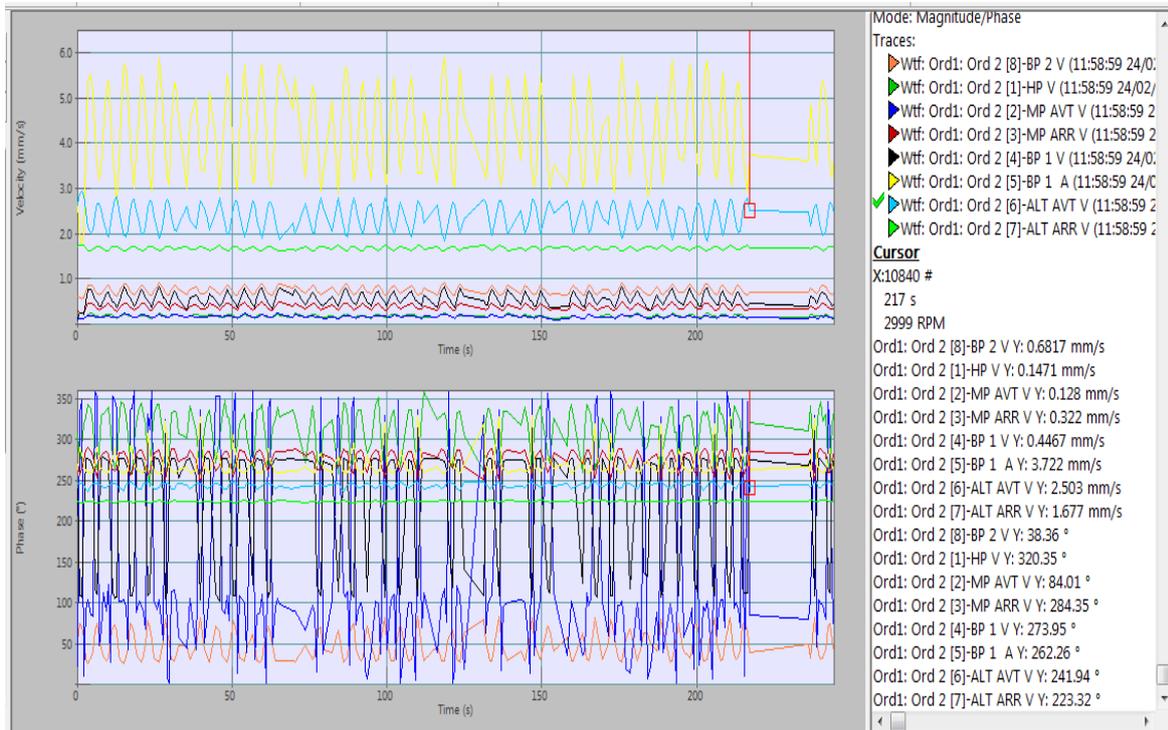


- Le suivi de la fondamentale 1f à 140MW

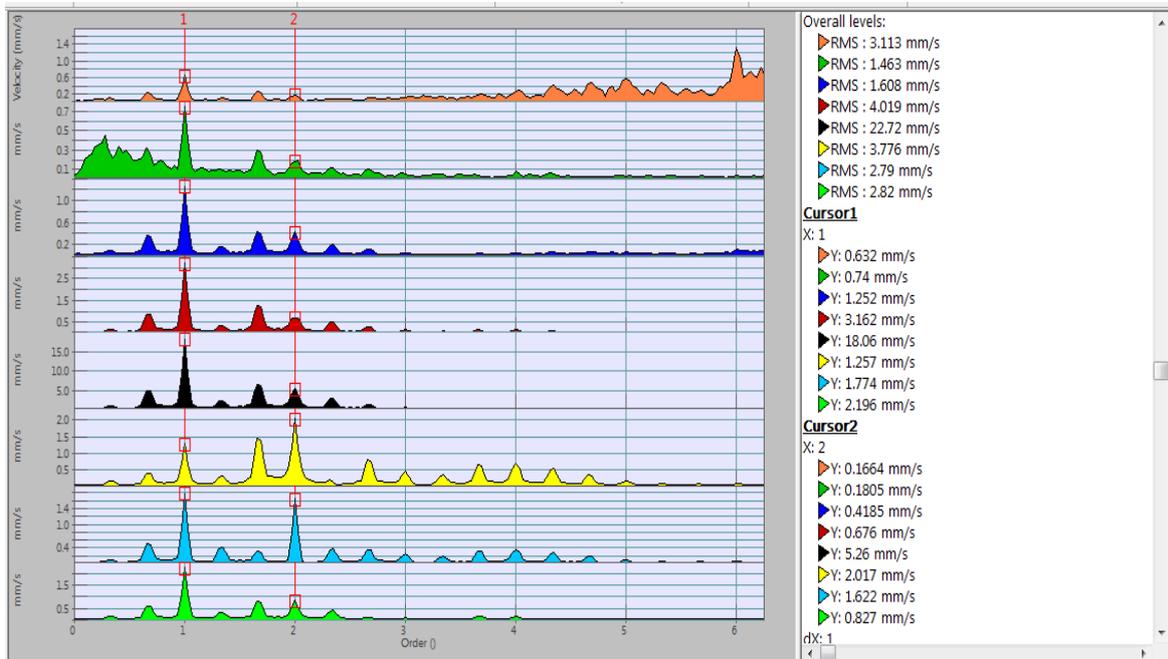


# Annexes

- Le suivi de la fondamentale 2f à 140MW



- Analyse spectrale à 140MW.



# Annexes

- Les valeurs numériques globales, 1f et 2f en axiale et vertical à 140MW

Ord1: Ord 1 [1]-HP V (Magnitude)	Ord1: Ord 1 [1]-HP V (Phase)	Ord1: Ord 1 [2]-MP AVT V (Magnitude)	Ord1: Ord 1 [2]-MP AVT V (Phase)	Ord1: Ord 1 [3]-MP ARR V (Magnitude)	Ord1: Ord 1 [3]-MP ARR V (Phase)
0.7011 mm/s	334 °	0.7723 mm/s	91.54 °	1.318 mm/s	272.7 °
Ord1: Ord 1 [4]-BP 1 V (Magnitude)	Ord1: Ord 1 [4]-BP 1 V (Phase)	Ord1: Ord 1 [5]-BP 1 A (Magnitude)	Ord1: Ord 1 [5]-BP 1 A (Phase)	Ord1: Ord 1 [6]-ALT AVT V (Magnitude)	Ord1: Ord 1 [6]-ALT AVT V (Phase)
3.314 mm/s	253.1 °	18.99 mm/s	234.7 °	1.35 mm/s	18.27 °
Ord1: Ord 1 [7]-ALT ARR V (Magnitude)	Ord1: Ord 1 [7]-ALT ARR V (Phase)	Ord1: Ord 1 [8]-BP 2 V (Magnitude)	Ord1: Ord 1 [8]-BP 2 V (Phase)	Ord1: Ord 2 [1]-HP V (Magnitude)	Ord1: Ord 2 [1]-HP V (Phase)
1.845 mm/s	224 °	2.3 mm/s	353.6 °	0.2326 mm/s	338.3 °
Ord1: Ord 2 [2]-MP AVT V (Magnitude)	Ord1: Ord 2 [2]-MP AVT V (Phase)	Ord1: Ord 2 [3]-MP ARR V (Magnitude)	Ord1: Ord 2 [3]-MP ARR V (Phase)	Ord1: Ord 2 [4]-BP 1 V (Magnitude)	Ord1: Ord 2 [4]-BP 1 V (Phase)
0.1494 mm/s	96.6 °	0.3817 mm/s	289.9 °	0.6096 mm/s	274.7 °
Ord1: Ord 2 [5]-BP 1 A (Magnitude)	Ord1: Ord 2 [5]-BP 1 A (Phase)	Ord1: Ord 2 [6]-ALT AVT V (Magnitude)	Ord1: Ord 2 [6]-ALT AVT V (Phase)	Ord1: Ord 2 [7]-ALT ARR V (Magnitude)	Ord1: Ord 2 [7]-ALT ARR V (Phase)
4.617 mm/s	259.2 °	2.31 mm/s	241.3 °	1.656 mm/s	225.3 °
Ord1: Ord 2 [8]-BP 2 V (Magnitude)	Ord1: Ord 2 [8]-BP 2 V (Phase)	Ord1: OvPwr [1]-HP V (Magnitude)	Ord1: OvPwr [1]-HP V (Phase)	Ord1: OvPwr [2]-MP AVT V (Magnitude)	Ord1: OvPwr [2]-MP AVT V (Phase)
0.7505 mm/s	29.33 °	3.045 mm/s	No signal	1.361 mm/s	No signal
Ord1: OvPwr [3]-MP ARR V (Magnitude)	Ord1: OvPwr [3]-MP ARR V (Phase)	Ord1: OvPwr [4]-BP 1 V (Magnitude)	Ord1: OvPwr [4]-BP 1 V (Phase)	Ord1: OvPwr [5]-BP 1 A (Magnitude)	Ord1: OvPwr [5]-BP 1 A (Phase)
1.594 mm/s	No signal	4.011 mm/s	No signal	22.7 mm/s	No signal
Ord1: OvPwr [6]-ALT AVT V (Magnitude)	Ord1: OvPwr [6]-ALT AVT V (Phase)	Ord1: OvPwr [7]-ALT ARR V (Magnitude)	Ord1: OvPwr [7]-ALT ARR V (Phase)	Ord1: OvPwr [8]-BP 2 V (Magnitude)	Ord1: OvPwr [8]-BP 2 V (Phase)
3.762 mm/s	No signal	2.784 mm/s	No signal	2.795 mm/s	No signal

