

**REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE**  
**MINISTRE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA RECHERCHE**  
**SCIENTIFIQUE**

**UNIVERSITE M'HAMED BOUGARA BOUMERDES**



**Faculté de Technologie**  
**Département Génie Mécanique**

## **Mémoire de Master**

En vue de l'obtention du diplôme de MASTER en :

**Filière : électromécanique**

**Spécialité : maintenance industrielle**

### **THEME**

**Suivi du comportement vibratoire du groupe turbo-alternateur**

Présente par :

BENKHRISA Nourreddine

CHENITI Houssam Eddine

Promoteur :

Dr. CHELIL Ahmed

Encadreur:

Mr. CHELIL Sadek

**Promotion 2021-2022**

## Remerciements

قال تعالى: {يَرْفَعُ اللَّهُ الَّذِينَ آمَنُوا مِنْكُمْ وَالَّذِينَ أُوتُوا الْعِلْمَ دَرَجَاتٍ}

A travers ce travail, nous tenons à adresser nos profonds remerciements à notre promoteur Mr. **CHELIL Ahmed** pour sa confiance qu'il nous a accordée, ainsi que pour tout le temps qu'il nous a consacré.

Nous tenons aussi à remercier notre encadrant, Monsieur **CHELIL Sadek**, pour ses précieux conseils et ses orientations tout au long de notre séjour à l'entreprise.

## Dédicaces

Grace à Dieu le tout puissant, nous achevons la réalisation de ce modeste travail que nous tien très chaleureusement à le dédier à :

Nos parents qui nos encouragé et soutenu tout au long de nos études et pour leurs patiences que Dieu les protège et les gardes pour nous.

A nos adorables frères et sœurs.

Et à nos très chères amis et camarades pour tous les moments d'échange et de débat aux personnes qui nous toujours aidé et soutenue

## Table des matières

Introduction générale.....	1
I Généralités sur les centrales électriques :.....	2
I.1 Définition d'une centrale électrique :.....	2
I.2 Présentation de la centrale de cap Djinet :.....	2
I.2.1 Introduction :.....	2
I.2.2 Position de site :.....	2
I.3 Principe de fonctionnement de la centrale :.....	3
I.4 PARAMÈTRES DE FONCTIONNEMENT :.....	5
I.5 Principaux composants et leur arrangement :.....	6
I.5.1 Turbine à Gaz GT.....	7
I.5.2 Générateur de vapeur à récupération de chaleur (HRSG) :.....	8
I.5.3 Turbine à vapeur (ST).....	9
I.6 Système de dérivation de vapeur :.....	10
I.6.1 Pompes d'alimentation du HRSG (LAB10AP001 & LAB20AP001) :.....	11
I.6.2 Condenseur à vapeur du presse-étoupe (GSC).....	11
I.6.3 Pompes d'extraction de condensat (CEP) :.....	11
I.6.4 Condenseur (MAG10AC001) :.....	11
I.6.5 Système d'évacuation d'air du condenseur :.....	12
I.6.6 Système de gaz combustible :.....	12
I.6.7 Les principaux composants du système d'alimentation en gaz combustible sont : 12	
I.6.8 Système de mazout :.....	14
I.6.9 Système d'admission d'eau de mer :.....	15
I.6.10 Pompes à eau de refroidissement :.....	15
I.6.11 Système d'évacuation de l'eau de mer :.....	15
I.6.12 Système d'électro-chloration :.....	15
I.6.13 Système auxiliaire d'eau de refroidissement :.....	15
I.6.14 Système fermé d'eau de refroidissement :.....	15
I.6.15 Chaudière auxiliaire :.....	16
I.6.16 Système d'air comprimé :.....	16
I.6.17 Usine de traitement de l'eau :.....	16
I.6.18 Usine de dessalement de l'eau de mer :.....	16
I.6.19 Usine de déminéralisation :.....	16
I.6.20 Usine de reminéralisations :.....	17

I.6.21	Générateur : .....	17
I.6.22	Ensemble de générateurs diesel de démarrage noir et d'urgence : .....	18
I.6.23	Appareillage isolé par gaz 400KV : .....	18
I.7	Conclusion : .....	18
II.	Maintenance et analyse vibratoire.....	19
II.1	Introduction .....	19
II.2	MAINTENANCE.....	19
II.2.1	Introduction : .....	19
II.2.2	Définition de la maintenance.....	19
II.2.3	Le rôle de la maintenance.....	20
II.2.4	Le rôle de service maintenance : .....	20
II.2.5	Les ratios dans la maintenance .....	21
II.2.6	Les niveaux de la maintenance.....	23
II.2.7	Objectifs de la maintenance : .....	23
II.2.8	Etats et événements relatifs à un bien .....	24
II.2.9	Les types de la maintenance .....	25
II.2.10	Caractéristique des activités de maintenance .....	27
II.3	Vibration.....	27
II.3.1	Définition d'une vibration : .....	28
II.3.2	Les unités.....	28
II.3.3	Différentes formes de vibration : .....	28
II.3.4	Analyse structurelle : .....	30
II.4	Conclusion : .....	31
III.	Les principaux défauts dans les machines tournantes.....	32
III.1	Introduction.....	32
III.2	Reconnaissance des principales anomalies .....	32
III.3	Défauts dans les machines tournantes : .....	33
III.3.1	Déséquilibre - Défaut de balourd [11] : .....	33
III.3.2	Défaut d'alignement - flexion du rotor .....	35
III.3.3	Défaut de paliers lisses [12] .....	36
III.3.4	Défauts spécifiques aux turbines.....	37
III.3.5	Défauts de transmission par courroies .....	39
III.3.6	Défauts des roulements .....	40
III.4	Conclusion .....	40
IV.	PARTIE EXPEREMENTAL .....	41
IV.1	Processus de Suivi par le système OFF LINE [14] : .....	41

IV.1.1	Mise en œuvre de Suivi du groupe turboalternateur par le systèmeOFF LINE [15] :	41
IV.2	But de travail.....	41
IV.3	Matériel utilisé .....	42
IV.3.1	Analyseur MVP-2C :.....	42
IV.4	Manipulation :.....	44
IV.5	Résultats de mesure : .....	45
IV.5.1	Représentation spectrale (fréquentielle) :.....	45
Conclusion general.....		57

## Liste des figures

Figure I.1 présentation du centrale sur site .....	2
Figure.I.2 la central de ras Djanet 2 .....	3
Figur.I.3 une photo en 3D du central a cycle combine .....	3
Figure.I.4 VUE GÉNÉRALE : TURBINE À GAZ - GENERATEUR - TURBINE À VAPEUR.....	7
Figure. I.5 Turbine à gaz .....	8
FigureI.6 Turbine à gaz GT.....	8
Figure.I.7 Turbine à gaz GT.....	8
Figure.I.8 Turbine à VAPEUR ST .....	9
Figure.I.9 Turbine à VAPEUR ST .....	10
Figure II.1 contenu de la fonction maintenance [2] .....	20
Figure II.2les disciplines de maintenance en fonction du temps.....	22
Figure II.3courbe de baignoire .....	22
Figure II.4Schématisation des objectifs de la maintenance .....	23
Figure II.5diagramme de la disponibilité .....	24
Figure II.6Schématisation les modes de la maintenance.....	25
Figure II.7Diagramme des intersections de déférent types de maintenance .....	27
Figure II.8 Vibrations Harmoniques .....	29
Figure II.9 Vibrations périodiques .....	29
Figure II.10 Vibrations apériodiques .....	30
Figure III.1balourd statique.....	33
Figure III.2 balourd de couple.....	34
Figure III.3 Représentation spectrale d'un balour.....	34
Figure III.4 défauts d'alignements .....	35
Figure III.5 Représentation spectrale .....	35
Figure III.6 Défaut de paliers lisses .....	36
Figure III.7Image vibratoire d'un fouettement d'huile .....	37
Figure III.8 Image vibratoire d'un tourbillon d'huile .....	37
Figure III.9Image vibratoire du phénomène de turbulence.....	38
Figure III.10 Défaut et image vibratoire du phénomène de cavitation .....	38
Figure III.11 transmission par courroies .....	39
Figure III.12 L'image vibratoire d'un défaut d'alignement d'une courroie .....	39
Figure III.13Eléments composant un roulement à billes.....	40
Figure IV.1 Accéléromètre AS-065 .....	42
Figure IV.2 Analyseur MVP-2C .....	43
Figure IV.3 Fiche technique de OneProd XPR-300.....	44
Figure IV.4 Les points de mesures.....	45
Figure IV.5 Les trois positions de mesures.....	45
Figure IV.6 Spectre de palier 1 Direction axiale.....	46
Figure IV.7Spectre de palier1 Direction horizontale .....	46
Figure IV.8 Spectre de palier1 Direction verticale. ....	47
Figure IV.9Spectre de palier 2 Direction axiale.....	47
Figure IV.10 Spectre de palier2 Direction horizontale .....	48
Figure IV.11 Spectre de palier2 Direction verticale. ....	48
Figure IV.12 Spectre de palier 3 Direction axiale.....	49

Figure IV.13 Spectre de palier 3 Direction horizontale .....	49
Figure IV.14 Spectre de palier 3 Direction verticale. ....	50
Figure IV.15 Spectre de palier 4 Direction axiale.....	50
Figure IV.16 Spectre de palier 4 Direction horizontale .....	51
Figure IV.17 Spectre de palier 4 Direction verticale. ....	51
Figure IV.18 Spectre de palier 5 Direction axiale.....	52
Figure IV.19 Spectre de palier 5 Direction horizontale .....	52
Figure IV.20 Spectre de palier 5 Direction verticale. ....	53
Figure IV.21 Spectre de palier 6 Direction axiale.....	53
Figure IV.22 Spectre de palier 6 Direction horizontale .....	54
Figure IV.23 Spectre de palier 7 Direction axiale.....	54
Figure IV.24 Spectre de palier 7 Direction horizontale .....	55
Figure IV.25 Spectre de palier 7 Direction verticale. ....	55

## Liste des tableaux

Tableau I-1 tableau des paramètres de fonctionnement .....	5
Tableau I-2 tableau des paramètres de fonctionnement de turbine à gaz .....	5
Tableau I-3 tableau des paramètres de fonctionnement de turbine à vapeur .....	6
Tableau I-4 tableau des paramètres de fonctionnement d'économiseur et de condenseur .....	6
Tableau II-1 les niveaux de maintenance .....	23
Tableau III-1 Reconnaissance des Défauts .....	32
Tableau III-2 les causes et conséquences des Défauts des roulements.....	40

## Liste des équations

$X(t) = X \sin(\omega t + \varphi)$ Équation 1 .....	29
$X(t) = 1n[sn\omega t + \varphi]$ Équation 2 .....	29
$X(t) = 1\infty[sn\omega t + \varphi]$ Équation 3 .....	30
$\omega = 2\pi f_0$ Équation 4 .....	45
$f_0 = \omega / 2\pi$ Équation 5 .....	45

## Résumé

La surveillance vibratoire des machines tournantes dans l'industrie joue un rôle très important pour prolongée la durée de vie des équipements, en fonction de sa nous avons déterminé les méthodes 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 d'arbre de turboalternateur de Cap Djinet, pour donner une aidée générale sur l'intérêt d'utilisation des ces méthodes pour l'analyse des problèmes vibratoire.

Mots clés : analyse vibratoire, surveillance, analyse physique, spectroscopie

## ملخص

تلعب مراقبة الاهتزاز للآلات الدوارة في الصناعة دورًا مهمًا للغاية في إطالة عمر خدمة المعدات ، وفقًا لذلك ، فقد حددنا طرقًا لتوسيع مجال دراسة العيوب ، مع دمج التحليل النموذجي والتوافقي والعاير لآلات مختلفة ودراسة سلوكها التشغيلي الحقيقي وفقًا لعيوب الاهتزاز. قمنا بتنفيذ تطبيق على مضخة مياه البحر "كاب جنات" ، لتقديم مساعدة عامة حول فائدة استخدام هذه الطرق لتحليل مشكلات الاهتزاز.

كلمات مفتاحية : تحليل الاهتزاز ، مراقبة ، تحليل مادي ، مطيافية

## Abstract

The vibratory monitoring of rotating machines in industry plays a very important role in prolonging the service life of equipment, according to its we have determined the methods to widen the field of study of defects, while integrating modal analysis, harmonic and transient of the deferent machines and study their real operating behaviour as a function of vibratory faults. We carried out an application on the turboalternator Cap Djinet, to give general help on the interest of using these methods for the analysis of vibratory problems.

Key Words : vibration analysis, monitoring, physical analysis, spectroscopy

## **Introduction générale**

---

### **Introduction générale**

L'industrie en Algérie nécessite une énergie électrique croissante. Cela demande la réalisation de plusieurs centrales à savoir : nucléaire, hydraulique et thermique. Les centrales thermiques sont des sources importantes d'énergie électrique, qui fonctionnent avec des machines tournantes, de plus en plus performantes et complexes comme le groupe turboalternateur.

Ces types de machines composées d'organes fragiles soumis à des contraintes mécaniques importantes et à des environnements industriels difficiles ce qui implique des défaillances et des dégradations au fonctionnement de la machine. Lorsque la machine joue un rôle vital dans la production, ces défauts peuvent s'avérer lourds de conséquences.

Pour éviter des arrêts de production imprévus et les pertes économiques qui en découlent et pour détecter les défauts qui réduisent le fonctionnement dans le but d'assurer à l'équipement des performances de haute qualité, les entreprises doivent choisir avec précaution la politique de maintenance convenable pour le suivi de leurs équipements, on sous entend par cette politique : « la maintenance conditionnelle » qui est considérée comme la maintenance la plus adéquate pour le bon fonctionnement et l'exploitation optimale en quantité et en qualité et au moindre coût.