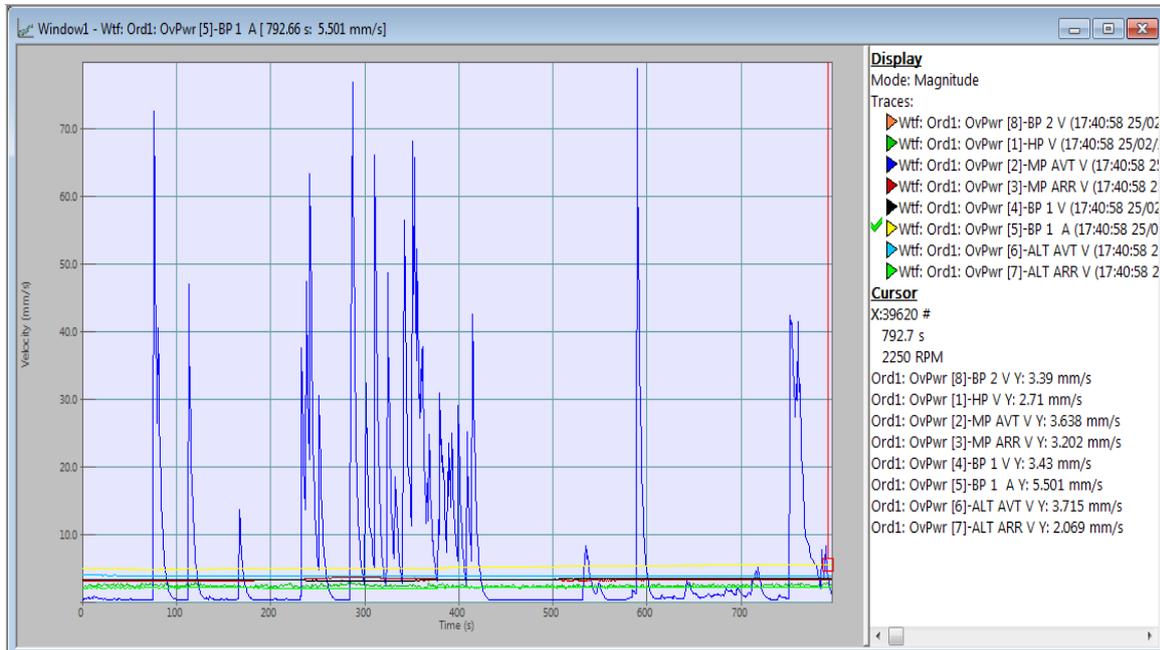
- Démarrage 30/03/2017 avec 14 masses des deux cotés du corps BP en opposé

- Les valeurs numériques globales, 1f et 2f en axiale et vertical a 55MW

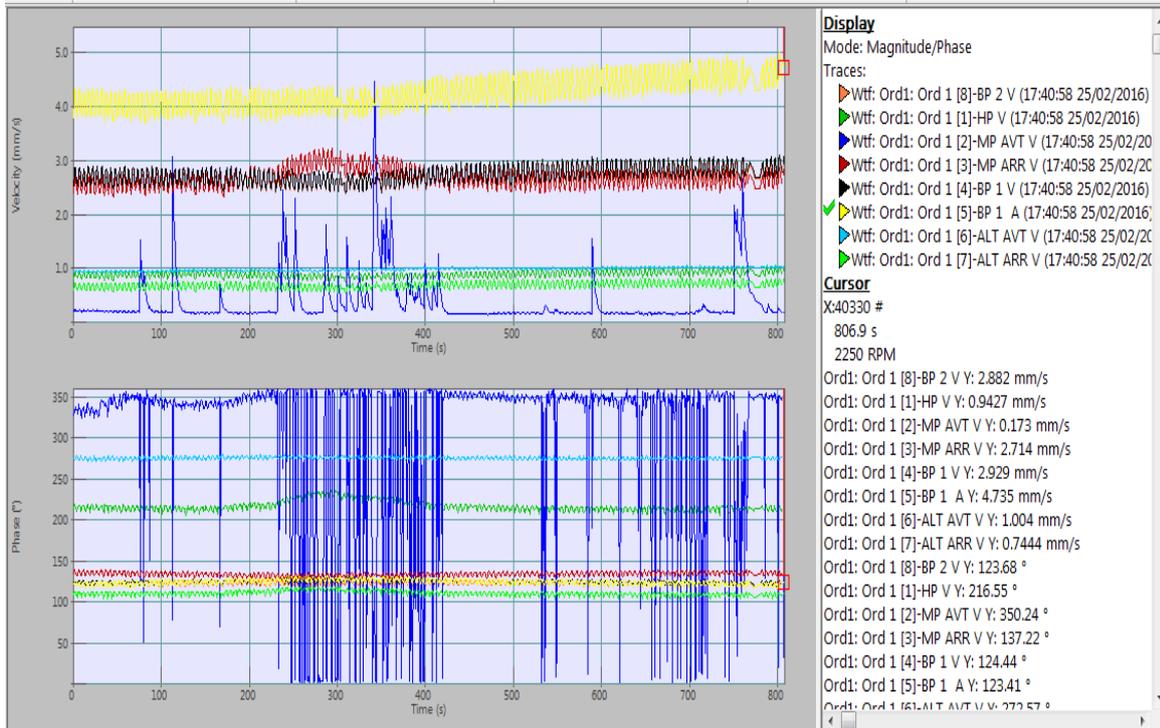
Ord1: Ord 1 [1]-HP V (Magnitude)	Ord1: Ord 1 [1]-HP V (Phase)	Ord1: Ord 1 [2]-MP AVT V (Magnitude)	Ord1: Ord 1 [2]-MP AVT V (Phase)	Ord1: Ord 1 [3]-MP ARR V (Magnitude)	Ord1: Ord 1 [3]-MP ARR V (Phase)
0.8242 mm/s	210.4 °	0.1883 mm/s	328.1 °	2.379 mm/s	133.8 °
Ord1: Ord 1 [4]-BP 1 V (Magnitude)	Ord1: Ord 1 [4]-BP 1 V (Phase)	Ord1: Ord 1 [5]-BP 1 A (Magnitude)	Ord1: Ord 1 [5]-BP 1 A (Phase)	Ord1: Ord 1 [6]-ALT AVT V (Magnitude)	Ord1: Ord 1 [6]-ALT AVT V (Phase)
2.526 mm/s	122.9 °	3.748 mm/s	123.3 °	0.906 mm/s	274.5 °
Ord1: Ord 1 [7]-ALT ARR V (Magnitude)	Ord1: Ord 1 [7]-ALT ARR V (Phase)	Ord1: Ord 1 [8]-BP 2 V (Magnitude)	Ord1: Ord 1 [8]-BP 2 V (Phase)	Ord1: Ord 2 [1]-HP V (Magnitude)	Ord1: Ord 2 [1]-HP V (Phase)
0.5586 mm/s	109.4 °	2.52 mm/s	121.7 °	0.2627 mm/s	211.7 °
Ord1: Ord 2 [2]-MP AVT V (Magnitude)	Ord1: Ord 2 [2]-MP AVT V (Phase)	Ord1: Ord 2 [3]-MP ARR V (Magnitude)	Ord1: Ord 2 [3]-MP ARR V (Phase)	Ord1: Ord 2 [4]-BP 1 V (Magnitude)	Ord1: Ord 2 [4]-BP 1 V (Phase)
0.05866 mm/s	329.2 °	0.7223 mm/s	166.1 °	1.007 mm/s	132.3 °
Ord1: Ord 2 [5]-BP 1 A (Magnitude)	Ord1: Ord 2 [5]-BP 1 A (Phase)	Ord1: Ord 2 [6]-ALT AVT V (Magnitude)	Ord1: Ord 2 [6]-ALT AVT V (Phase)	Ord1: Ord 2 [7]-ALT ARR V (Magnitude)	Ord1: Ord 2 [7]-ALT ARR V (Phase)
1.131 mm/s	113.4 °	2.877 mm/s	290.5 °	1.196 mm/s	258.1 °
Ord1: Ord 2 [8]-BP 2 V (Magnitude)	Ord1: Ord 2 [8]-BP 2 V (Phase)	Ord1: OvPwr [1]-HP V (Magnitude)	Ord1: OvPwr [1]-HP V (Phase)	Ord1: OvPwr [2]-MP AVT V (Magnitude)	Ord1: OvPwr [2]-MP AVT V (Phase)
1.029 mm/s	124.8 °	2.271 mm/s	No signal	0.3006 mm/s	No signal
Ord1: OvPwr [3]-MP ARR V (Magnitude)	Ord1: OvPwr [3]-MP ARR V (Phase)	Ord1: OvPwr [4]-BP 1 V (Magnitude)	Ord1: OvPwr [4]-BP 1 V (Phase)	Ord1: OvPwr [5]-BP 1 A (Magnitude)	Ord1: OvPwr [5]-BP 1 A (Phase)
3.07 mm/s	No signal	3.223 mm/s	No signal	4.792 mm/s	No signal
Ord1: OvPwr [6]-ALT AVT V (Magnitude)	Ord1: OvPwr [6]-ALT AVT V (Phase)	Ord1: OvPwr [7]-ALT ARR V (Magnitude)	Ord1: OvPwr [7]-ALT ARR V (Phase)	Ord1: OvPwr [8]-BP 2 V (Magnitude)	Ord1: OvPwr [8]-BP 2 V (Phase)
4.022 mm/s	No signal	2.052 mm/s	No signal	3.233 mm/s	No signal

# Annexes

- Les valeurs globales, à 80MW



- Le suivi de la fondamentale 1f à 80MW

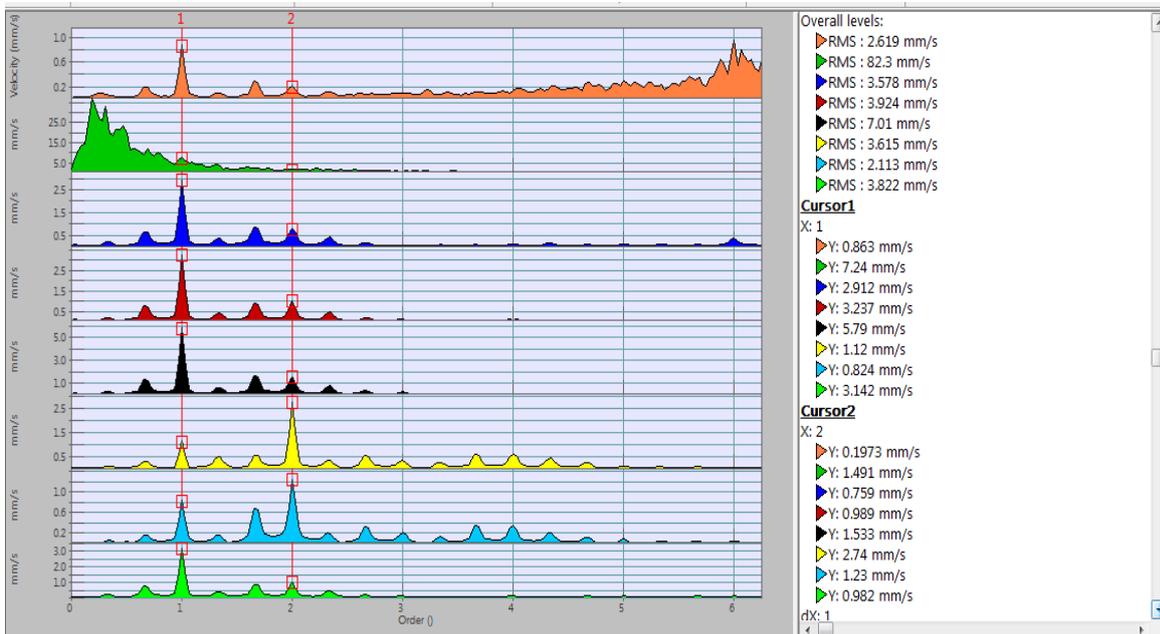


# Annexes

## • Le suivi de la fondamentale 2f à 80MW



## • Analyse spectrale à 80MW

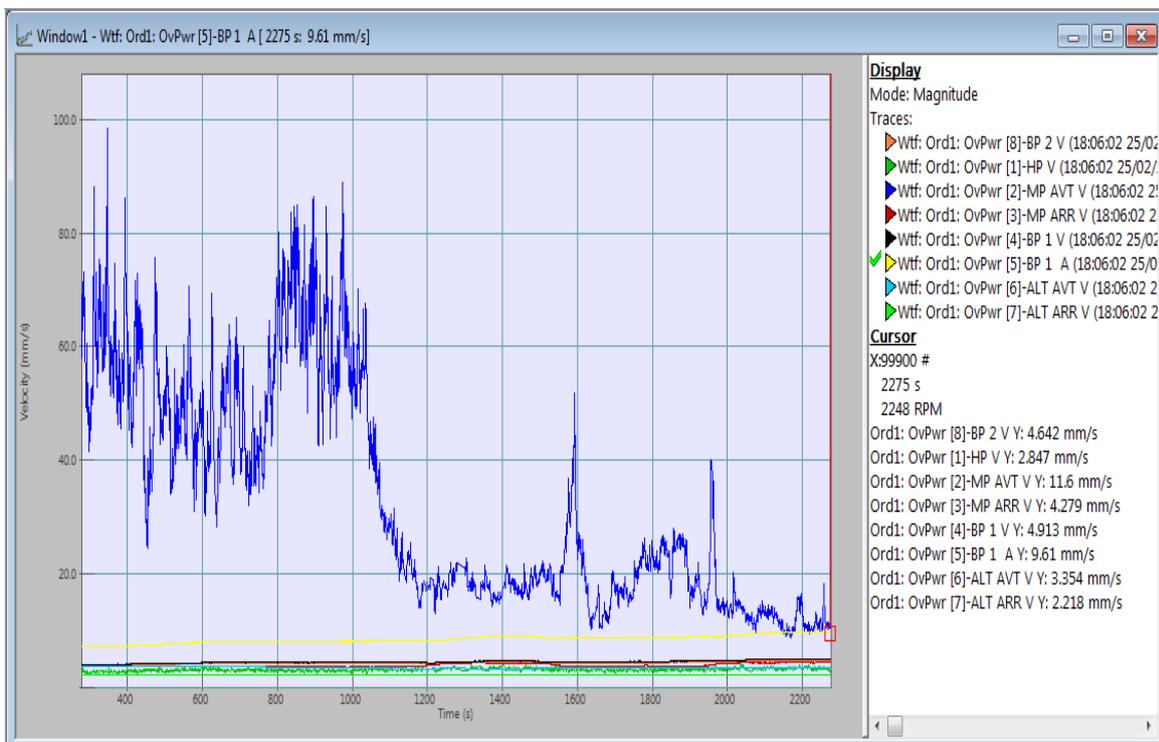


# Annexes

## Les valeurs numériques globales, 1f et 2f en axiale et vertical à 80MW

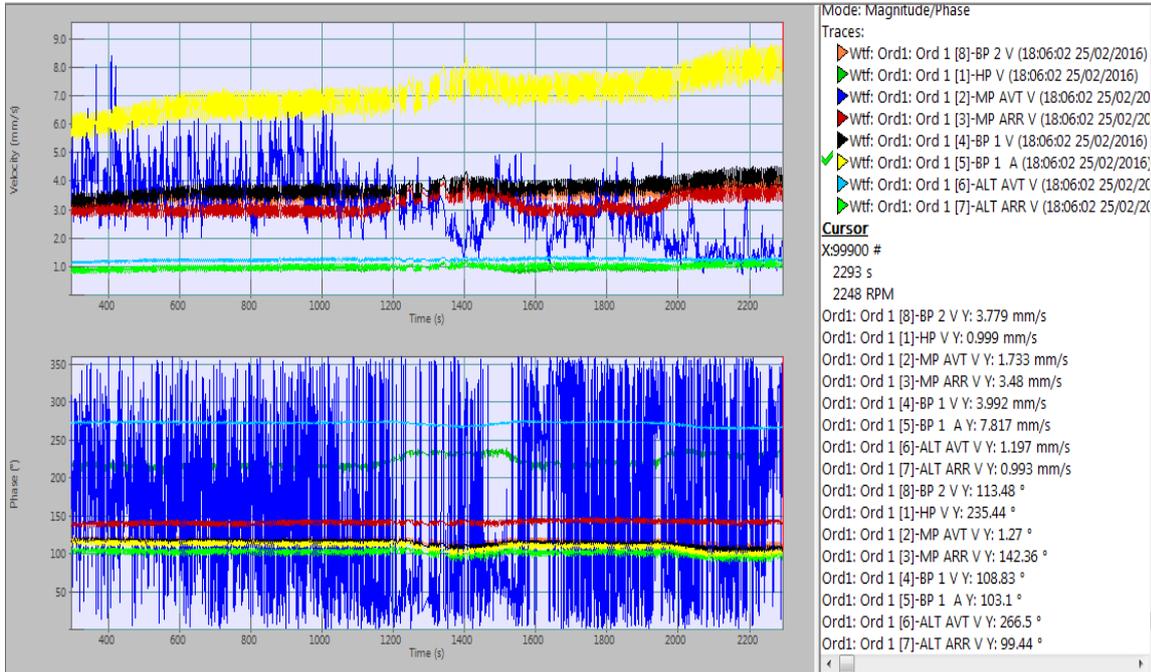
Ord1: Ord 1 [1]-HP V (Magnitude)	Ord1: Ord 1 [1]-HP V (Phase)	Ord1: Ord 1 [2]-MP AVT V (Magnitude)	Ord1: Ord 1 [2]-MP AVT V (Phase)	Ord1: Ord 1 [3]-MP ARR V (Magnitude)	Ord1: Ord 1 [3]-MP ARR V (Phase)
0.8281 mm/s	217.9 °	5.005 mm/s	257.2 °	2.827 mm/s	135.9 °
Ord1: Ord 1 [4]-BP 1 V (Magnitude)	Ord1: Ord 1 [4]-BP 1 V (Phase)	Ord1: Ord 1 [5]-BP 1 A (Magnitude)	Ord1: Ord 1 [5]-BP 1 A (Phase)	Ord1: Ord 1 [6]-ALT AVT V (Magnitude)	Ord1: Ord 1 [6]-ALT AVT V (Phase)
3.051 mm/s	114.8 °	5.454 mm/s	111.9 °	1.105 mm/s	273.4 °
Ord1: Ord 1 [7]-ALT ARR V (Magnitude)	Ord1: Ord 1 [7]-ALT ARR V (Phase)	Ord1: Ord 1 [8]-BP 2 V (Magnitude)	Ord1: Ord 1 [8]-BP 2 V (Phase)	Ord1: Ord 2 [1]-HP V (Magnitude)	Ord1: Ord 2 [1]-HP V (Phase)
0.7498 mm/s	100.1 °	2.968 mm/s	116.2 °	0.2555 mm/s	242 °
Ord1: Ord 2 [2]-MP AVT V (Magnitude)	Ord1: Ord 2 [2]-MP AVT V (Phase)	Ord1: Ord 2 [3]-MP ARR V (Magnitude)	Ord1: Ord 2 [3]-MP ARR V (Phase)	Ord1: Ord 2 [4]-BP 1 V (Magnitude)	Ord1: Ord 2 [4]-BP 1 V (Phase)
0.966 mm/s	246.9 °	0.9238 mm/s	163.7 °	1.126 mm/s	134.7 °
Ord1: Ord 2 [5]-BP 1 A (Magnitude)	Ord1: Ord 2 [5]-BP 1 A (Phase)	Ord1: Ord 2 [6]-ALT AVT V (Magnitude)	Ord1: Ord 2 [6]-ALT AVT V (Phase)	Ord1: Ord 2 [7]-ALT ARR V (Magnitude)	Ord1: Ord 2 [7]-ALT ARR V (Phase)
1.777 mm/s	126.9 °	2.575 mm/s	289 °	1.106 mm/s	252.9 °
Ord1: Ord 2 [8]-BP 2 V (Magnitude)	Ord1: Ord 2 [8]-BP 2 V (Phase)	Ord1: OvPwr [1]-HP V (Magnitude)	Ord1: OvPwr [1]-HP V (Phase)	Ord1: OvPwr [2]-MP AVT V (Magnitude)	Ord1: OvPwr [2]-MP AVT V (Phase)
1.097 mm/s	131.4 °	2.482 mm/s	No signal	71.02 mm/s	No signal
Ord1: OvPwr [3]-MP ARR V (Magnitude)	Ord1: OvPwr [3]-MP ARR V (Phase)	Ord1: OvPwr [4]-BP 1 V (Magnitude)	Ord1: OvPwr [4]-BP 1 V (Phase)	Ord1: OvPwr [5]-BP 1 A (Magnitude)	Ord1: OvPwr [5]-BP 1 A (Phase)
3.641 mm/s	No signal	3.882 mm/s	No signal	6.935 mm/s	No signal
Ord1: OvPwr [6]-ALT AVT V (Magnitude)	Ord1: OvPwr [6]-ALT AVT V (Phase)	Ord1: OvPwr [7]-ALT ARR V (Magnitude)	Ord1: OvPwr [7]-ALT ARR V (Phase)	Ord1: OvPwr [8]-BP 2 V (Magnitude)	Ord1: OvPwr [8]-BP 2 V (Phase)
3.615 mm/s	No signal	2.107 mm/s	No signal	3.789 mm/s	No signal