Ce type de maintenance préventive utilise plusieurs outils tels que la surveillance qui nous donne un diagnostic des conditions de fonctionnement, une surveillance efficace des machines.

Un contrôle continu des machines nécessite une analyse en temps réel ou online pour la détection de défauts et un choix optimal des meilleurs paramètres de mesure dans le but d'obtenir une grande sensibilité et sélectivité dans l'identification des défauts

Les centrales thermiques de production d'électricité telle que la centrale de Ras-Djinet contiennent des machines vitales (turbines, alternateurs etc....) qui fonctionnent 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 la surveillance d'un groupe turboalternateur et les méthodes de surveillance appliquées au niveau de la centrale thermique de Cap Djinet pour détecter les défauts et l'étude des phénomènes vibratoires du groupe turboalternateur

L'analyse vibratoire est la plus connue et la plus largement employée. Il faut dire qu'elle permet à elle seule de détecter pratiquement tous les défauts susceptibles d'apparaître dans les machines tournantes. Un balourd, un jeu, un défaut d'alignement.....

Le groupe turboalternateur entre en résonance avec la structure qui le porte ce qui produit des vibrations qui vont détériorer la structure, L'analyse des modes permet d'établir un modèle de comportement vibratoire de la structure en basse fréquence (de quelques Hz jusqu'à quelques centaines de Hz).

## I Généralités sur les centrales électriques :

### I.1 Définition d'une centrale électrique :

On peut définir une centrale électrique comme un site industriel destiné à la production de l'électricité en grande quantité. Les centrales électriques alimentent en électricité, au moyen du réseau électrique, les consommateurs, particuliers ou industriels éloignés de la centrale.

La production d'électricité y est assurée par la conversion en énergie électrique d'une énergie primaire qui peut être soit mécanique (force du vent, force de l'eau des rivières, des marées...), soit chimique (réactions d'oxydoréduction avec des combustibles, fossiles ou non, tels que la biomasse), soit nucléaire, soit solaire. Ces énergies primaires peuvent être renouvelables.

### I.2 Présentation de la centrale de cap Djinet :

#### I.2.1 Introduction :

L'objet de cette réunion est de présenter la centrale à cycle combiné RAS-DJINET DE de 1131,1 MW.

La centrale électrique RAS DJINET est principalement composée de trois (3) modules de centrale à cycle combiné (CCPP) à arbre unique et d'un système supportant l'équilibre des centrales électriques (BOP). Chaque module CCPP possède une (1) turbine à gaz (modèle : SIEMENS SGT5-4000F), un (1) HRSG associé, une (1) turbine à vapeur (modèle : SIEMENS SST5-3000 H-IL) et un A universel hydrogène- La génératrice refroidie (modèle : SIEMENS SGEN 5-2000 H) est située sur le même arbre entre la turbine à gaz (GT) et la turbine à vapeur (ST).

Les turbines à gaz sont conçues pour brûler du gaz naturel comme carburant de base et du diesel comme carburant de secours.

#### I.2.2 Position de site :

La centrale implantée sur une surface de 35 hectares spécialement sélectionnée sur le littoral de Cab Djanet (25 km à l'est de Boumerdes) pour ça conformité avec les critères nécessités par ce genre d'installation, dont la proximité avec les RN 24 et 12, ainsi que la voie ferrée.



Figure I.1présentation de la centrale sur site



*Figure.I.2le central de ras Djanet 2*



*Figure.I.3 une photo en 3D du central a cycle combine*

### **I.3 Principe de fonctionnement de la centrale :**

Le compresseur des turbines à gaz aspire l'air ambiant à travers un filtre à air d'admission, le comprime et l'alimente au système de combustion. Le gaz combustible est introduit dans le système de combustion et est brûlé avec de l'air comprimé. Le gaz de combustion comprimé chaud qui en résulte s'écoule dans la turbine. Le gaz se dilate et entraîne la turbine à gaz. La puissance mécanique générée dans la turbine entraîne l'alternateur et le compresseur. La sortie du générateur est connectée par un transformateur élévateur de générateur et des barres omnibus au réseau.

Le gaz combustible est chauffé dans un réchauffeur de bain-marie au moyen d'un contrôleur de température local pour maintenir au-dessus de la température du point de rosée. Le gaz combustible est finalement préchauffé par le réchauffeur d'efficacité GT par l'alimentation en eau fournie par l'économiseur HRSG IP. L'eau d'alimentation quittant le préchauffeur de gaz

combustible est mélangée avec le flux de condensat avant d'entrer dans le préchauffeur de condensat.

Le gaz de combustion qui sort de la turbine à gaz est à haute température et transporte beaucoup d'énergie thermique. Cette énergie thermique d'échappement GT est utilisée pour produire de la vapeur dans un HRSG horizontal à triple pression.

La vapeur générée est alimentée à différentes étapes de la turbine à vapeur (HP / IP / LP).

La vapeur d'échappement de turbine LP, la vapeur d'étanchéité, les drains de turbine et / ou la vapeur de dérivation HP/LP sont condensés dans un condenseur à surface de vapeur. L'eau d'appoint DM est également apportée dans la cheminée du condenseur. Le condensat de la cheminée est évacué par des pompes d'extraction de condensat vers le système de préchauffage des condensats (économiseur LP) et vers plusieurs consommables STG via les échangeurs et refroidisseurs de l'éjecteur d'air à vapeur (SJAÉ) et du condensateur de vapeur du presse-étoupes (GSC). Le dégazeur est intégré au ballon de vapeur à basse pression (LP).

Les pompes d'alimentation HRSG doivent aspirer depuis le ballon de vapeur LP et fournir l'eau d'alimentation au circuit haute pression (HP) et, par une purge intermédiaire, au circuit de pression intermédiaire (IP).

La vapeur du tambour à vapeur HP circule à travers la surchauffeur et va vers la turbine à vapeur HP (ST). La vapeur prélevée de la décharge HP ST retourne au HRSG, où elle est mélangée avec la vapeur surchauffée IP ; puis, en passant par le réchauffeur (RH), retournera à l'IP ST.

Enfin, la vapeur prélevée de la décharge IP ST va directement à LP ST ; La vapeur de LP SH provenant du HRSG est admise dans la décharge IP ST ou dans la transition. La vapeur déchargée de LP ST est envoyée au condenseur de surface de vapeur.

L'eau de mer est amenée à l'intérieur de l'usine à travers quatre (4) tuyaux d'admission de diamètre 2 300mm. Le tuyau d'admission est relié à un puisard d'admission d'eau de mer commun.

Il y a sept (7) numéros de chambres de pompe. Six (6) nos. Des chambres de pompe sont utilisées pour six (6) nos. Des pompes à eau en circulation et la septième chambre est utilisée pour installer deux (2) nos. Des pompes d'alimentation de l'usine de dessalement.

La pompe à eau de circulation permettrait de pomper l'eau de mer vers le condenseur. Après avoir extrait la chaleur du condenseur, trois (3) collecteurs indépendants sont amenés du condenseur de chaque unité et connectés à un bassin de siphon unitaire. Depuis le bassin du siphon, l'eau est envoyée à la mer par un canal unitaire.

Les pompes d'alimentation de l'usine de dessalement transfèrent l'eau brute à l'usine de dessalement. L'eau dessalée doit être stockée dans des réservoirs de stockage d'eau dessalée et doit être transférée vers divers consommateurs (eau potable, eau de service, alimentation d'usine DM, etc.) par l'intermédiaire de systèmes de pompage respectifs.

L'usine de déminéralisation produit l'eau déminéralisée à partir de l'eau dessalée en utilisant des échangeurs d'ions à lit mélangé qui seront ensuite stockés dans des réservoirs de stockage d'eau DM et transférés vers divers consommateurs par des pompes de transfert DM.

Le gaz naturel est reçu des conduites de gaz ....

Le système d'alimentation et de conditionnement de gaz combustible (gaz naturel) fournit du gaz naturel à un certain niveau de propreté, de pression et de température pour répondre aux critères de fonctionnement et de conception du principal utilisateur de gaz naturel (Turbine à gaz / GT). Ce processus est nécessaire pour s'assurer que les aérosols, la condensation d'eau

libre et les particules solides ne seront pas présents dans les systèmes de transmission ou de distribution de gaz aux principaux utilisateurs.

Le combustible est reçu du camion-citerne par des pompes de déchargement de combustible et stocké dans le réservoir puis livré à chaque turbine à gaz au moyen de pompes d'acheminement de combustible.

**I.4 PARAMÈTRES DE FONCTIONNEMENT :**

*Tableau I-1 tableau des paramètres de fonctionnement*

<b>Reference</b>	<b>Conditions</b>
Température ambiante	35 0C
Humidité relative	76%
Pression barométrique	1.01
La fréquence	50 Hz
Gaz Carburant – LHV	43100.0 KJ/Kg
Carburant liquide - LHV	43100.0 KJ/Kg
Facteur de puissance du générateur	Lagging 0.9
Compenser de Cycle	0%
Eau de chaudière périodiquement purgée (HRSG Blow Down)	0%

Les différents paramètres de fonctionnement aux conditions de référence et à 100% de charge sont les suivants :

*Tableau I-2 tableau des paramètres de fonctionnement de turbinà gaz*

<b>Description</b>	<b>Unité</b>	<b>Gaz naturel</b>	<b>Carburant liquide</b>
Puissance nette de chaque bloc	MW	377	311.3
Taux de chaleur net	KJ/KWh	6165	6599
Puissance de sortie GT	MW	249.2	210.5
Puissance de sortie ST	MW	127.8	100.8
Consommation de carburant	Kg/s	14.3	13.24
Température des gaz d'échappement	0C	607.6	557.4

Débit de gaz à la sortie GT	Kg/s	616.2	610.9
Pression de sortie du super-chauffeur HP	Bar (a)	120.81	101.81
Température de sortie du surchauffeur HP	0C	566.50	530.10
Pression d'entrée de turbine à vapeur HP	Bar (a)	117.92	99.39

*Tableau I-3tableau des paramètres de fonctionnement de turbine à vapeur*

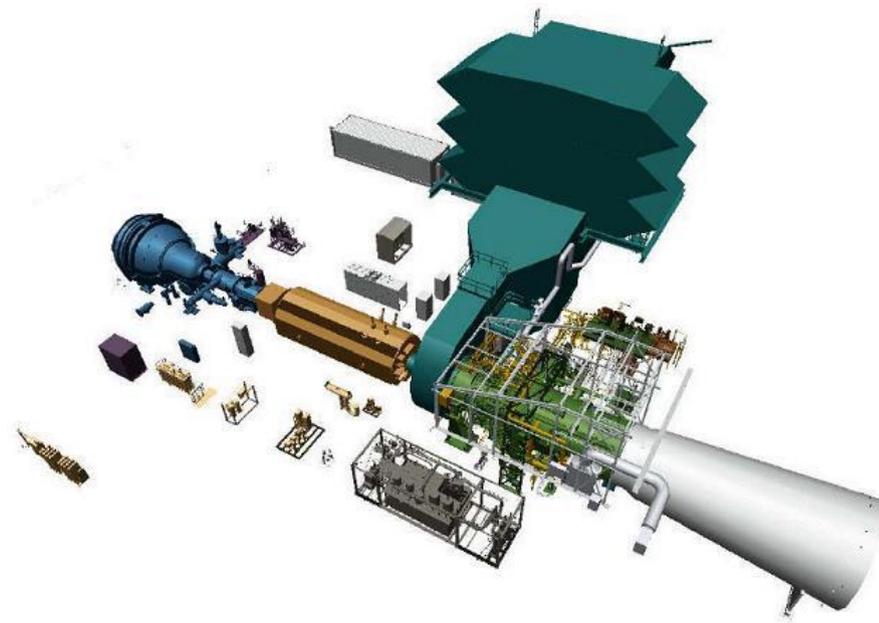
Description	Unité	Gaz naturel	Carburant liquide
HP Steam Flow	Kg/s	71.99	61.66
Pression de sortie du réchauffeur	Bar (a)	29.91	25.91
Température de sortie du réchauffeur	0C	565.70	526.20
Pression d'entrée de turbine à vapeur IP	Bar (a)	29.10	25.20
Température d'entrée de vapeur de la turbine IP	0C	564.94	524.99
IP Steam Flow	Kg/s	71.99	76.02
Pression de sortie du surchauffeur IP	Bar (a)	31.31	27.11
Température de sortie du surchauffeur IP	0C	337.50	324.30
Pression de sortie du surchauffeur LP	Bar (a)	4.51	4.21
Température de sortie du surchauffeur LP	0C	232.60	237.70
Débit de vapeur du surchauffeur LP	Kg/s	10.14	2.58
Débit d'échappement de la turbine LP	Kg/s	98.25	80.31
Débit d'échappement de la turbine LP	0C	33.35	31.56

*Tableau I-4 tableau des paramètres de fonctionnement d'économiseur et de condenseur*

Description	Unité	Gaz naturel	Carburant liquide
Débit d'entrée de l'économiseur HP	Kg/s	71.99	61.66
Débit d'entrée de l'économiseur IP	Kg/s	23.57	17.03
Pression du condenseur	Bar (a)	0.0514	0.0464
Température d'entrée d'eau de refroidissement du condenseur	0C	24	24
Température de sortie de l'eau de refroidissement du condenseur	0C	30	28.63

**I.5 Principaux composants et leur arrangement :**

Vue générale : turbine à gaz – générateur – turbine à vapeur :



*Figure.I.4 VUE GÉNÉRALE : TURBINE À GAZ - GENERATEUR - TURBINE À VAPEUR*

### **I.5.1 Turbine à Gaz GT**

La centrale à cycle combiné RAS-DJINET DE se compose de trois (3) turbines à gaz SGT5-4000F de Siemens.