- Les valeurs globales A 140MW

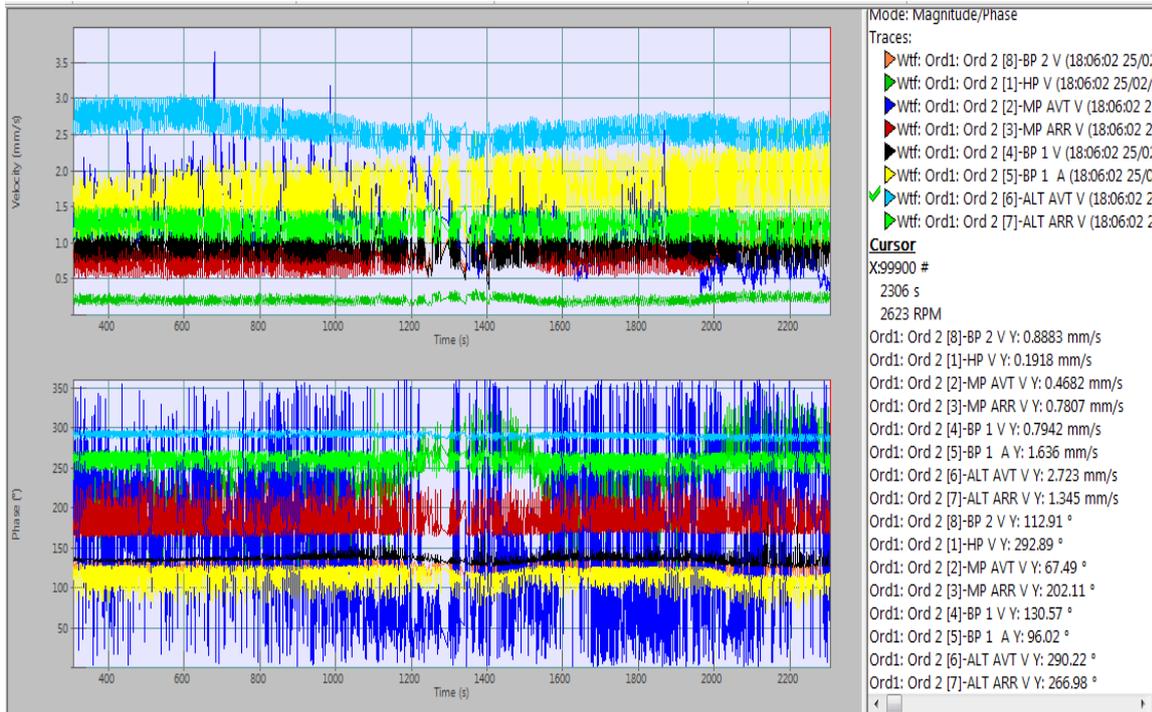


# Annexes

## • Le suivi de la fondamentale 1f A 140MW

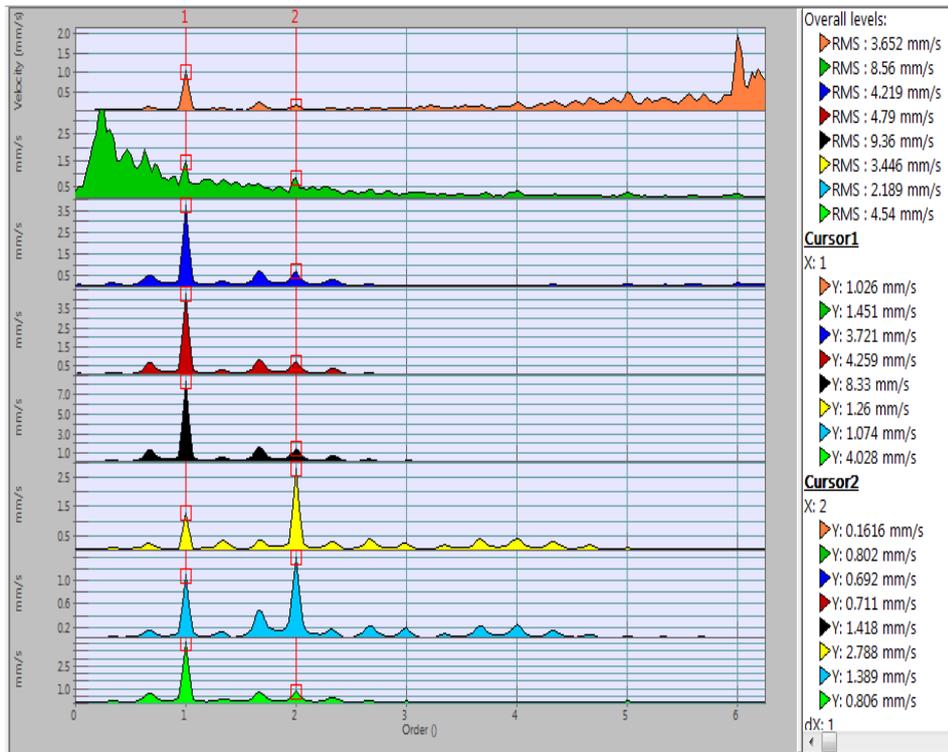


## • Le suivi de la fondamentale 2f A 140MW



# Annexes

- Analyse spectrale à 140MW



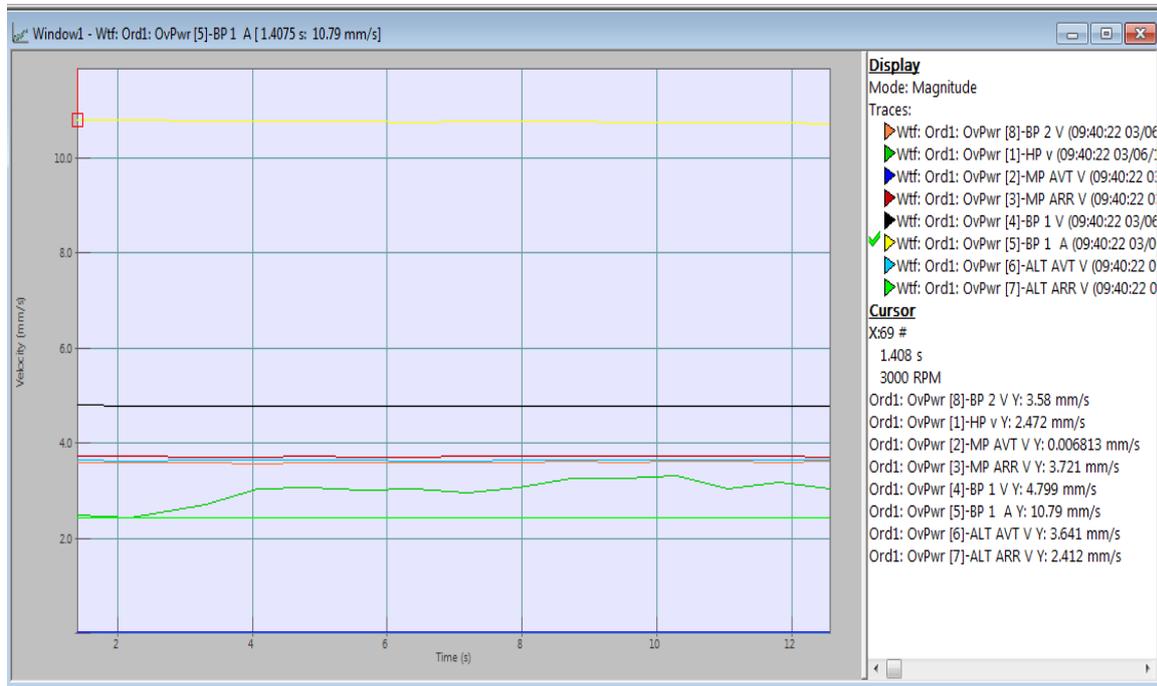
- Les valeurs numériques globales, 1f et 2f en axiale et vertical à 140MW

Window1 - Ord1: OvPwr [8]-BP 2 V					
Ord1: Ord 1 [1]-HP V (Magnitude)	Ord1: Ord 1 [1]-HP V (Phase)	Ord1: Ord 1 [2]-MP AVT V (Magnitude)	Ord1: Ord 1 [2]-MP AVT V (Phase)	Ord1: Ord 1 [3]-MP ARR V (Magnitude)	Ord1: Ord 1 [3]-MP ARR V (Phase)
0.9046 mm/s	226.3 °	1.925 mm/s	47 °	3.36 mm/s	138.7 °
Ord1: Ord 1 [4]-BP 1 V (Magnitude)	Ord1: Ord 1 [4]-BP 1 V (Phase)	Ord1: Ord 1 [5]-BP 1 A (Magnitude)	Ord1: Ord 1 [5]-BP 1 A (Phase)	Ord1: Ord 1 [6]-ALT AVT V (Magnitude)	Ord1: Ord 1 [6]-ALT AVT V (Phase)
3.839 mm/s	105.6 °	7.512 mm/s	101.3 °	1.196 mm/s	269.3 °
Ord1: Ord 1 [7]-ALT ARR V (Magnitude)	Ord1: Ord 1 [7]-ALT ARR V (Phase)	Ord1: Ord 1 [8]-BP 2 V (Magnitude)	Ord1: Ord 1 [8]-BP 2 V (Phase)	Ord1: Ord 2 [1]-HP V (Magnitude)	Ord1: Ord 2 [1]-HP V (Phase)
0.9133 mm/s	95.7 °	3.637 mm/s	109.5 °	0.2641 mm/s	255.2 °
Ord1: Ord 2 [2]-MP AVT V (Magnitude)	Ord1: Ord 2 [2]-MP AVT V (Phase)	Ord1: Ord 2 [3]-MP ARR V (Magnitude)	Ord1: Ord 2 [3]-MP ARR V (Phase)	Ord1: Ord 2 [4]-BP 1 V (Magnitude)	Ord1: Ord 2 [4]-BP 1 V (Phase)
0.6619 mm/s	68.73 °	1.028 mm/s	166.3 °	1.14 mm/s	128.8 °
Ord1: Ord 2 [5]-BP 1 A (Magnitude)	Ord1: Ord 2 [5]-BP 1 A (Phase)	Ord1: Ord 2 [6]-ALT AVT V (Magnitude)	Ord1: Ord 2 [6]-ALT AVT V (Phase)	Ord1: Ord 2 [7]-ALT ARR V (Magnitude)	Ord1: Ord 2 [7]-ALT ARR V (Phase)
2.192 mm/s	120.4 °	2.509 mm/s	283.1 °	1.112 mm/s	242.2 °
Ord1: Ord 2 [8]-BP 2 V (Magnitude)	Ord1: Ord 2 [8]-BP 2 V (Phase)	Ord1: OvPwr [1]-HP V (Magnitude)	Ord1: OvPwr [1]-HP V (Phase)	Ord1: OvPwr [2]-MP AVT V (Magnitude)	Ord1: OvPwr [2]-MP AVT V (Phase)
1.16 mm/s	127.8 °	3.007 mm/s	No signal	7.239 mm/s	No signal
Ord1: OvPwr [3]-MP ARR V (Magnitude)	Ord1: OvPwr [3]-MP ARR V (Phase)	Ord1: OvPwr [4]-BP 1 V (Magnitude)	Ord1: OvPwr [4]-BP 1 V (Phase)	Ord1: OvPwr [5]-BP 1 A (Magnitude)	Ord1: OvPwr [5]-BP 1 A (Phase)
4.214 mm/s	No signal	4.77 mm/s	No signal	9.323 mm/s	No signal
Ord1: OvPwr [6]-ALT AVT V (Magnitude)	Ord1: OvPwr [6]-ALT AVT V (Phase)	Ord1: OvPwr [7]-ALT ARR V (Magnitude)	Ord1: OvPwr [7]-ALT ARR V (Phase)	Ord1: OvPwr [8]-BP 2 V (Magnitude)	Ord1: OvPwr [8]-BP 2 V (Phase)
3.471 mm/s	No signal	2.18 mm/s	No signal	4.526 mm/s	No signal

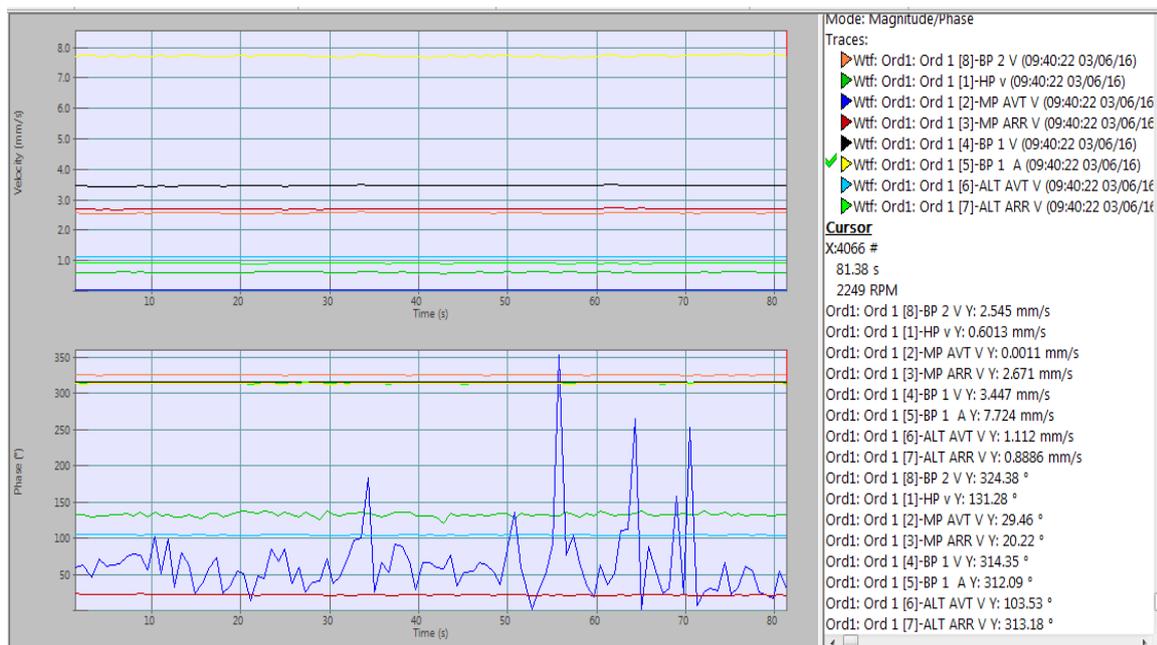
# Annexes

➤ Démarrage 10/04/2017 avec une masse de correction : Ajout 10 masses des deux cotes du corps BP en opposé et 17 masses au palier 01