Les turbines à gaz à chambre de combustion annulaire de Siemens sont des machines à arbre unique d'un modèle à un boîtier.

- . Un rotor commun est partagé par le compresseur et la turbine. Le rotor est supporté dans deux paliers qui se trouvent à l'extérieur de la zone sous pression. Une enveloppe extérieure commune retenant la pression est également partagée par le compresseur et la turbine. Il comprend différentes sections. Les sections de cuvelage sont boulonnées ensemble et forment une unité cylindrique rigide qui transmet toutes les forces qui se produisent pendant le transport et le fonctionnement aux supports.

- . Le boîtier repose sur des supports sur le socle de roulement avant et sur le boîtier externe arrière.

- . Le compresseur est un compresseur axial à haut rendement à 15 étages avec répartition de débit optimisée. Chaque étage comprend une rangée de pales de rotor et une rangée d'aubes.

La turbine à gaz est conçue pour le double allumage. Le gaz naturel doit être utilisé comme combustible primaire et le mazout distillé doit être utilisé comme combustible de secours. La turbine à gaz est conçue pour fonctionner à 100% de charge en tirant du gaz naturel et du mazout.

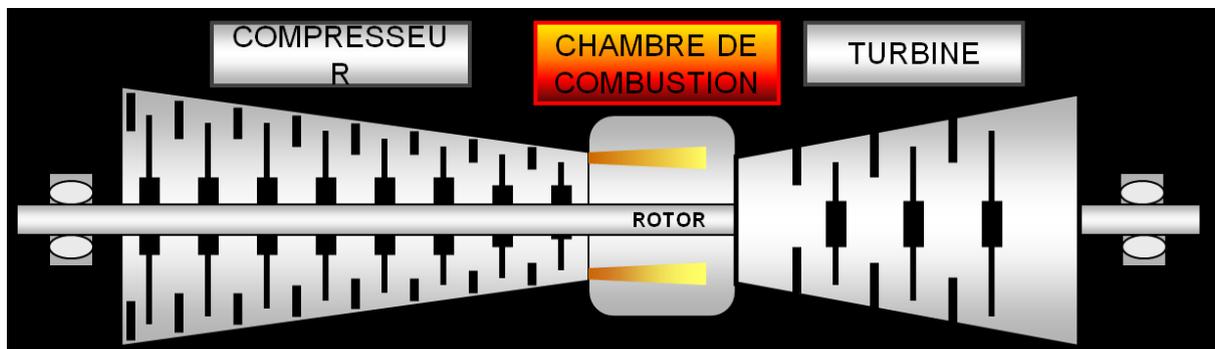


Figure. I.5 Turbine à gaz

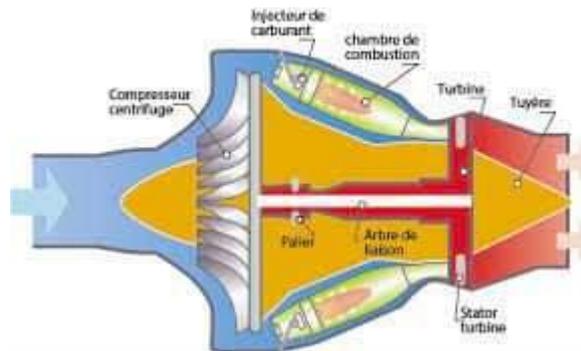


Figure I.6 Turbine à gaz GT



Figure.I.7 Turbine à gaz GT

### I.5.2 Générateur de vapeur à récupération de chaleur (HRSG) :

La centrale à cycle combiné RAS-DJINET DE se compose de trois (3) HRSG fourni par M / s Nooter Eriksen.

Le générateur de vapeur est un flux horizontal, trois niveaux de pression, la circulation naturelle avec la banque de réchauffeur, le type suspendu, complet avec pile en acier et tous les accessoires connexes.

Le gaz d'échappement GT est utilisé pour produire de la vapeur dans le HRSG. Les gaz d'échappement seront rejetés dans l'atmosphère par une cheminée principale.

Le condensat est fourni à l'économiseur basse pression (LP) par les pompes d'extraction du condensat. Le dégazeur est intégré au ballon de vapeur à basse pression (LP).

Les pompes d'alimentation du HRSG doivent aspirer depuis le ballon de vapeur LP et fournir l'eau d'alimentation au circuit haute pression (HP) et, par une purge intermédiaire, au circuit de pression intermédiaire (IP). La vapeur du tambour à vapeur HP circule à travers la

surchauffeur va vers la turbine à vapeur HP ST. La vapeur prélevée de la décharge HP ST retourne au HRSG, où elle est mélangée avec la vapeur surchauffée IP ; puis, en passant par le réchauffeur

(RH), retournera à l'IP ST. La vapeur prélevée de l'échappement IP ST va directement à LP ST. La vapeur de sortie du surchauffeur LP provenant du HRSG est mélangée avec l'échappement IP ST. L'échappement LP ST est connecté au condenseur

### I.5.3 Turbine à vapeur (ST)

La centrale à cycle combiné RAS-DJINET DE se compose de trois (3) Turbine à vapeur (ST) fournies par M / s Siemens.

Le modèle de turbine à vapeur, ST SST5-3000, se compose d'un cylindre HP de type cylindrique et d'un cylindre PI/BP à débit direct s'écoulant axialement dans le condenseur refroidi par eau.

La turbine HP est de construction à simple et à double paroi avec un porte-lame stationnaire et un carter externe. Il est muni d'une vanne d'arrêt et de contrôle de vapeur principale, soudée, soutenue par des supports supplémentaires. Le carter extérieure est de type baril. Les étages de tambour montés dans le carter intérieur ou le support de lame stationnaire et dans l'arbre sont des étages de réaction avec une réaction d'environ 50 %. La turbine à vapeur comporte une vanne d'arrêt et de contrôle de vapeur principale ainsi qu'une vanne d'arrêt et de contrôle de vapeur de secours. La vapeur principale est admise à travers les conduites de vapeur, en passant d'abord par la vanne d'arrêt puis par la vanne de régulation. La vanne d'arrêt principale permet d'isoler la turbine de la conduite de vapeur principale et peut rapidement interrompre l'alimentation en vapeur de la turbine.

Le carter extérieur PI et BP est divisé en deux sections, la section du carter d'entrée moulé et la section du carter d'échappement soudé. Les deux sections sont divisées horizontalement.

Le flux de vapeur passe à travers la vanne d'arrêt de réchauffage et la vanne de régulation, le carter intérieur avec un aubage pression intermédiaire, puis par le trajet de pale du porte-lame stationnaire basse pression (BP) et des anneaux de pale BP. Avant que la vapeur pénètre dans l'aubage BP, il y a une entrée de vapeur BP supplémentaire, avec une vanne d'arrêt et de contrôle. L'extrémité du diffuseur et de l'échappement du carter sont disposées axialement et reliées au condenseur.

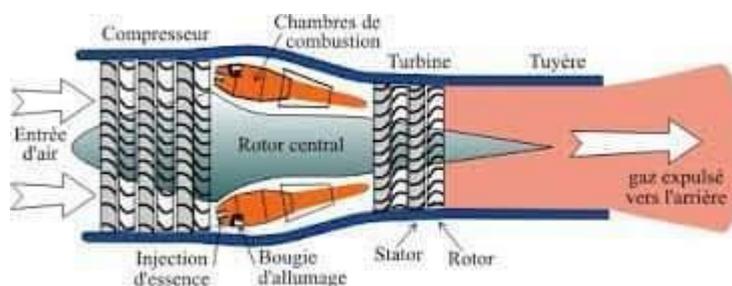


Figure.I.8 Turbine à VAPEUR ST



*Figure.1.9 Turbine à VAPEUR ST*

## **I.6 Système de dérivation de vapeur :**

Le système de dérivation de la vapeur sert généralement au cours des modes de fonctionnement suivants : opérations de démarrage et d'arrêt, déclenchement de la turbine à vapeur, fonctionnement de la turbine à vide ou à faible charge et fonctionnement en cycle simple. Le système de dérivation libère également l'excès de pression survenant au cours du déclenchement de la turbine à vapeur et du fonctionnement normal de la centrale.

Le système de dérivation de la vapeur se compose des éléments suivants ; le système de dérivation de la vapeur à haute pression, le système de dérivation de la vapeur de réchauffage du chaud et le système de dérivation de la vapeur à basse pression

Au démarrage, l'isolation du GTG (générateur de turbine à gaz)/HRSG (système de récupération de chaleur à vapeur) de la turbine à vapeur permet au GTG d'être mis sous charge sans délai et bien avant le préchauffage et la rotation de la turbine à vapeur. De plus, un démarrage plus rapide de la turbine à vapeur est possible puisque le système de dérivation offre la possibilité d'une correspondance des températures proche entre la température d'entrée de la vapeur et la température du métal de la turbine à vapeur.

Cela est possible par une décharge continue de la vapeur dans le condenseur jusqu'à ce que les conditions optimales de température, de pression et de débit soient atteintes pour le démarrage et le chargement de la turbine à vapeur.

La fonction de la soupape de dérivation à haute pression est de dériver la vapeur à haute pression de la conduite haute pression vers la conduite de réchauffage du froid (CRH) et de maintenir le HRSG en fonctionnement pendant le démarrage de la turbine à vapeur, son arrêt et les autres états temporaires. La station de dérivation HP se compose d'une soupape d'arrêt de vapeur, d'une soupape de conditionnement de vapeur et d'une soupape de régulation de température.

La fonction de la soupape de dérivation de réchauffage du chaud (HRH) (IP) est de dériver la vapeur de réchauffage de la chaleur (HRH) de la conduite HRH vers le condenseur refroidi par l'eau et de maintenir le HRSG en fonctionnement pendant le démarrage de la turbine à vapeur, son arrêt et les autres états temporaires. La station de dérivation HP se compose d'une soupape d'arrêt de vapeur, d'une soupape de conditionnement de vapeur et d'une soupape de régulation de température.

La fonction de la soupape de dérivation à basse pression est de dériver la vapeur à basse pression de la conduite basse pression vers le condenseur refroidi par l'eau et de maintenir le HRSG en fonctionnement pendant le démarrage de la turbine à vapeur, son arrêt et les autres états.

Temporaires La station de dérivation LP se compose d'une soupape d'arrêt de vapeur, d'une soupape de conditionnement de vapeur et d'une soupape de régulation de température

### **I.6.1 Pompes d'alimentation du HRSG (LAB10AP001 & LAB20AP001) :**

La fonction de la pompe d'alimentation HRSG est de fournir l'eau d'alimentation du tambour/dés aérateur de LP à la section économiseur HP et à travers un purgeur intermédiaire, au circuit de pression intermédiaire (IP) du générateur de vapeur à récupération de chaleur (HRSG). Ces pompes fournissent également de l'eau au désurchauffeur à haute pression (HP), au désurchauffeur de réchauffage, au réchauffeur

### **I.6.2 Condenseur à vapeur du presse-étoupe (GSC)**

Le condensateur de vapeur de presse-étoupe a pour fonction de condenser la vapeur évacuée par les joints d'étanchéité de l'arbre et de récupérer le condensat. Le condenseur de vapeur du presse-étoupe est refroidi avec du condensat provenant de la décharge de la pompe d'extraction du condensat. Le condenseur de vapeur de presse-étoupe est équipé de 2 x 100% ventilateurs d'extracteur de vapeur. L'un des deux extracteurs de condensateurs de vapeur de presse-étoupe sera en fonctionnement constant pour évacuer les gaz du condenseur de vapeur du presse-étoupe. Les purges automatiques sont utilisées pour envoyer les drains de vapeur du presse-étoupe au condenseur. Lors de la période d'entretien, la vapeur du presse-étoupe est évacuée dans l'atmosphère. L'un des deux extracteurs de condensateurs de vapeur du presse-étoupe sera en fonctionnement constant pour évacuer les gaz du condenseur de vapeur du presse-étoupe.

### **I.6.3 Pompes d'extraction de condensat (CEP) :**

La fonction principale de la pompe d'extraction de condensat est de pomper le condensat en aspirant depuis la cheminée du condenseur pour le décharger dans le ballon LP passant par le condenseur de vapeur de presse-étoupe et le préchauffeur de condensat (économiseur LP).

Il y a deux (2) pompes d'extraction de condensat verticales, à plusieurs étages et à volute, pour chaque train de performance de gaz combustible et à la station de dérivation HP.

Deux pompes d'alimentation HRSG horizontales à deux positions (2x100%) sont fournies pour chaque bloc de la centrale à cycle combiné.

La pompe est une pompe centrifuge horizontale à plusieurs étages à fendage radial et à barillet. Elle adopte la structure du disque d'équilibrage et de la multi-volute pour équilibrer les poussées axiales et radiales.

### **I.6.4 Condenseur (MAG10AC001) :**

Le condenseur refroidi à l'eau axial exécute la fonction de condenser la vapeur d'échappement de la turbine à vapeur et/ou du système de dérivation de la vapeur de l'IP, HP et LP. Le condenseur reçoit la vapeur d'échappement de la turbine dans le sens horizontal.