- Les valeurs globales à 100MW

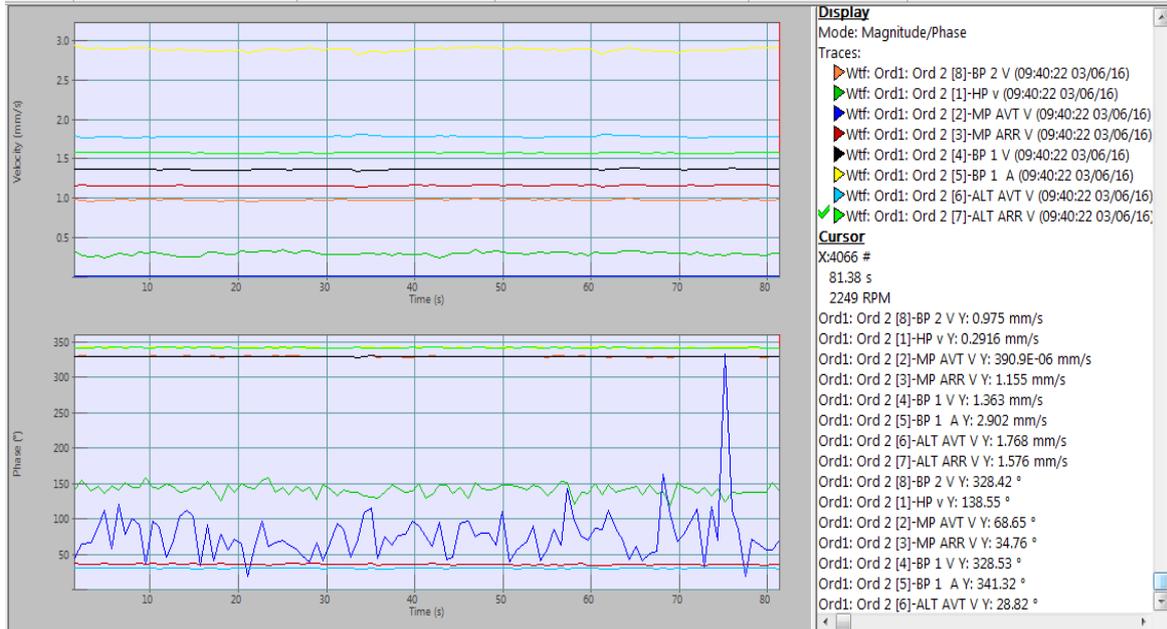


- Le suivi de la fondamentale 1f

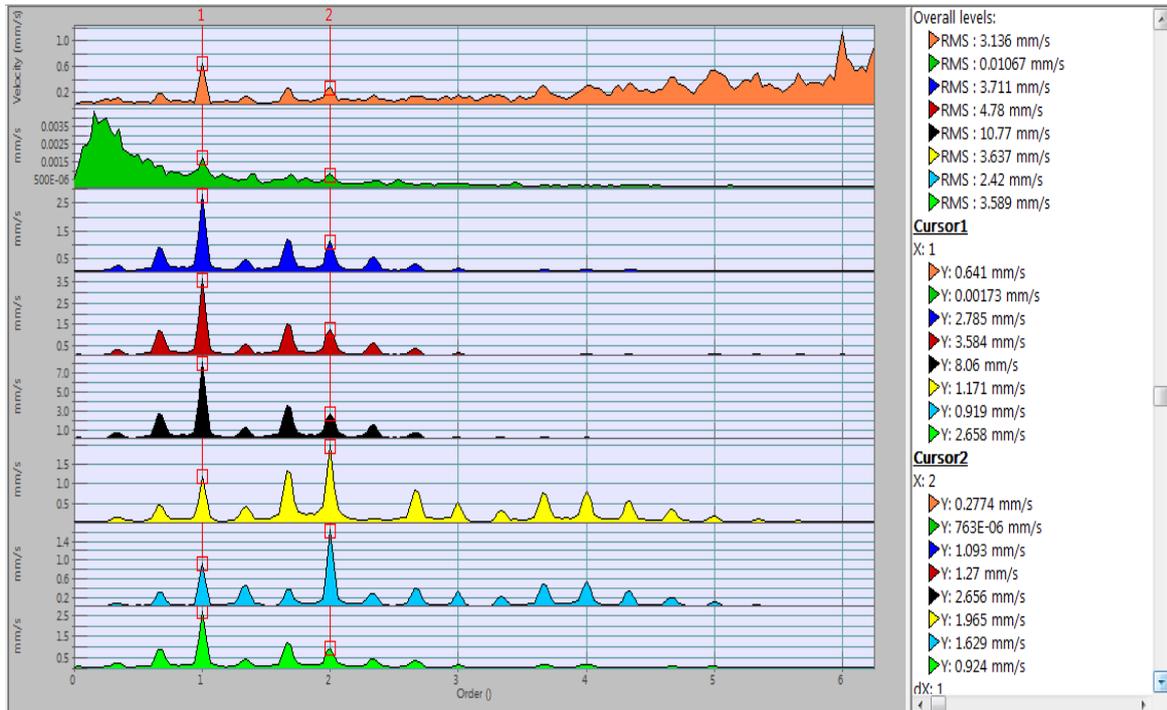


# Annexes

## • Le suivi de la fondamentale 2f

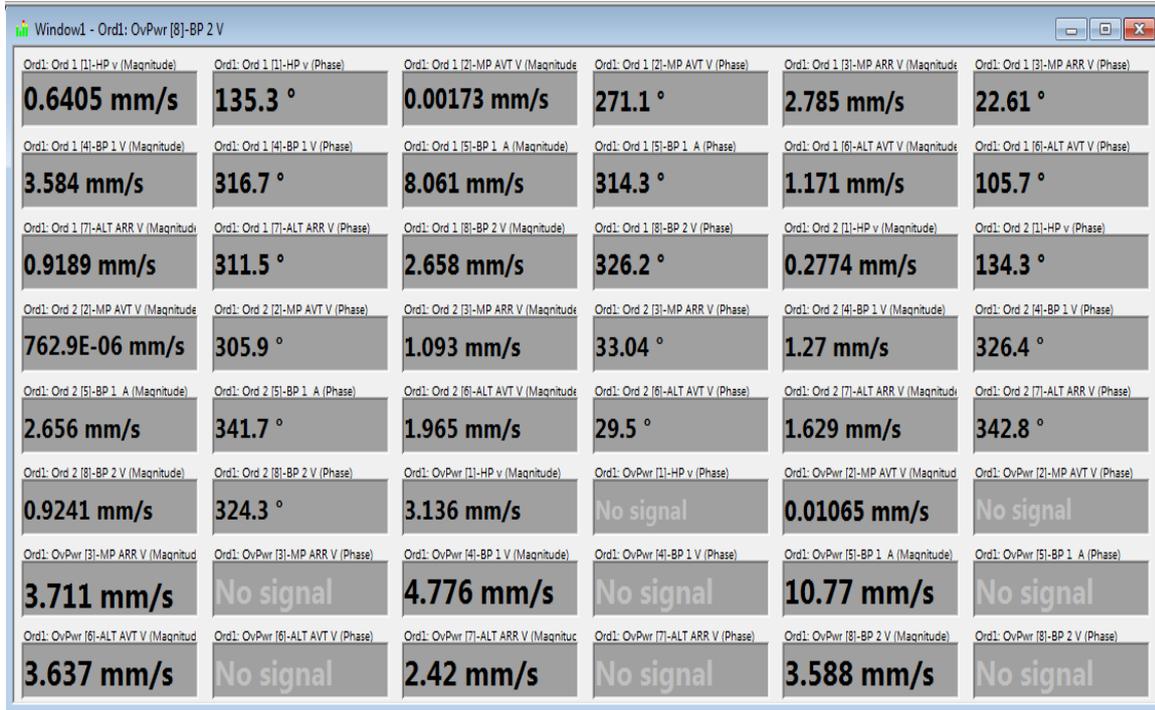


## • Analyse spectrale

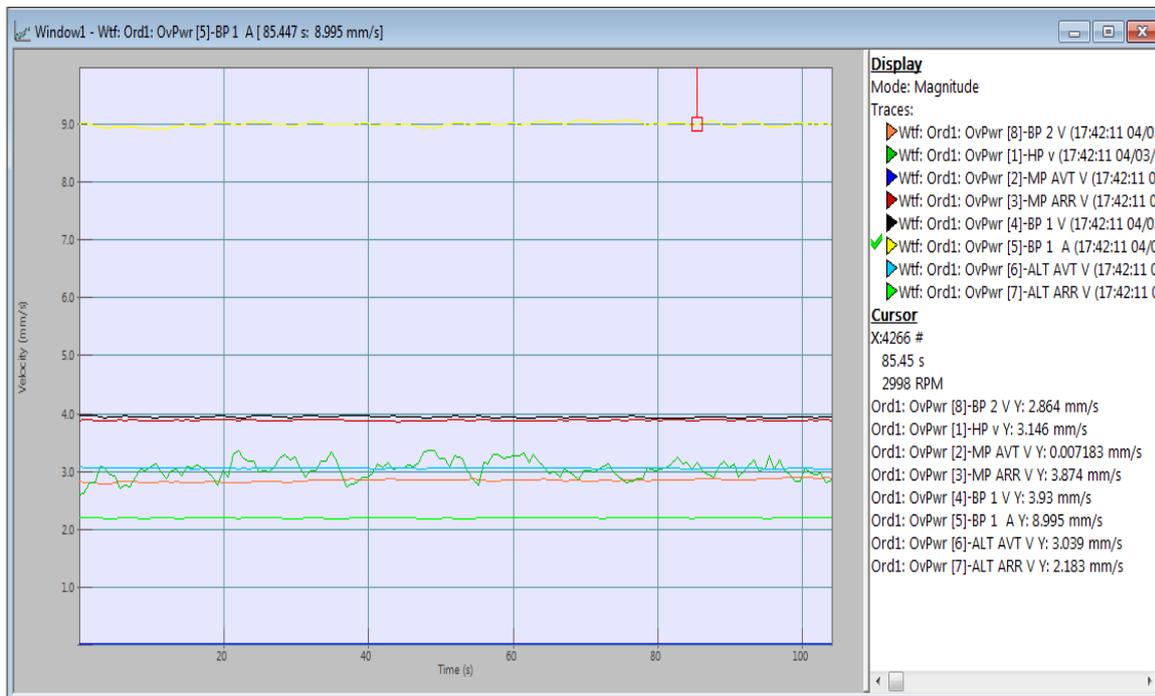


# Annexes

- Les valeurs numériques globales, 1f et 2f en axiale et vertical

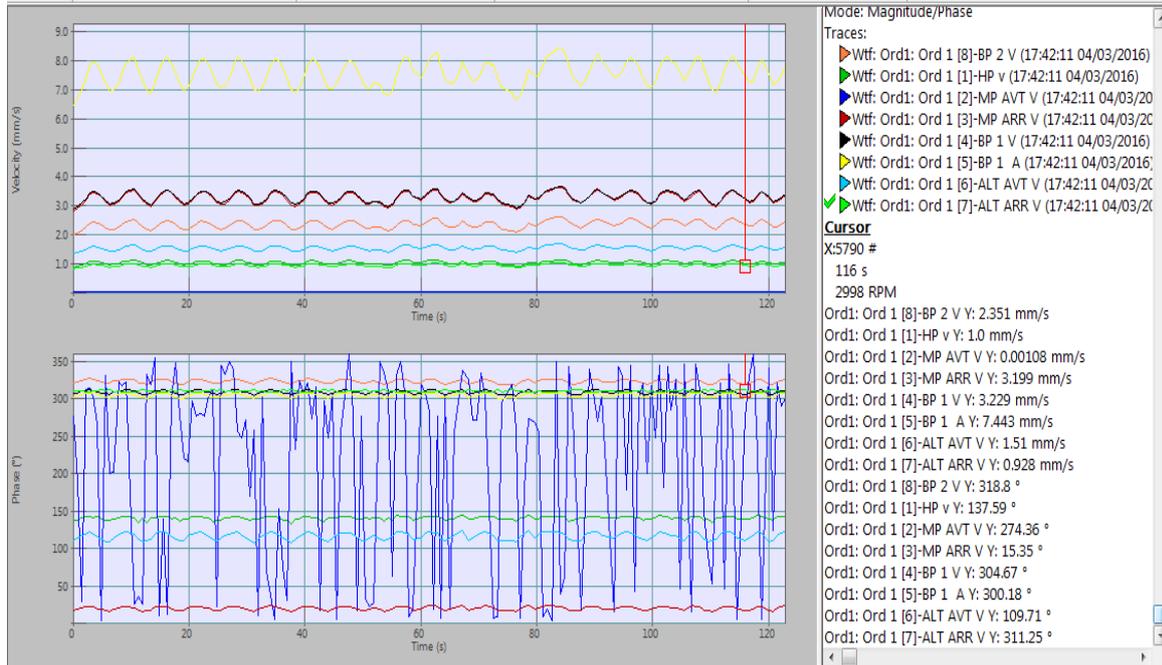


- Les valeurs globales à 130MW

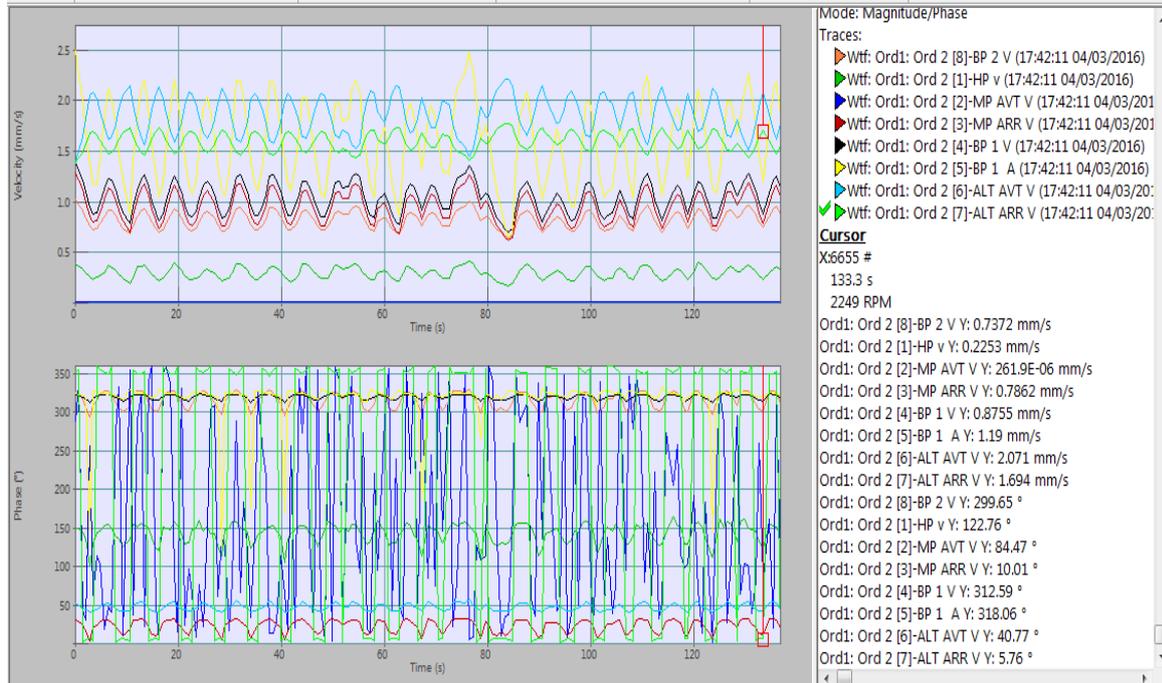


# Annexes

## • Le suivi de la fondamentale 1f a 130MW

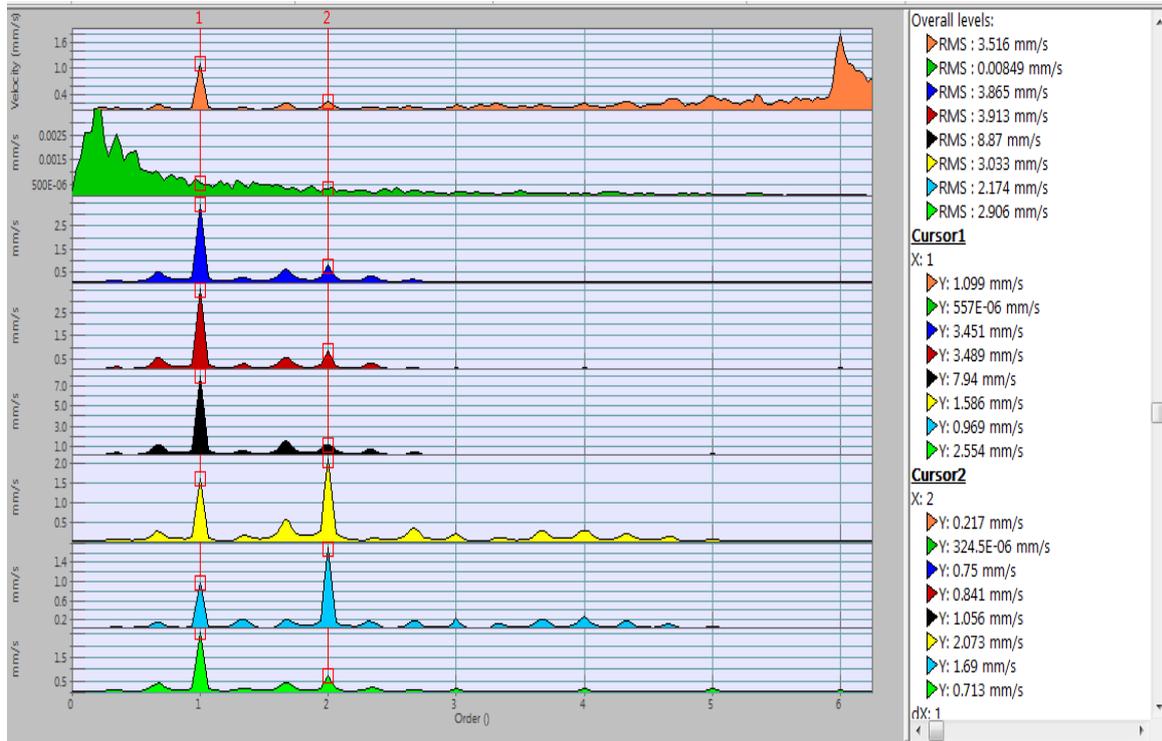


## • Le suivi de la fondamentale 2f à 130MW



# Annexes

- Analyse spectrale à 130MW

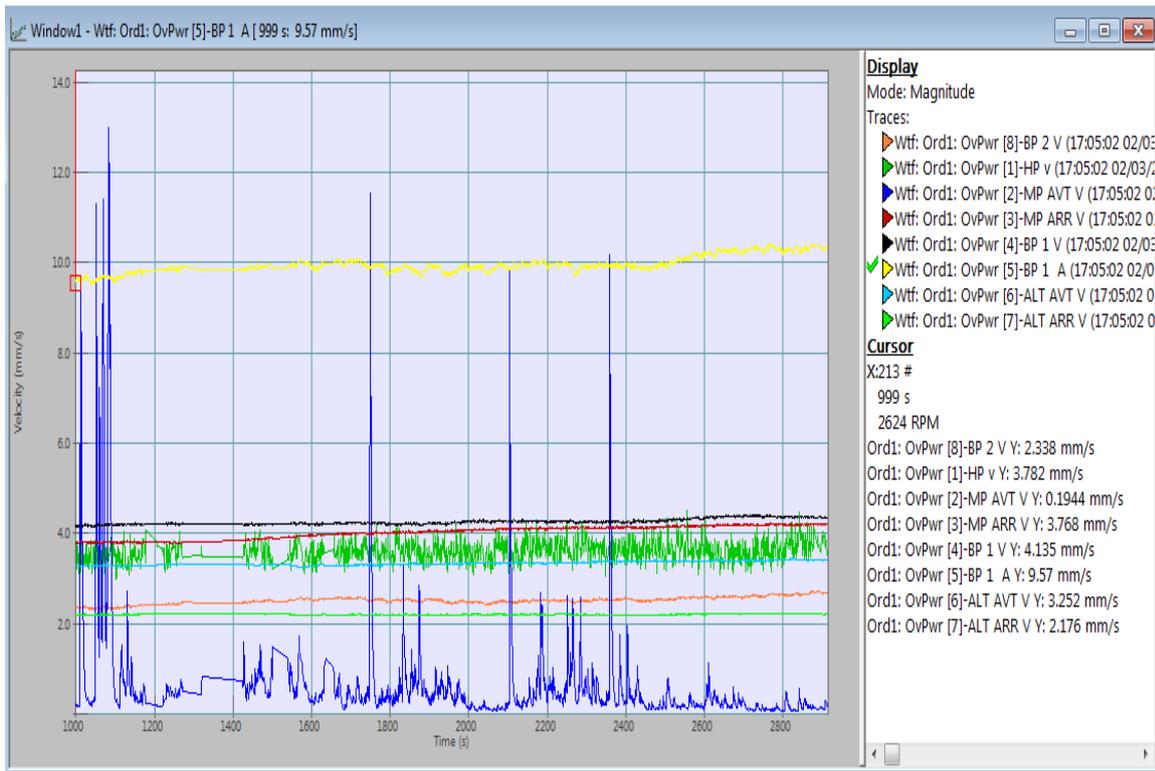


- Les valeurs numériques globales, 1f et 2f en axiale et vertical à 130MW

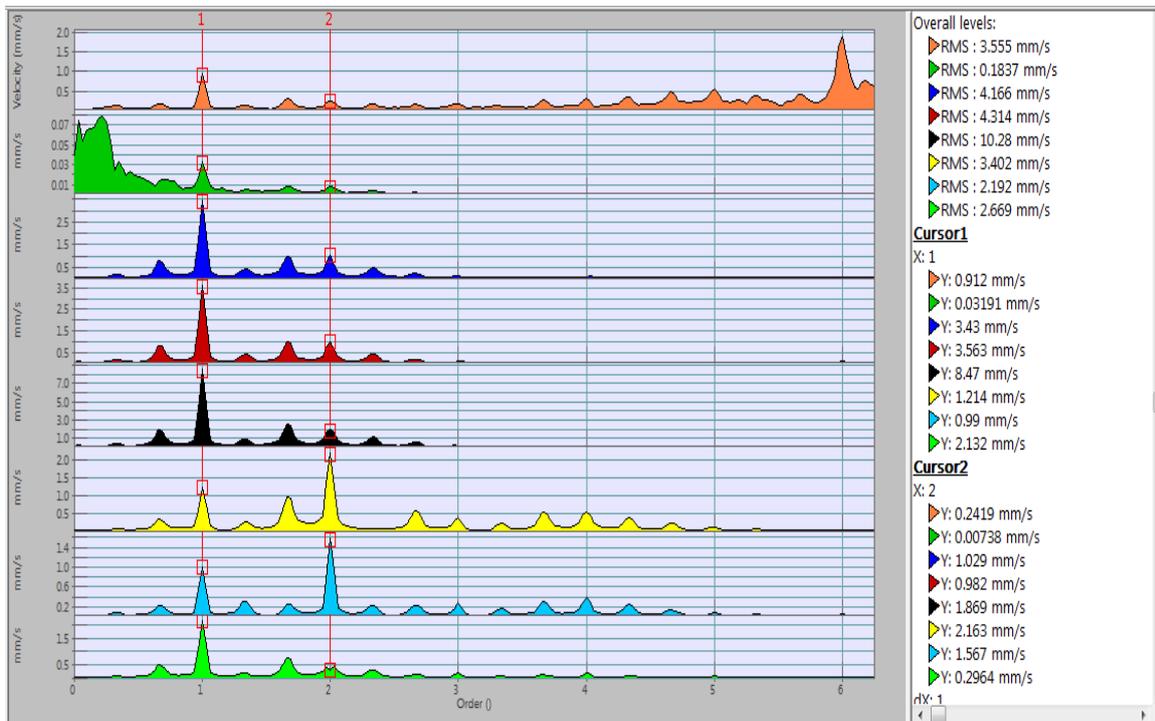
Ord1: Ord 1 [1]-HP v (Magnitude)	Ord1: Ord 1 [1]-HP v (Phase)	Ord1: Ord 1 [2]-MP AVT V (Magnitude)	Ord1: Ord 1 [2]-MP AVT V (Phase)	Ord1: Ord 1 [3]-MP ARR V (Magnitude)	Ord1: Ord 1 [3]-MP ARR V (Phase)
1.108 mm/s	141.2 °	765.4E-06 mm/s	161.2 °	3.466 mm/s	20.26 °
Ord1: Ord 1 [4]-BP 1 V (Magnitude)	Ord1: Ord 1 [4]-BP 1 V (Phase)	Ord1: Ord 1 [5]-BP 1 A (Magnitude)	Ord1: Ord 1 [5]-BP 1 A (Phase)	Ord1: Ord 1 [6]-ALT AVT V (Magnitude)	Ord1: Ord 1 [6]-ALT AVT V (Phase)
3.493 mm/s	309.4 °	8.065 mm/s	305.4 °	1.621 mm/s	119.7 °
Ord1: Ord 1 [7]-ALT ARR V (Magnitude)	Ord1: Ord 1 [7]-ALT ARR V (Phase)	Ord1: Ord 1 [8]-BP 2 V (Magnitude)	Ord1: Ord 1 [8]-BP 2 V (Phase)	Ord1: Ord 2 [1]-HP v (Magnitude)	Ord1: Ord 2 [1]-HP v (Phase)
0.992 mm/s	309.7 °	2.523 mm/s	323.4 °	0.2407 mm/s	135.9 °
Ord1: Ord 2 [2]-MP AVT V (Magnitude)	Ord1: Ord 2 [2]-MP AVT V (Phase)	Ord1: Ord 2 [3]-MP ARR V (Magnitude)	Ord1: Ord 2 [3]-MP ARR V (Phase)	Ord1: Ord 2 [4]-BP 1 V (Magnitude)	Ord1: Ord 2 [4]-BP 1 V (Phase)
326.6E-06 mm/s	56.22 °	0.7566 mm/s	17.68 °	0.8404 mm/s	317.9 °
Ord1: Ord 2 [5]-BP 1 A (Magnitude)	Ord1: Ord 2 [5]-BP 1 A (Phase)	Ord1: Ord 2 [6]-ALT AVT V (Magnitude)	Ord1: Ord 2 [6]-ALT AVT V (Phase)	Ord1: Ord 2 [7]-ALT ARR V (Magnitude)	Ord1: Ord 2 [7]-ALT ARR V (Phase)
1.113 mm/s	328.6 °	2.085 mm/s	41.56 °	1.707 mm/s	3.204 °
Ord1: Ord 2 [8]-BP 2 V (Magnitude)	Ord1: Ord 2 [8]-BP 2 V (Phase)	Ord1: OvPwr [1]-HP v (Magnitude)	Ord1: OvPwr [1]-HP v (Phase)	Ord1: OvPwr [2]-MP AVT V (Magnitude)	Ord1: OvPwr [2]-MP AVT V (Phase)