La vapeur provenant du système d'étanchéité du presse-étoupe, le ventilateur et le drain de la boîte de décharge de la turbine, les tuyaux d'évacuation du condensateur de vapeur, la conduite CRH et les purgeurs de purge sont également introduits dans le condenseur.

Le condenseur est conçu pour garantir des conditions de fonctionnement à 100% de la charge pour une température d'eau de refroidissement de conception de 24 ° C et une augmentation de température de 6 ° C.

– Soupape d'arrêt d'urgence (00EKG10AA061)

- Tambour d'élimination (00EKB20A001)
- Patin de mesure de gaz combustible (00EKG40CF501)
- Filtres d'entrée de gaz combustible (00EKG21 / 22AT001)

### **I.6.5 Système d'évacuation d'air du condenseur :**

L'objectif du système d'évacuation du condenseur est d'évacuer l'air et les autres gaz dans le condenseur lors du démarrage et du fonctionnement normal. Le système d'évacuation de l'air du condenseur se compose d'un éjecteur d'air à jet de vapeur monophasé à 100% et d'un éjecteur d'air à jet de vapeur à deux étages (100%).

\_Système de gaz combustible :

\_Le système de gaz combustible a deux fonctions :

\_Contrôle le débit massique du gaz combustible dans les chambres de combustion GT.

\_Éteint le flux de gaz combustible à la turbine à gaz dans certaines conditions.

\_L'écoulement du gaz combustible vers la turbine à gaz est coupé par des éléments de fermeture à fermeture rapide et ferme lors des arrêts, des pannes et des défaillances postulées.

\_Un système d'alimentation en gaz combustible est prévu en amont du système de gaz combustible, comme expliqué dans les diapositives précédentes, pour garantir que le gaz combustible est disponible dans la quantité requise pour répondre aux exigences opérationnelles.

\_Du gaz combustible sec et propre doit être fourni au système de gaz combustible pour prévenir la corrosion, l'érosion et la formation de dépôts sur les composants du système.

\_De plus, la pression du gaz combustible à l'entrée du système doit être relativement constante quelle que soit la vitesse à laquelle elle est fournie.

### **I.6.6 Système de gaz combustible :**

Le système de gaz combustible a deux fonctions :

Contrôle le débit massique du gaz combustible dans les chambres de combustion GT.

Éteint le flux de gaz combustible à la turbine à gaz dans certaines conditions.

L'écoulement du gaz combustible vers la turbine à gaz est coupé par des éléments de fermeture à fermeture rapide et ferme lors des arrêts, des pannes et des défaillances postulées.

Un système d'alimentation en gaz combustible est prévu en amont du système de gaz combustible, comme expliqué dans les diapositives précédentes, pour garantir que le gaz combustible est disponible dans la quantité requise pour répondre aux exigences opérationnelles.

Du gaz combustible sec et propre doit être fourni au système de gaz combustible pour prévenir la corrosion, l'érosion et la formation de dépôts sur les composants du système.

De plus, la pression du gaz combustible à l'entrée du système doit être relativement constante quelle que soit la vitesse à laquelle elle est fournie.

Système de gaz combustible ... Suite.

### **I.6.7 Les principaux composants du système d'alimentation en gaz combustible sont :**

- Soupape d'arrêt d'urgence (00EKG10AA061)
- Tambour d'élimination (00EKB20A001)
- Patin de mesure de gaz combustible (00EKG40CF501)
- Filtres d'entrée de gaz combustible (00EKG21 / 22AT001)
- Compresseurs de gaz combustible (00EKH11 / 12 / 13AN001)

- Chauffe-gaz au point de rosée (00EKC11 / 12AC001)
- Station de réduction de pression (00EKD11/12/13/14AA001)
- Chauffe-eau à gaz combustible (50EKC10AC001 / 002)
- Filtre de dernière chance (50EKE21à001)
- Réservoir des condensats (50EKR10BB001)

**I.6.7.1 Tambour d'élimination (KO) :**

Le tambour d'élimination 1x100% (00EKB20AT001) est fourni en aval de la station ESDV. Le tambour d'éjection sert à éliminer les gouttelettes de condensat ou les bouchons de liquide qui peuvent être formés dans la canalisation et à éliminer les particules solides (telles que les produits de corrosion des canalisations).

Le tambour d'élimination va supprimer 99 % de particules solides de plus de 5 microns.

**I.6.7.2 Mesure du gaz combustible :**

Le système de mesure est équipé d'un débitmètre (00EKG40CF501).

Le flux de mesure a des mesures de pression indépendantes (00EKG40CP101) et de température (00EKG40CT101). Le débit de gaz mesuré est corrigé aux conditions de température et de pression standard par un calculateur de débit.

Compresseurs de gaz combustible :

Des compresseurs de gaz combustible (00EKH11 / 12 / 13AN001) sont prévus pour augmenter la pression du gaz combustible sortant des filtres d'admission conformément aux exigences GT.

Filtres d'entrée de gaz combustible

Des filtres d'entrée de gaz combustible 2X100% (00EKG21 / 22AT001) sont fournis en aval du patin du tambour d'élimination. Le tambour d'éjection sert à fusionner les gouttelettes de condensat ou les bouchons de liquide qui peuvent être formés dans la canalisation et à éliminer les particules solides (telles que les produits de corrosion des canalisations).

Le séparateur de filtre est un filtre de fusion à un étage qui est conçu avec l'entrée dans la partie inférieure du récipient et la sortie dans la partie supérieure. Cela permet au gaz de se déplacer vers le haut à travers l'élément de l'intérieur vers l'extérieur. Le gaz propre sort par la sortie et le liquide fusionné s'écoule à travers la couche de sortie des éléments. Des éléments filtrants à haute efficacité sont fournis pour éliminer les particules solides et les gouttelettes de liquide de 2 microns ou plus des courants gazeux.

**I.6.7.3 La station de réduction de pression :**

La station de réduction de pression réglera la pression d'alimentation en gaz combustible à la turbine à gaz, selon les besoins.

Des réducteurs de pression 4X33,3% (00EKD11 / 12/13 / 14AA001) sont prévus pour cette régulation de pression.

La station comprend des lignes d'abaissement de pression, chaque ligne étant constituée d'une soupape d'arrêt suivie d'un régulateur actif et de soupapes de régulation de surveillance.

**I.6.7.4 Réchauffeur de gaz de point de rosée :**

L'effet Joule-Thomson se produira dans le système de réduction de pression situé en aval du réchauffeur. La diminution de la pression du gaz dans le système de réduction de pression

Diminue la température du gaz et, dans le cas où la température diminue, le gaz se rapproche de la température du point de rosée. Pour obtenir cet effet JT, des réchauffeurs de gaz de point

de rosée 2X100% (00EKC11 / 12AC001) sont fournis pour augmenter la température du gaz à la valeur spécifique avant de passer au système de réduction de pression, donc la température du gaz après réduction peut être maintenue.

#### **I.6.7.5 Chauffage de performance :**

Le réchauffeur de rendement (50EKC10AC001) est l'échangeur de chaleur de type de coquille et de tube construit pour le transfert efficace de la chaleur d'un milieu à l'autre. Dans le chauffe-eau performant, l'eau d'alimentation IP du système HRSG traverse les tubes et le gaz combustible s'écoule sur le tube (côté coque) pour transférer la chaleur entre l'eau d'alimentation IP et le gaz combustible.

Filtre de dernière chance

Le filtre de dernière chance (50EKG21à001) est fourni après le réchauffeur de performance pour la protection finale du GT contre les condensats. Le filtre de dernière chance sert à fusionner les gouttelettes de condensat ou les bouchons de liquide qui peuvent être formés dans la canalisation et à éliminer les particules solides (telles que les produits de corrosion des canalisations).

#### **I.6.8 Système de mazout :**

Le système de mazout alimente en combustible les brûleurs FO et contrôle la quantité injectée dans la chambre de combustion. Lors de l'arrêt, il assure l'arrêt rapide et fiable du flux de mazout.

Les 24 ensembles de brûleurs de la GT comprennent chacun plusieurs brûleurs individuels. Outre les deux brûleurs de mazout (brûleur DM et brûleur PM), les brûleurs sont également équipés pour fonctionner au gaz combustible. Tous les ensembles de brûleurs sont complètement identiques. Ils sont uniformément espacés autour de la circonférence pour obtenir le champ de température le plus uniforme possible dans la chambre de combustion annulaire.

Le système de mazout assure que le mazout est injecté dans la chambre de combustion à la pression optimale, au degré d'atomisation et au débit massique. Il se branche en aval de la pompe d'injection de mazout dans deux sous-systèmes : le système de brûleur à diffusion d'huile combustible (système FO-DM) et le système de brûleur à pré mélange de carburant (système FO-PM). Le brûleur FO-DM est commandé sur la base de la pression de la ligne de retour, c'est-à-dire que le système FO-DM comprend une ligne d'alimentation et une ligne de retour à flux contrôlé (ligne de retour FO-DM).

Le mazout alimenté par la ligne d'alimentation du brûleur FO-DM pénètre dans la chambre de turbulence des buses du brûleur où il est divisé en deux flux partiels, l'un injecté dans la chambre de combustion et l'autre dans la ligne de retour FO-DM

Une soupape de commande de ligne de retour FO-DM presque fermée entraîne une pression de ligne de retour élevée. Seul un petit volume de mazout s'écoule dans la ligne de retour FO-DM et une grande quantité correspondante de mazout est injectée. Avec une soupape de contrôle de ligne de retour FO-DM largement ouverte, la pression de la ligne de retour FO-DM est faible ; par conséquent, une grande quantité de fioul s'écoule dans la ligne de retour FO-DM et seulement un petit volume est injecté.

Une grande partie des composants du système FO, y compris les filtres à mazout, la pompe d'injection, ainsi que les soupapes d'arrêt d'urgence et de commande, sont disposées de manière compacte sur une unité connue sous le nom d'ensemble de mazout.

**I.6.9 Système d'admission d'eau de mer :**

L'eau de mer est amenée à l'intérieur de l'usine à travers quatre (4) tuyaux d'admission de diamètre 2 300mm. Le tuyau d'admission est relié à un puisard d'admission d'eau de mer commun. L'eau est passée à travers quatre (4) dégrilleurs (00PBB01/02/03/ 04AT001) et quatre (4) filtres de tamis de tambour (00PBB01 / 02/03 / 04AT002) avant d'entrer dans la baie commune.

**I.6.10 Pompes à eau de refroidissement :**

L'eau de refroidissement sera pompée par les pompes à circulation d'eau installées dans la chambre de pompage de la station de pompage d'eau de mer. Il y a six (6) pompes non escamotables de type vertical, à flux mélangé, fournies pour les trois (3) unités (2 pompes à 100% pour chaque module CCPP).

**I.6.11 Système d'évacuation de l'eau de mer :**

Après avoir passé le condenseur, les deux lignes sont connectées pour former un collecteur. Trois collecteurs indépendants sont amenés du condenseur de chaque unité et connectés à un bassin de siphon unitaire. Depuis le bassin du siphon, l'eau est envoyée à la mer par un canal unitaire.

**I.6.12 Système d'électro-chloration :**

Le système d'électro-chloration produit de l'hypochlorite de sodium par électrolyse de l'eau de mer. Le système se compose de deux (2) générateurs d'hypochlorite à 100%) et de l'équipement connexe, chacun dimensionné pour une capacité de production de 70 kg / h d'équivalent de chlore sous forme d'hypochlorite de sodium. Pour empêcher la croissance des algues dans le canal d'entrée d'eau de mer, le chlore est dosé dans les tuyaux d'admission d'eau de mer et à l'entrée du dérailleur.

**I.6.13 Système auxiliaire d'eau de refroidissement :**

Le système auxiliaire d'eau de refroidissement est prévu pour évacuer la chaleur du côté primaire des échangeurs de chaleur à plaques en fournissant de l'eau de mer froide prélevée du système de circulation d'eau aux échangeurs de chaleur du type à plaques. Un autre système auxiliaire d'eau de refroidissement fournit également de l'eau de mer pour le HRSG et la trempe de la chaudière auxiliaire (IBD). Le robinet est prélevé en aval du filtre à débris individuel pour fournir PHE avec de l'eau sans débris. La sortie de PHE est connectée à la tuyauterie de décharge du condenseur. Deux (2) (2x100 %) échangeurs de chaleur à plaques (2x100%) sont fournis pour chaque module CCPP.

**I.6.14 Système fermé d'eau de refroidissement :**

Le système d'eau de refroidissement fermé fournit de l'eau DM froide, passivée (inhibée) à divers refroidisseurs d'équipement. L'eau froide DM circule à travers les refroidisseurs

– Deux (2 x 100%) sècheurs d'air de type régénération sans chaleur desséchants sont fournis pour éliminer l'humidité de l'air comprimé pour répondre aux exigences de l'air de l'instrument.

Auxiliaires et l'eau chaude de retour est pompée à travers un échangeur de chaleur à eau de refroidissement fermé à plaques. L'eau de mer froide extraite du système de circulation d'eau est utilisée pour refroidir l'eau chaude DM dans l'échangeur de chaleur. Dans le circuit primaire, la pompe DXW 2X100% (pour chaque module CCPP) doit fournir de l'eau de refroidissement à travers des échangeurs de chaleur à plaques.

**I.6.15 Chaudière auxiliaire :**

La fonction de la chaudière auxiliaire est de fournir le besoin en vapeur auxiliaire pendant la mise en marche de l'installation. En outre les chaudières doivent également fournir de la vapeur à l'usine de dessalement. Il y a deux (2) type 2 tambours, à circulation naturelle, à fond de tube à eau supporté et à chaudière auxiliaire au fioul / gaz naturel sont envisagés.