0.7083 mm/s	307.9 °	3.153 mm/s	No signal	0.007366 mm/s	No signal
Ord1: OvPwr [3]-MP ARR V (Magnitude)	Ord1: OvPwr [3]-MP ARR V (Phase)	Ord1: OvPwr [4]-BP 1 V (Magnitude)	Ord1: OvPwr [4]-BP 1 V (Phase)	Ord1: OvPwr [5]-BP 1 A (Magnitude)	Ord1: OvPwr [5]-BP 1 A (Phase)
3.873 mm/s	No signal	3.912 mm/s	No signal	8.995 mm/s	No signal
Ord1: OvPwr [6]-ALT AVT V (Magnitude)	Ord1: OvPwr [6]-ALT AVT V (Phase)	Ord1: OvPwr [7]-ALT ARR V (Magnitude)	Ord1: OvPwr [7]-ALT ARR V (Phase)	Ord1: OvPwr [8]-BP 2 V (Magnitude)	Ord1: OvPwr [8]-BP 2 V (Phase)
3.064 mm/s	No signal	2.198 mm/s	No signal	2.865 mm/s	No signal

# Annexes

## • Les valeurs globales à 148MW



## • Analyse spectrale à 148MW



# Annexes

- Les valeurs numériques globales, 1f et 2f en axiale et vertical à 148MW

Window1 - Ord1: OvPwr [8]-BP 2 V					
Ord1: Ord 1 [1]-HP v (Magnitude) <b>0.9117 mm/s</b>	Ord1: Ord 1 [1]-HP v (Phase) <b>132.4 °</b>	Ord1: Ord 1 [2]-MP AVT V (Magnitude) <b>0.03191 mm/s</b>	Ord1: Ord 1 [2]-MP AVT V (Phase) <b>23.86 °</b>	Ord1: Ord 1 [3]-MP ARR V (Magnitude) <b>3.43 mm/s</b>	Ord1: Ord 1 [3]-MP ARR V (Phase) <b>20.9 °</b>
Ord1: Ord 1 [4]-BP 1 V (Magnitude) <b>3.563 mm/s</b>	Ord1: Ord 1 [4]-BP 1 V (Phase) <b>308.7 °</b>	Ord1: Ord 1 [5]-BP 1 A (Magnitude) <b>8.475 mm/s</b>	Ord1: Ord 1 [5]-BP 1 A (Phase) <b>301.7 °</b>	Ord1: Ord 1 [6]-ALT AVT V (Magnitude) <b>1.214 mm/s</b>	Ord1: Ord 1 [6]-ALT AVT V (Phase) <b>114.8 °</b>
Ord1: Ord 1 [7]-ALT ARR V (Magnitude) <b>0.99 mm/s</b>	Ord1: Ord 1 [7]-ALT ARR V (Phase) <b>303.6 °</b>	Ord1: Ord 1 [8]-BP 2 V (Magnitude) <b>2.132 mm/s</b>	Ord1: Ord 1 [8]-BP 2 V (Phase) <b>92.31 °</b>	Ord1: Ord 2 [1]-HP v (Magnitude) <b>0.2419 mm/s</b>	Ord1: Ord 2 [1]-HP v (Phase) <b>150.5 °</b>
Ord1: Ord 2 [2]-MP AVT V (Magnitude) <b>0.007385 mm/s</b>	Ord1: Ord 2 [2]-MP AVT V (Phase) <b>54.38 °</b>	Ord1: Ord 2 [3]-MP ARR V (Magnitude) <b>1.029 mm/s</b>	Ord1: Ord 2 [3]-MP ARR V (Phase) <b>23.2 °</b>	Ord1: Ord 2 [4]-BP 1 V (Magnitude) <b>0.982 mm/s</b>	Ord1: Ord 2 [4]-BP 1 V (Phase) <b>314.4 °</b>
Ord1: Ord 2 [5]-BP 1 A (Magnitude) <b>1.869 mm/s</b>	Ord1: Ord 2 [5]-BP 1 A (Phase) <b>322.3 °</b>	Ord1: Ord 2 [6]-ALT AVT V (Magnitude) <b>2.163 mm/s</b>	Ord1: Ord 2 [6]-ALT AVT V (Phase) <b>17.61 °</b>	Ord1: Ord 2 [7]-ALT ARR V (Magnitude) <b>1.567 mm/s</b>	Ord1: Ord 2 [7]-ALT ARR V (Phase) <b>346.9 °</b>