La capacité de vapeur de chaque chaudière est de 8 tonnes / heure à 20,5 bars (g).

La chaudière comporte trois (3) ensembles (3 x 50%) de pompes d'alimentation de chaudière communes aux deux chaudières. Un ventilateur d'air forcé (1X100%) par chaudière auxiliaire est prévue.

**I.6.16 Système d'air comprimé :**

Le système d'air comprimé est fourni dans l'usine pour fournir de l'air d'instrument pour commander des instruments pneumatiques, des valves pneumatiques etc. et pour fournir l'air de service à tous les consommateurs de l'usine.

Il y a deux (2) compresseurs 2x100% d'air à vis sans huile, à vis sans huile et à refroidissement par air qui sont fournis pour répondre aux exigences de l'air et de l'air de l'installation.

Deux récepteurs d'air d'instrument principal sont prévus pour stocker une quantité suffisante d'air comprimé nécessaire pendant les pics de consommation d'air à court terme, pour réduire la fréquence du cycle du compresseur, pour réduire les pulsations et pour alimenter l'air comprimé ou les déplacements. En outre trois (3) récepteurs d'air de l'unité (un pour chaque module CCP) sont également fournis.

**I.6.17 Usine de traitement de l'eau :**

\_L'usine de traitement des eaux comprend trois usines.

\_Usine de dessalement de l'eau de mer

\_Usine de déminéralisation

\_Usine de reminéralisations

**I.6.18 Usine de dessalement de l'eau de mer :**

Les unités sont disposées selon le "type à effet multiple avec compression thermique de vapeur (MED-TVC)" ; chaque unité d'évaporateur a 3 effets ou cellules disposés dans un récipient.

Les unités de dessalement RIN DJINET sont conçues pour une production nette de distillat de 1100 m<sup>3</sup> / jour, sans le débit de retour des condensats de vapeur, contenant 10 ppm de TDS, avec une température de l'eau de mer allant de 16 ° C à 24 ° C. Chaque unité est adaptée pour fonctionner à la température max de l'eau de mer de 28 ° C, mais avec une capacité distillée réduite (880 m<sup>3</sup> / jour). Le GOR à la capacité nominale de 1100 m<sup>3</sup> / jour, avec une eau de mer de 24 ° C, est égal à 6 kg de distillat pour 1 kg de vapeur d'entrée (à 20 barges, 225 ° C), système de ventilation et retour de condensat exclus.

**I.6.19 Usine de déminéralisation :**

Le système de déminéralisation déminéralise l'eau à partir de l'eau dessalée, produite à l'usine de dessalement. Le système se compose principalement du système d'échangeur à lit mixte (MBE) et le système de stockage et d'injection de produits chimiques. L'eau dessalée contenant la petite quantité de minéraux dissous entre dans le MBE dans lequel les impuretés (comme les minéraux dissous) réagissent continuellement après la réaction de soufflage des résines cationique et anionique du MBE, l'eau minérale produite est de très haute qualité.

Afin de décrire correctement le système, ce dernier est subdivisé en sous-systèmes suivants :

Système d'échangeur à lits mélangés

Système de stockage et d'injection de produits chimiques et

Périphériques divers

#### **I.6.20 Usine de reminéralisations :**

Le système de reminéralisations du système de traitement de l'eau est automatiquement contrôlé par LSI (indice de saturation de Languier) et CCPP (potentiel de précipitation du carbonate de calcium) et injecté chaque produit chimique dans la ligne de service et d'eau potable.

Afin de décrire correctement le système, ce dernier est subdivisé en sous-systèmes suivants :

\_Système d'injection de produits chimiques pour l'eau de service

\_Système d'injection de produits chimiques pour l'eau potable

\_Périphériques divers

Ce système a pour but de répondre aux besoins en eau de service de la centrale. L'eau fournie par la pompe à eau de service doit subir un traitement supplémentaire pour produire de l'eau de service. L'eau, traitée conformément à la norme pertinente, doit être acheminée vers le réservoir d'eau de service pneumatique, et de là, l'eau doit être desservie pour l'exploitation de la centrale.

#### **I.6.21 Générateur :**

Le générateur sera capable d'évacuer la puissance de la sortie turbine (turbine à gaz + turbine à vapeur) à laquelle il est raccordé sans dépasser la limite de température admissible. Un (1) modèle SGen5-2000H de Siemens est fourni pour chaque module CCPP.

Les caractéristiques générales des turbines à gaz sont les suivantes.

Cote MVA - 431 MVA

Tension nominale en kV - 22 kV

Fréquence en Hz - 50 Hz

Facteur de puissance - 0.9

Type de refroidissement - Refroidi à l'hydrogène

Transformateurs abaisseurs (axillaires)

Chaque module CCPP est équipé d'un transformateur abaisseur d'unité afin de fournir de l'énergie aux auxiliaires de l'unité pendant le démarrage et en fonctionnement normal. La valeur nominale du transformateur abaisseur de l'unité est la suivante : -

Three Phase output: 40 MVA @ 20 °C ambient

Tension évaluée (HV / LV) : 22/6,3 kV

Type de refroidissement : ONAN

– L'usine est équipée d'une sous-station isolée au gaz de 400 kV qui consiste en un système à double barre omnibus avec les baies suivantes :

– Ligne entrante : 3 pour les baies de générateurs

– Coupleur de bus 1

– Ligne sortante : 3 pour les lignes de transmission, 1 pour les lignes de câble 400kV

**I.6.22 Ensemble de générateurs diesel de démarrage noir et d'urgence :**

Un générateur diesel à démarrage noir est fourni pour répondre aux exigences d'urgence (charges d'urgence GT & ST) et aux exigences de démarrage de l'unité (auxiliaires 400 V, SFC, charges d'excitation, pompes CW, pompes à condensat, pompes d'alimentation HP et compresseur).

Le carburant diesel doit être utilisé comme carburant pour le moteur diesel. Le moteur est un turbocompresseur à circuit unique refroidi à l'eau, à quatre temps, à injection directe.

Deux groupes électrogènes diesel à 50% seront considérés pour trois (3) unités électrogènes

Le générateur diesel démarre automatiquement lorsqu'aucune tension n'est détectée et que le générateur de la turbine est en marche.

Cote MVA : 14 MVA au total (2 ensembles de 7 MVA chacun par ensemble de BSDG)

Tension nominale : 6 kV

Facteur de puissance nominale : 0,8

**I.6.23 Appareillage isolé par gaz 400KV :**

– L'usine est équipée d'une sous-station isolée au gaz de 400 kV qui consiste en un système à double barre omnibus avec les baies suivantes :

– Ligne entrante : 3 pour les baies de générateurs

– Coupleur de bus 1

– Ligne sortante : 3 pour les lignes de transmission, 1 pour les lignes de câble 400kV

**I.7 Conclusion :**

Dans ce chapitre ont présenté la centrale à cycle combiné de ras dajant2 ET donne présentation sur site et sa structure, les auxiliaires importants dans le central, et leur principe de fonctionnement

## **II. Maintenance et analyse vibratoire**

### **II.1 Introduction**

Dans le domaine industriel la maintenance occupe une large aire grâce à ces bénéfices sur les équipements, la sécurité et les couts aussi dans ce chapitre on va citer les notions de la maintenance en s'appuyons sur mon séjour au niveau de la centrale à cycle combiné de ras dajant2.

On va baser dans ce chapitre sur la maintenance et ses méthodes et aussi sur le l'analyse vibratoire et l'application de maintenance sur ce dernier

### **II.2 MAINTENANCE**

#### **II.2.1 Introduction :**

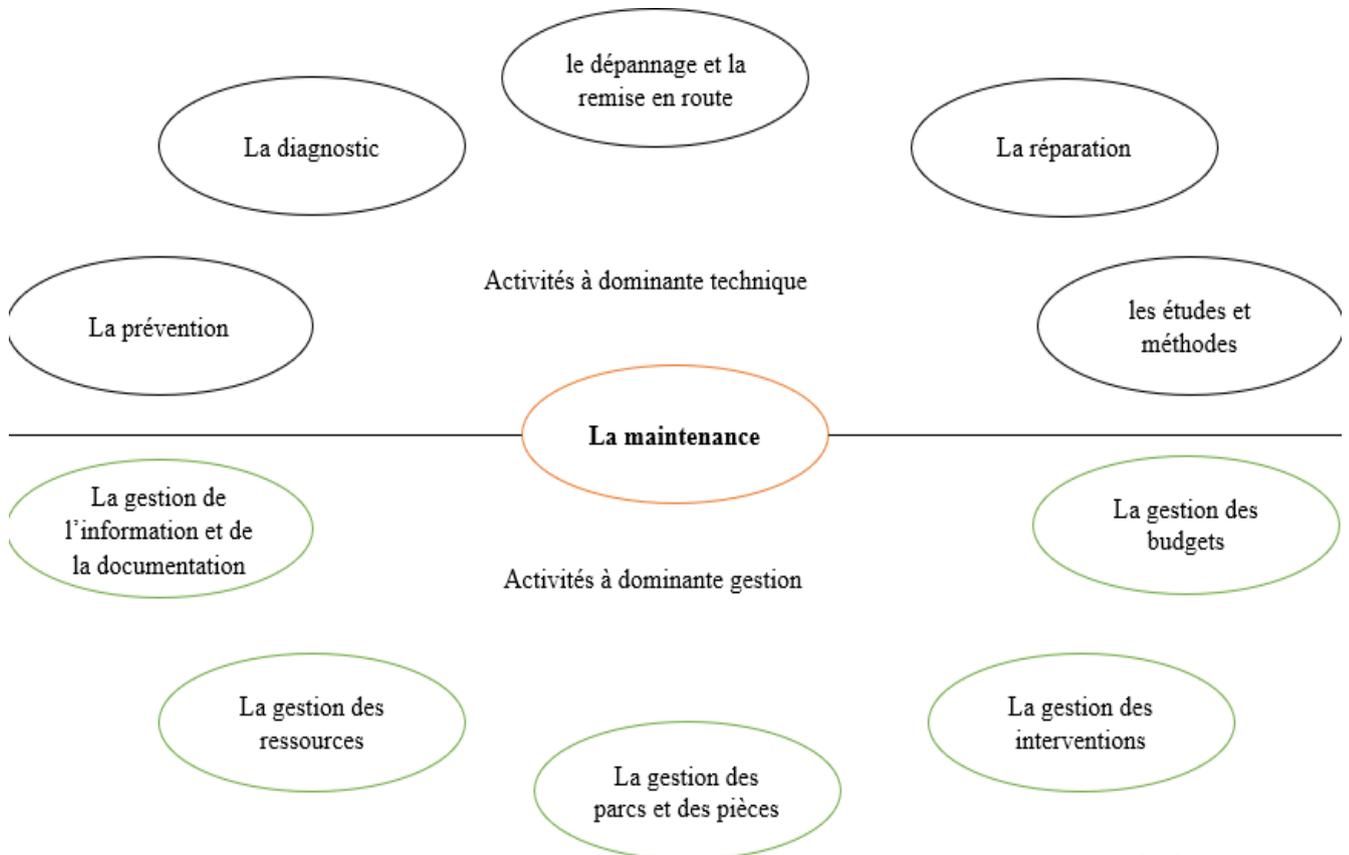
La fonction maintenance a fortement évolué depuis une décennie sous l'effet des contraintes de productivité, d'optimisation des coûts et sous l'influence des déférents modèles industriels. Si le terme fonction est employé à la place de service, c'est parce que la maintenance n'est plus réservée à l'activité d'un groupe d'hommes sur lesquels on se déchargerait de tout ce qui n'est pas production, finance ou commercial. À l'inverse, maintenir n'est plus de la seule responsabilité d'un service de maintenance.

#### **II.2.2 Définition de la maintenance**

D'après la norme française NF EN 13306 X 60-319, la maintenance peut être définie par : "l'ensemble de toutes les actions techniques, administratives et de management durant le cycle de vie d'un bien, destinées à le maintenir ou à le rétablir dans un état dans lequel il peut accomplir la fonction requise"[1]. Le rôle principal d'un service maintenance est de maintenir les capacités opérationnelles des moyens de production, ainsi que leurs valeurs patrimoniales. Ces capacités opérationnelles sont nécessaires pour servir une commande non pas lorsque l'entreprise peut l'honorer, mais au moment où le client la demande. La valeur patrimoniale peut s'envisager comme l'allongement de la durée de vie utile des machines et équipements, ce qui repousse ou annule la nécessité d'un nouvel investissement, ou en facilite la revente. Formulé ainsi, il apparait évident que ce rôle ne peut s'envisager que de manière dynamique et proactive.

- Si l'on attend une panne pour réagir, la capacité opérationnelle n'est plus maintenue.
- Si l'on attend une dégradation pour réagir, la valeur patrimoniale est déjà amoindrie.

La fonction maintenance peut être présentée comme un ensemble d'activités regroupées en deux sous-ensembles : les activités à dominante technique et les activités à dominante gestion.



*Figure II.1 contenu de la fonction maintenance [2]*

### II.2.3 Le rôle de la maintenance

Est la maîtrise de la disponibilité opérationnelle de équipements par :

- La réduction des coûts de maintenance
- L'accroissement de la durée rentable de vie des équipements.
- Réduction des accidents et des risques concernant la sécurité des hommes et de l'environnement.

### II.2.4 Le rôle de service maintenance :

Le service devra, dans le cadre de la politique globale de l'entreprise, définir les stratégies les mieux adaptées aux diverses situations. Il sera ainsi conduit à faire des prévisions ciblées :

**Prévisions à long terme :** elles concernent principalement les investissements lourds ou les travaux durables, ce sont ces prévisions qui sont le plus dictées par la politique globale de l'entreprise.