Ord1: Ord 2 [8]-BP 2 V (Magnitude) <b>0.2964 mm/s</b>	Ord1: Ord 2 [8]-BP 2 V (Phase) <b>203.5 °</b>	Ord1: OvPwr [1]-HP v (Magnitude) <b>3.555 mm/s</b>	Ord1: OvPwr [1]-HP v (Phase) <b>No signal</b>	Ord1: OvPwr [2]-MP AVT V (Magnitude) <b>0.1796 mm/s</b>	Ord1: OvPwr [2]-MP AVT V (Phase) <b>No signal</b>
Ord1: OvPwr [3]-MP ARR V (Magnitude) <b>4.166 mm/s</b>	Ord1: OvPwr [3]-MP ARR V (Phase) <b>No signal</b>	Ord1: OvPwr [4]-BP 1 V (Magnitude) <b>4.314 mm/s</b>	Ord1: OvPwr [4]-BP 1 V (Phase) <b>No signal</b>	Ord1: OvPwr [5]-BP 1 A (Magnitude) <b>10.28 mm/s</b>	Ord1: OvPwr [5]-BP 1 A (Phase) <b>No signal</b>
Ord1: OvPwr [6]-ALT AVT V (Magnitude) <b>3.402 mm/s</b>	Ord1: OvPwr [6]-ALT AVT V (Phase) <b>No signal</b>	Ord1: OvPwr [7]-ALT ARR V (Magnitude) <b>2.192 mm/s</b>	Ord1: OvPwr [7]-ALT ARR V (Phase) <b>No signal</b>	Ord1: OvPwr [8]-BP 2 V (Magnitude) <b>2.669 mm/s</b>	Ord1: OvPwr [8]-BP 2 V (Phase) <b>No signal</b>

### Références bibliographiques

- [1] Notion technique sur les centrales thermiques .Fonctionnement de l'Alternateur. Edition 2, septembre 1967
- [2] Notion technique sur les centrales thermiques. L'Alternateur .Edition 2, aout 1968
- [3] KWU Service Formation Professionnelle .Référence de section 5520 (turbine à vapeur).
- [4] KWU Service Formation Professionnelle.Référence de section 5521 (Alternateur).
- [5] RAHMI FAHIM et HAMAD MAKHLOUF , Suivi et analyse vibratoire du groupe turbo-alternateur par le système ON-LINE Mémoire de fin d'étude (2006/2007)
- [6] GHOU L RABAH et KAMAZI KARIM, Surveillance et diagnostic d'un système (moteur-réducteur) par analyse vibratoire dans la cimentré de Sour el Ghozlane Mémoire de fin d'étude (2009/2010)
- [7] Alain Boulenger, Christian panchaud, Surveillance des machines par analyse de vibrations,Préface de Claude Pichot ,2° tirage 1998 (AFNOR).
- [8] Alain Boulenger, Christian Pachaud, Aide-mémoire Surveillance des machines par analyse des vibrations, 2° édition l'usine nouvelle (DUNOD), Paris 2003
- [9] <http://www.usinenouvelle.com/expo/analyseur-de-bruit-et-vibrations-oros-p15501.html>
- [10] fiche technique oros
- [11] <http://www.oros.fr/5740-instruments.htm>
- [12] <http://medias.dunod.com/document/9782100543977/Feuilletage.pdf>
- [13] <http://www.maxicours.com/se/fiche/2/2/129722.html>
- [14] [https://thermodynamique.ninja/chapitre\\_9.pdf](https://thermodynamique.ninja/chapitre_9.pdf)