**Prévisions à moyen terme :** la maintenance doit se faire la plus discrète possible dans le planning de charge de la production. Alors il lui est nécessaire d'anticiper, autant que faire se peut, ses interventions en programmes de fabrication. La production doit, elle aussi, prendre en compte les impératifs de suivi des matériels.

**Prévisions à court terme :** elles peuvent être de l'ordre de la semaine, de la journée voir de quelques heures. Même dans ces cas, avec le souci de perturber le moins possible la marche

de la production, les interventions devront elles aussi avoir subi un minimum de préparation [3]

**II.2.5 Les ratios dans la maintenance**

**Disponibilité**

« Aptitude d'un bien à être en état d'accomplir une fonction requise dans des conditions données, à un instant donné ou durant un intervalle de temps donné, en supposant que la fourniture des moyens extérieurs est assurée. »[1]

$$D = \frac{MTBF}{MTBF + MTTR} = \frac{\lambda}{\lambda + \mu}$$

**Fiabilité**

« Aptitude d'un bien à accomplir une fonction requise, dans des conditions données, durant un intervalle de temps donné. »[1]

$$R(t) = e^{-\lambda(t-\gamma)}$$

**Maintenabilité**

« Dans des conditions données d'utilisation, aptitude d'un bien à être maintenu ou rétabli dans un état où il peut accomplir une fonction requise, lorsque la maintenance est accomplie dans des conditions données, en utilisant des procédures et des moyens prescrits. »[1]

$$M(t) = 1 - e^{-\mu t}$$

- **MTTF** signifie « Mean Time To Failure » (Temps moyen de fonctionnement avant panne).

$$MTTF = \frac{\text{le nombre total d'heures de fonctionnement}}{\text{le nombre total d'articles suivis}}$$

- **MTBF** signifie « Mean Time Between Failure » (Temps moyen entre pannes).

$$MTBF = \frac{\Sigma \text{ Temps de bon fonctionnement}}{\text{Nombre de défaillances ou nombre de période de bon fonctionnement}}$$

- **MTTR** signifie « Mean Time To Repair » (Durée moyenne de réparation)

$$MTTR = \frac{\text{temps total d'arrêt}}{\text{Nombre d'arrêts}}$$

- **MDT** signifie « Mean Down Time » (Durée moyenne d'indisponibilité)
- **MUT** signifie « Mean Up Time » (Durée moyenne de fonctionnement après réparation)

$$MTBF = MDT + MUT$$

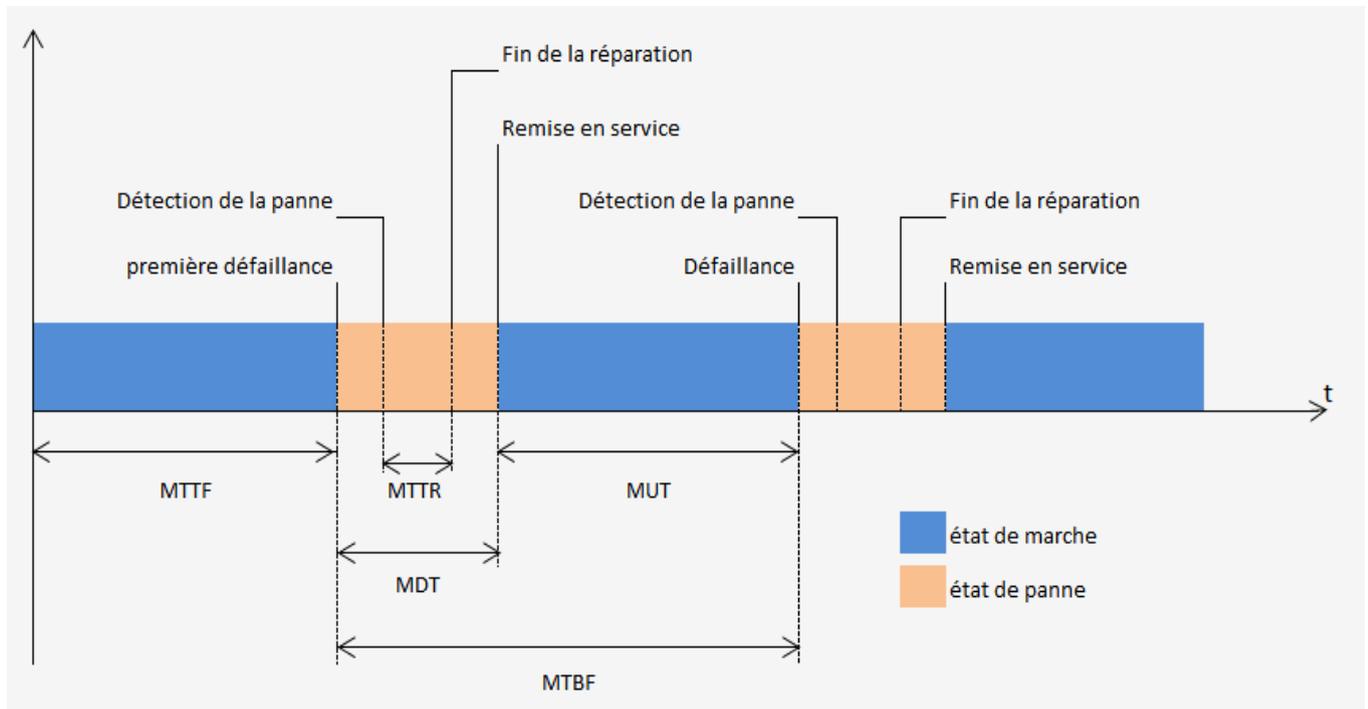


Figure II.2 les disciplines de maintenance en fonction du temps

$\beta$  : paramètre de forme ( $\beta > 0$ )

$\eta$  : paramètre d'échelle ( $\eta > 0$ )

$\gamma$  : paramètre de position ( $-\infty > \gamma > +\infty$ )

$\mu$  : taux de réparation

$\lambda$  : Taux de défaillance

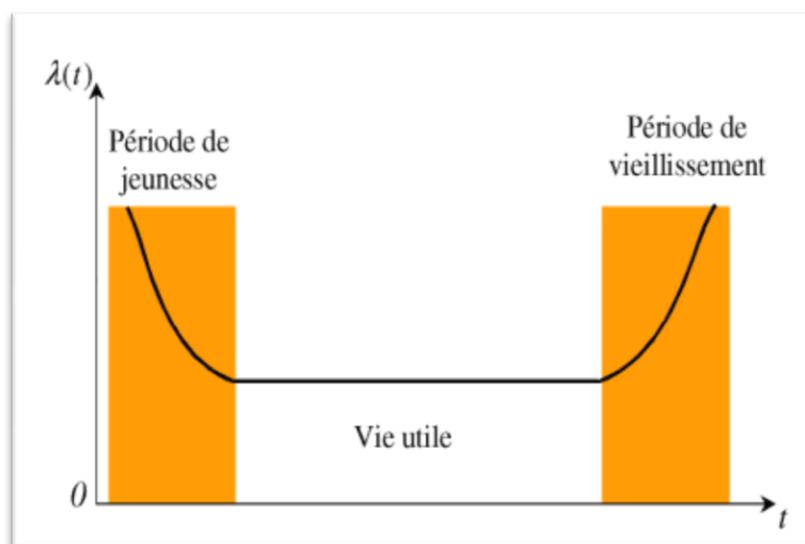


Figure II.3 courbe de baignoire

II.2.6 Les niveaux de la maintenance

On a 5 niveaux de maintenance

Tableau II-1 les niveaux de maintenance

Niveau 1	Niveau 2	Niveau 3	Niveau 4	Niveau 5
- réglages simples  - sur place  - personne non qualifiée peut réaliser l'opération	- action peu complexes  - sur place  - nécessite un technicien habilité pour réaliser l'opération	- actions complexes  - sur place ou en atelier  - nécessite un technicien spécialiste	- action de grande importance  - en atelier spécialisé  - nécessite une équipe avec un responsable spécialiste	- action complexe  - chez le constructeur  - nécessite l'équipe de construction

II.2.7 Objectifs de la maintenance :

- Assurer la qualité et la quantité des produits fabriques, tout en respectant les délais
- Optimiser les actions de maintenance (exemple : réduire la fréquence des pannes)
- Contribuer à la création et au maintien de la sécurité au travail
- Consolider la compétitive de l'entreprise (améliorer la productivité) [2]

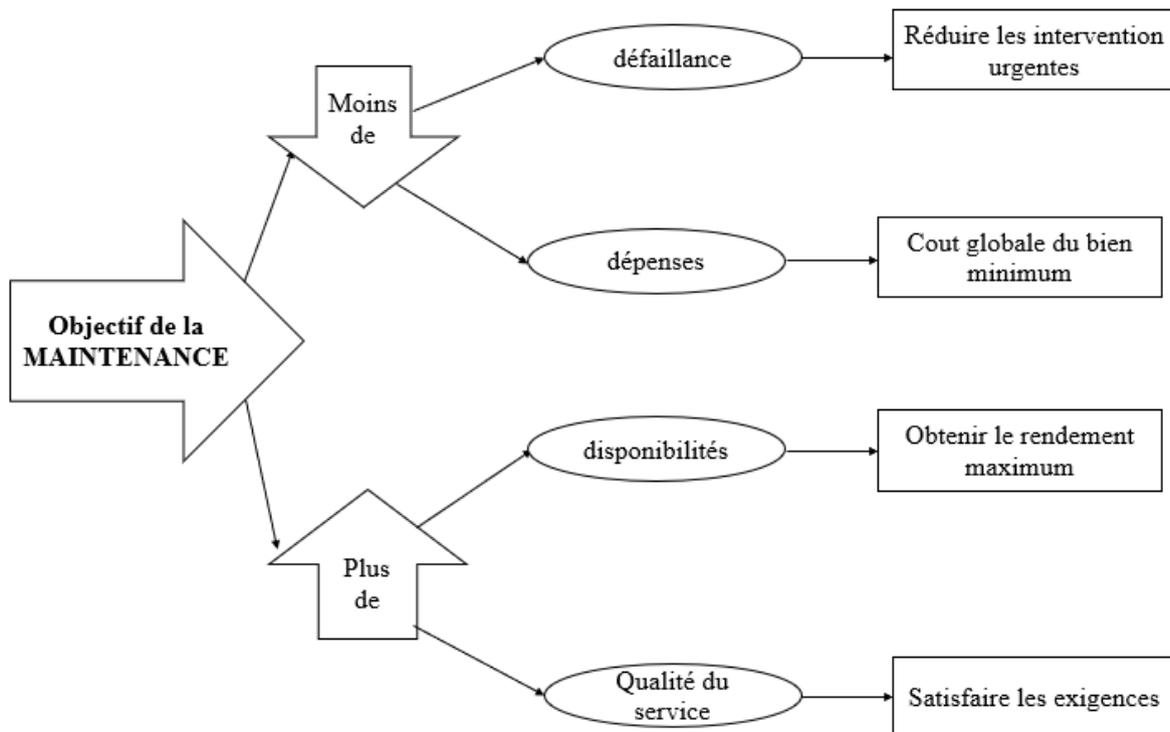


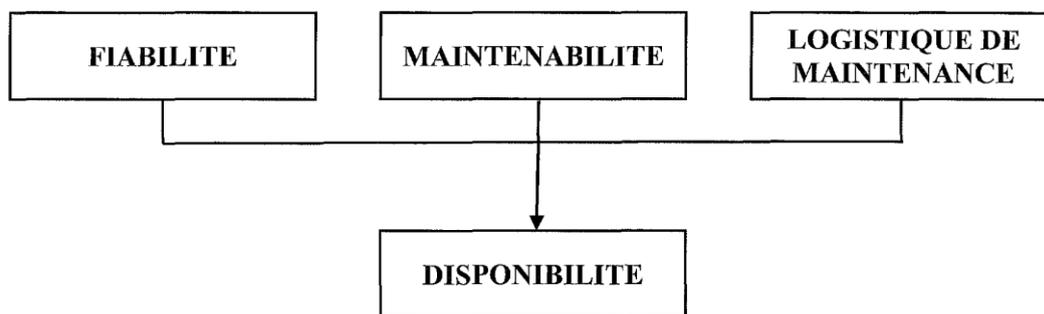
Figure II.4 Schématisation des objectifs de la maintenance

### II.2.8 Etats et événements relatifs à un bien

Dans le monde industriel actuel, la course à la rentabilité ne permet pas de faire l'impasse sur la recherche d'une plus grande efficacité d'exploitation des équipements. La mise en place d'un plan de maintenance préventive permet d'optimiser les opérations de maintenance et surtout de les effectuer au bon moment. L'objectif étant d'améliorer le taux de disponibilité des équipements et ainsi d'augmenter la productivité de l'entreprise. Un tel plan vise à réduire les coûts des pannes mais aussi ceux de la maintenance. En effet, la plupart des réparations et immobilisations coûteuses peuvent être réduites ou évitées par un entretien constant et préventif. La disponibilité est définie comme « l'aptitude d'un dispositif, sous les aspects combinés de sa fiabilité, de sa maintenabilité et de la logistique de maintenance, à remplir ou à être en état de remplir une fonction à un instant donné ou dans un intervalle de temps donné » (Norme Française NF EN 13306 X 60-319)

Cette définition comporte trois parties importantes :

- « . . . sous les aspects combinés de sa fiabilité, de sa maintenabilité et de la logistique de maintenance, ... » [1]



*Figure II.5 diagramme de la disponibilité*

Comme le montre la figure 1.6, la disponibilité est impactée par trois facteurs : la fiabilité, la maintenabilité et la logistique de maintenance. Il est facile de concevoir que plus la fiabilité et la maintenabilité sont élevées (respectivement, moins de défaillances et temps de réparation plus faibles), meilleure sera la disponibilité. Le terme « logistique de maintenance » désigne l'organisation autour du dispositif, souvent génératrice de temps annexes : attente de pièces de rechange, attente des techniciens de maintenance, temps nécessaire à la consignation de certaines installations avant l'intervention.

Ces temps annexes ne modifient pas la maintenabilité des dispositifs (il s'agit d'une caractéristique intrinsèque du matériel), mais s'ajoutent aux temps de réparation, ils diminuent donc la disponibilité.

- « ... à remplir ou en état de remplir une fonction, ... »

Le dispositif doit être opérationnel, c'est-à-dire soit en état de marche, soit prêt à fonctionner mais non utilisé.

En effet, un dispositif peut être disponible (opérationnel) sans être en état de fonctionnement : c'est le cas, par exemple, d'un équipement de production en attente de produits (matières

premières, articles de conditionnement. ... ). Par contre, le dispositif est indisponible lorsqu'il fait l'objet d'opération de maintenance nécessitant son arrêt. C'est pourquoi trop de maintenance préventive peut conduire à une diminution de la disponibilité.

- « ... à un instant donné ou dans un intervalle de temps donné ... »

La disponibilité est exprimée, dans tous les cas, par un pourcentage, mais il y a lieu de distinguer la disponibilité instantanée et la disponibilité stationnaire.

On parlera de disponibilité instantanée lorsque l'on s'intéresse à l'état d'un dispositif à un instant donné. La disponibilité instantanée est alors définie comme la probabilité que le dispositif soit opérationnel à cet instant donné.

On parlera de disponibilité stationnaire lorsque l'on s'intéresse à l'état « moyen » d'un dispositif dans un intervalle de temps donné. La disponibilité stationnaire est alors définie comme la proportion du temps durant lequel le dispositif reste opérationnel.

Dans une organisation en flux tendus (juste à temps), le dispositif doit être disponible à l'heure prévue pour le lancement du lot de fabrication. Il s'agit alors d'une préoccupation de disponibilité instantanée.

**II.2.9 Les types de la maintenance**

Il existe deux principales familles de maintenance que l'on peut repérer sur la figure 3 : la maintenance corrective et la maintenance préventive. La maintenance corrective est celle que le système subit lorsque la panne est déjà présente et qu'il faut réparer. La maintenance préventive est celle qui permet d'anticiper et de prévenir les défaillances

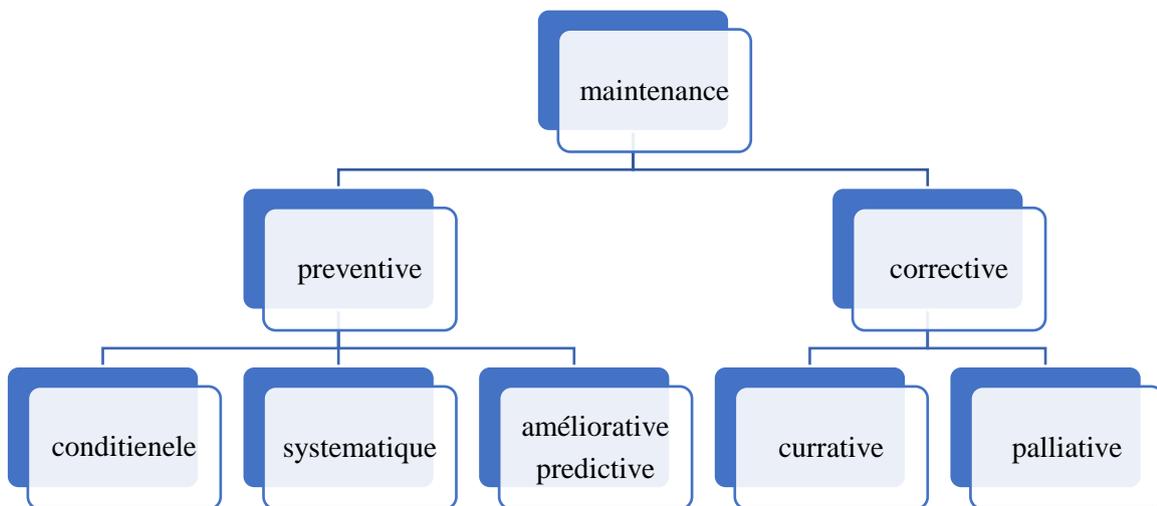


Figure II.6 Schématisation les modes de la maintenance

### II.2.9.1 Maintenance corrective.

« Maintenance exécutée après détection d'une panne et destinée à remettre un bien dans un état dans lequel il peut accomplir une fonction requise. »[1].

La maintenance corrective est souvent perçue comme la forme primaire de la maintenance car l'intervention a lieu « en urgence » une fois la défaillance survenue. Comme le montre la figure 4, la logique de cette politique de maintenance est assez simple : lorsqu'une machine est défectueuse, il faut la réparer, ce qui sous-entend que si elle fonctionne, on n'y « touche » pas.

Il existe deux types de maintenance corrective : la maintenance curative et la maintenance palliative.

- **Maintenance curative** : ce type de maintenance permet de remettre définitivement en état le système après l'apparition d'une défaillance. Elle se caractérise par la recherche des causes initiales d'une défaillance en vue de réparer l'équipement. Cette remise en état du système est une réparation durable.

- **Maintenance palliative** : opération destinée à remettre un équipement dans un état provisoire de fonctionnement de manière à ce qu'il puisse assurer une partie des fonctions requises. L'intervention a un caractère provisoire dans le sens où elle

L'objectif principal de la maintenance corrective est de remettre le système en état de fonctionnement dans un temps minimum (optimiser le temps d'indisponibilité après défaillance) tout en respectant les règles de sécurité.

### II.2.9.2 Maintenance préventive.

« Maintenance exécutée à des intervalles prédéterminés ou selon des critères prescrits et destinée à réduire la probabilité de défaillance ou la dégradation du fonctionnement d'un bien ». [1]

La maintenance préventive se fonde sur l'adage "*mieux vaut prévenir que guérir*", sur la connaissance des machines, la prise en compte des signes précurseurs et le réalisme économique. Comme le montre la figure 6, les visites préventives permettent de visualiser le niveau de performance d'un équipement en vue de prévoir une intervention préventive.

### II.2.9.3 La maintenance préventive systématique.

« Maintenance préventive exécutée à des intervalles de temps préétablis ou selon un nombre défini d'unités d'usage mais sans contrôle préalable de l'état du bien. »[1]

Cette méthode nécessite de connaître : le comportement des équipements, les usures et les modes de dégradation. Elle intervient à intervalles fixés sur la base du minimum de vie des composants, donné par l'expérience et/ou par le constructeur. C'est pourquoi ce type de maintenance est aussi appelé maintenance préventive fondée sur la durée de fonctionnement..

#### II.2.9.4 La maintenance préventive conditionnelle.

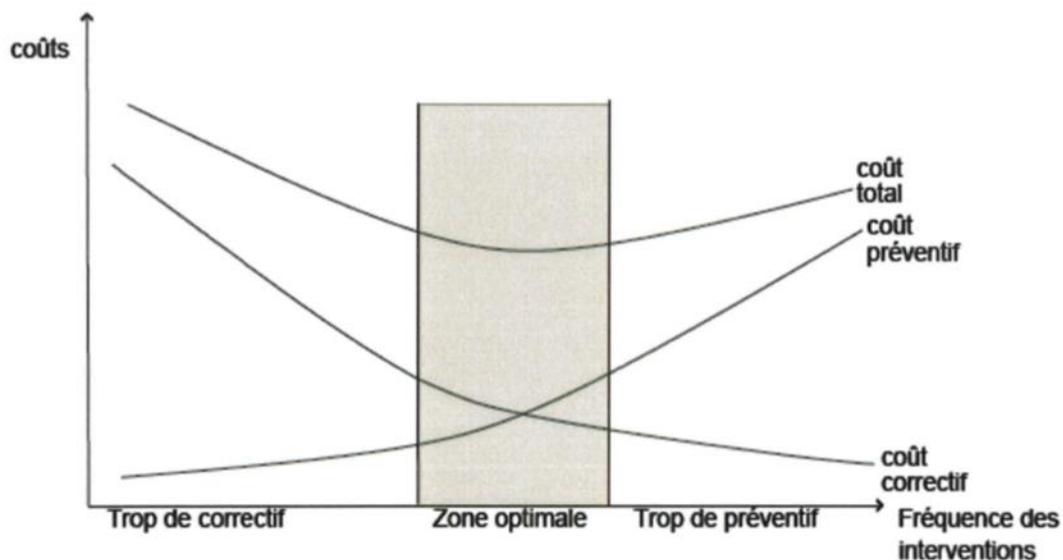
« Maintenance préventive basée sur une surveillance du fonctionnement du bien et/ou des paramètres significatifs de ce fonctionnement intégrant les actions qui en découlent. La surveillance du fonctionnement et des paramètres peut être exécutée selon un calendrier, ou à la demande, ou de façon continue. » [1]

#### II.2.9.5 La maintenance préventive prévisionnelle.

« Maintenance conditionnelle exécutée en suivant les prévisions extrapolées de l'analyse et de l'évaluation des paramètres significatifs de la dégradation du bien. » [1]

#### II.2.10 Caractéristique des activités de maintenance

Dans le milieu industriel, en général, une maintenance mixte est appliquée aux systèmes. En effet, la maintenance préventive est destinée à réduire la probabilité de défaillance, mais il subsiste une part de maintenance corrective incompressible. Il est donc nécessaire de considérer des stratégies qui combinent les deux : maintenance corrective et maintenance préventive. De plus l'optimisation de la maintenance consiste à trouver la balance optimale entre maintenance préventive et corrective tout en respectant les objectifs fixés. L'entreprise doit rechercher un compromis afin d'optimiser les relations entre les coûts de maintenance liés à l'investissement humain et matériel, et les pertes consécutives aux arrêts de la production.



*Figure II.7 Diagramme des intersections de différents types de maintenance*

L'illustration des effets de la fréquence des opérations de maintenance sur les coûts liés soit à la maintenance corrective, soit à la maintenance préventive. L'augmentation du nombre d'interventions sur le système permet de réduire les effets indésirables engendrés par une panne mais pénalise le fonctionnement du système. Il peut donc entraîner une augmentation du coût global d'exploitation du système dans la mesure où chaque opération de maintenance engendre un coût.

## II.3 Vibration

### II.3.1 Définition d'une vibration :

La norme ISO 2041 « Vibrations et chocs - Vocabulaire (Août 1990) » définit la notion de vibration : Variation avec le temps de l'intensité d'une grandeur caractéristique du Mouvement ou de la position d'un système mécanique, lorsque l'intensité est alternativement Plus grande et plus petite qu'une certaine valeur moyenne ou de référence. En fait, un corps Est dit en vibration lorsqu'il est animé d'un mouvement oscillatoire autour d'une position D'équilibre ou de référence. Les textes de normalisation AFNOR relatifs aux vibrations sont : NF E 90-001, NF E 90 002.

B-Caractéristiques d'une vibration :

Une vibration se caractérise principalement par sa **fréquence** et son **amplitude**.

La fréquence est le nombre de fois qu'un phénomène se répète en un temps donné. Lorsque L'unité de temps choisie est la seconde, la fréquence s'exprime en **hertz** [Hz]. 1 hertz = 1 cycle/seconde.

### II.3.2 Les unités

Amplitude : L'amplitude maximale par rapport au point d'équilibre appelée amplitude crête (**AC**) ou niveau crête. L'amplitude double, aussi appelée l'amplitude crête à crête (**Acc**) (*peak to peak*, en anglais) ou niveau crête-crête

L'amplitude efficace (**Aeff**), aussi appelée **RMS** (*Root Mean Square*) ou niveau efficace

**Vibrations harmoniques** : Si l'unité normalisée (unité SI) de la fréquence est le Hertz (Hz), beaucoup d'utilisateurs, notamment parmi les mécaniciens, préfèrent exprimer les valeurs en CPM (nombre de cycles par minute) ou encore en RPM (nombre de rotations ou révolutions par minute).

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

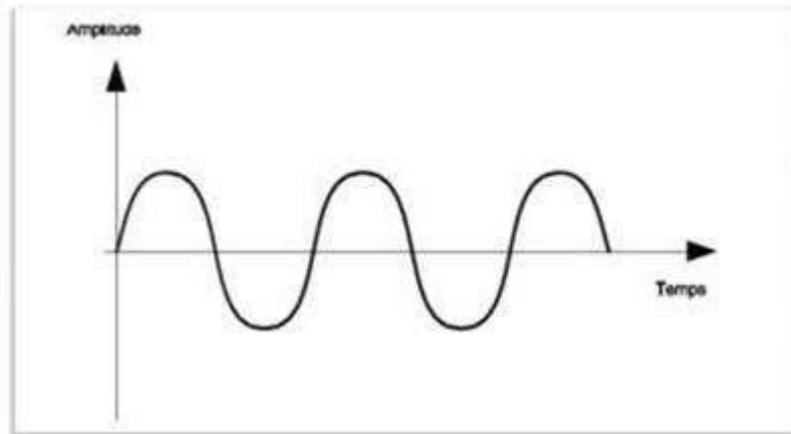
Notons que l'utilisation de RPM n'a pas de sens dans le cas de phénomènes de type aléatoire (cavitation d'une pompe ou défaut de lubrification d'un palier à roulement) et peut même être source de confusion (cas d'un défaut des courroies, où l'on ne sait plus s'il s'agit de la fréquence de rotation de la poulie menant, ou menée ou de la fréquence de passage des courroies). Il est intéressant parfois d'exprimer des phénomènes liés à la rotation en multiple ou ordre de cette fréquence. Cette formulation présente l'intérêt de lier le phénomène vibratoire à une fréquence de référence (souvent la fréquence de rotation de la ligne d'arbres qui l'induit) et de pouvoir suivre l'amplitude de ses harmoniques (harmonique = composante dont la fréquence est un multiple d'une fréquence donnée), ce qui est très intéressant dans le cas de la surveillance de comportement vibratoire d'installations à vitesse de rotation variable. On appelle amplitude d'une onde vibratoire la valeur de ses écarts par rapport au point D'équilibre et on peut définir :

### II.3.3 Différentes formes de vibration :

#### II.3.3.1 Une vibration harmonique

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

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



*Figure II.8 Vibrations Harmoniques*

$$X(t) = X \sin (\omega t + \varphi) \text{ Équation 1}$$

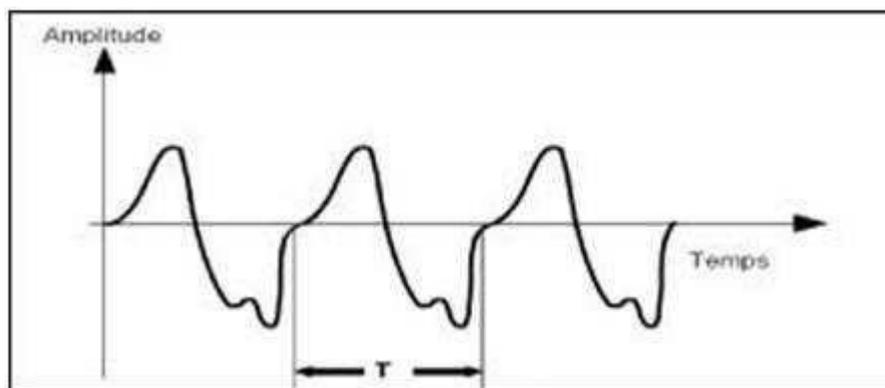
$\omega$  = vitesse angulaire ou pulsation du mouvement ( $2\pi f$ )

$f$  = fréquence du mouvement

$\varphi$  = phase du mouvement par rapport à un repère dans le temps

### II.3.3.2 Vibrations périodiques :

Une vibration périodique est telle qu'elle se reproduit exactement après un certain temps appelé période. Une telle vibration est créée par une excitation elle-même périodique. C'est le cas le plus fréquent rencontré sur les machines



*Figure II.9 Vibrations périodiques*

$$X(t) = \sum_1^n [sn(\omega t + \varphi)] \text{ Équation 2}$$

### II.3.3.3 Vibrations apériodiques :

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

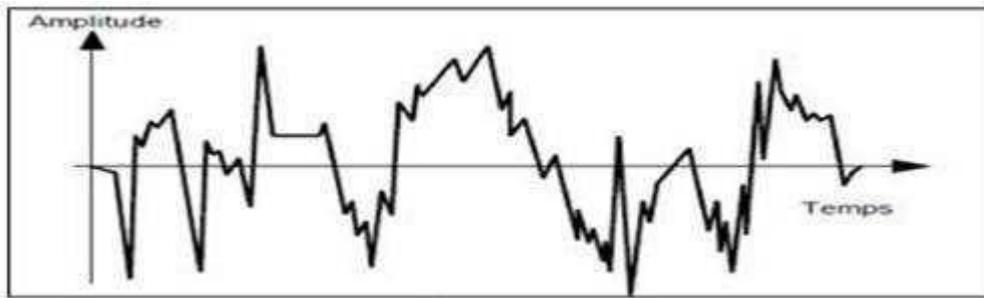


Figure II.10 Vibrations aperiodes

$$X(t) = \sum_1^{\infty} [sn(\omega t + \varphi)] \text{Équation 3}$$

### II.3.4 Analyse structurelle :

#### II.3.4.1 Test de vibration :

En fonction sérié fourrier en peut décomposée signaux périodiques et les signaux aperiodeque à sous

Signaux harmoniques pour résoudre l'équation de mouvement.

D-Application des vibrations :

Les vibrations sont mesurées à des fins très diverses. En général, toute vibration non contrôlée est un phénomène indésirable qui augmente le bruit ou cause des défaillances mécaniques prématurées.

Quatre grands domaines de mesure vibratoire peuvent définis.

Il s'agit d'une méthode expérimentale performante se basant sur les mesures des vibrations pour déterminer le comportement dynamique d'une structure, allant des petites pales de turbine aux grands ponts. En utilisant un capteur de force et un accéléromètre, le signal d'excitation et la réponse vibratoire de la structure sont mesurés simultanément à l'aide d'un analyseur bi canal ou multivoie.

Pour valider la tenue réelle d'un produit à l'environnement et donc sa conception, le test de vibration est pratiqué en soumettant une structure (une caisse automobile par exemple) à de hauts niveaux vibratoires avec un excitateur vibratoire. Le niveau de vibrations est maintenu constant dans des gammes de fréquence définies. Les informations sur la réponse fréquentielle de la structure sont obtenues.

**II.4 Conclusion :**

L'étude de la partie maintenance nous a permis d'apercevoir des généralités sur les activités de cette fonction. Nous avons pu avoir un aperçu général des points clés du domaine, de se familiariser avec le langage spécifique et de comprendre mieux la logique des tâches à attribuer au service maintenance. En plus des appointements théoriques, nous avons pu développer un plan de maintenance préventive pour la machine dont on a développé nos connaissances théoriques.

### III. Les principaux défauts dans les machines tournantes

#### III.1 Introduction

Les défauts vibratoires des machines tournantes sont tellement complexes, qu'il est très difficile de faire un diagnostic sans connaître les symptômes vibratoires associés à chaque défaut (images vibratoires induites par ces défauts). Ainsi, pour maîtriser les pannes, il faut savoir les identifier et mesurer leur incidence. IL convient ensuite de les analyser et rechercher sur un effet constaté, la cause initiale d'une défaillance.

#### III.2 Reconnaissance des principales anomalies

*Tableau III-1 Reconnaissance des Défauts*

Type d'anomalie	Vibration		Remarques
	Fréquence	Direction	
Tourbillon d'huile	De 0.42 à 0.48 $f_{rot}$	Radiale	Uniquement sur paliers lisses Hydrodynamique à grande vitesse
Balourd	$1 f_{rot}$	Radiale	Amplitude proportionnelle à la vitesse de rotation. Déphasage de 90° sur 2 mesures orthogonales
Défaut de fixation	1, 2, 3,4 $f_{rot}$	Radiale	Aucun déphasage sur 2 mesures orthogonales
Défaut d'alignement	$2 f_{rot}$	Axiale et radiale	Vibration axiale est en général plus importante si le défaut d'alignement comporte un écart angulaire
Excitation électrique	1, 2, 3,4 50 Hz	Axiale et radiale	Vibration disparaît dès coupure de l'alimentation
Vitesse critique de rotation	Fréquence critique du rotor	Radiale	Vibration apparaît en régime transitoire et s'atténue ensuite
Courroie en mauvais état	1, 2, 3,4 $f_p$	Radiale	

Excitation hydrodynamique	Fréquence de passage des aubes	Radiale et axiale	
Détérioration de roulement	Hautes fréquences	Radiale et axiale	Ondes de choc dues aux écaillages. Aide possible par « détection d'enveloppe »

$f_{rot}$  = fréquence de rotation.

$f_p$  = fréquence de passage de la courroie.

**III.3 Défauts dans les machines tournantes :**

**III.3.1 Déséquilibre - Défaut de balourd [4] :**

Le problème le plus souvent rencontré dans le domaine de fabrication des rotors des machines tournantes, est qu'on ne peut obtenir une concentricité parfaite des centres de gravité de chaque élément constitutif du rotor. Car des erreurs inévitables peuvent se produire lors de l'usinage, l'assemblage et du montage de ce dernier.

La conséquence de ce phénomène, est l'apparition de forces centrifuges qui déforment le rotor. Ainsi qu'il induit une altération mécanique et thermique.

**III.3.1.1 Différents types de balourd**

**III.3.1.1.1 Balourd statique :**

Dans le cas de balourd statique les deux paliers supportant le rotor vont subir en même temps l'effort centrifuge du au des déséquilibres. Il n'y aura donc aucun déphasage entre les mesures prises au même point, sur les deux paliers

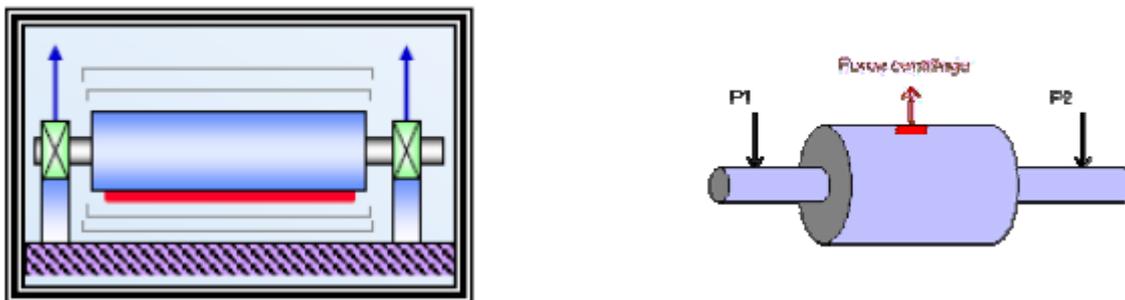


Figure III.1 balourd statique

**III.3.1.1.2 Balourd de couple :**

Dans le cas de balourd de couple les deux paliers supportant le rotor vont subir les efforts centrifuges de façon alternée.

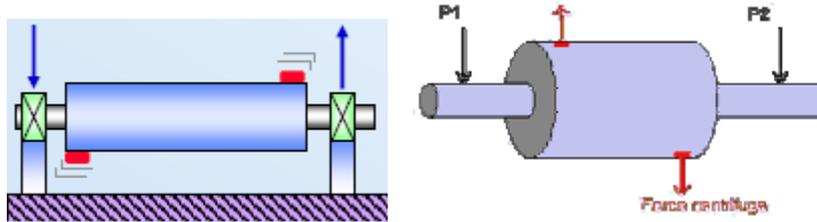


Figure III.2 balourd de couple

**III.3.1.1.3 Balourd dynamique :**

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

**III.3.1.2 Représentation spectrale d'un balourd :**

Pour toute machine, il existe donc un déséquilibre résiduel (normal ou anormal) qui va se traduire sur le spectre vibratoire par la présence d'une composante d'amplitude prépondérante à la fréquence de rotation de rotor.

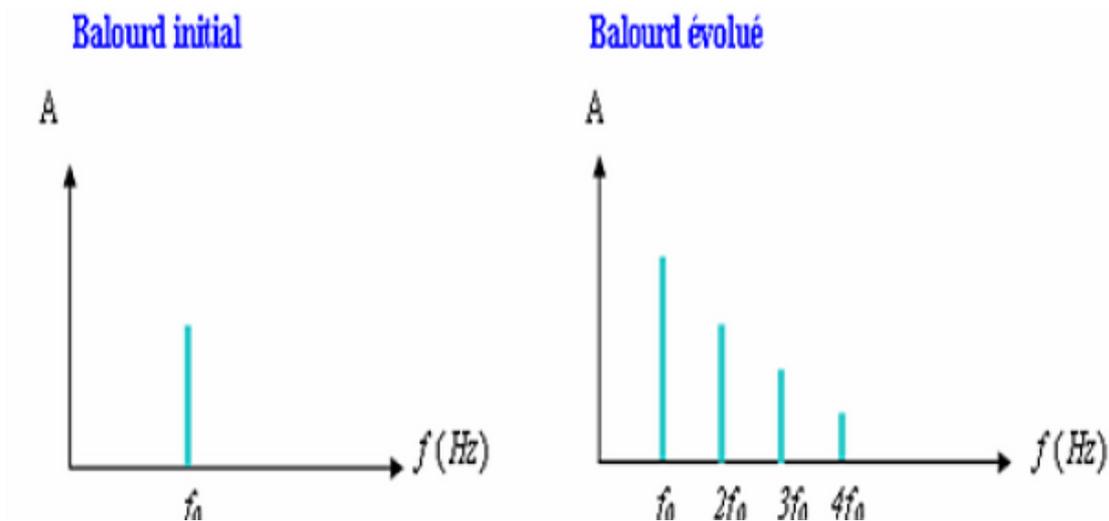


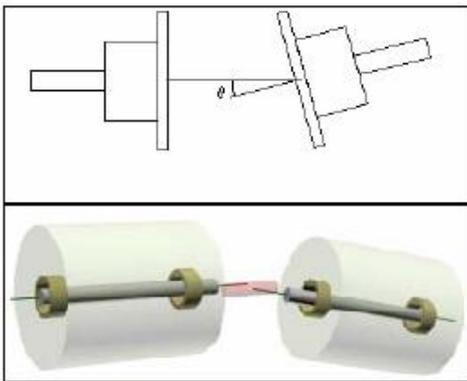
Figure III.3 Représentation spectrale d'un balourd

**III.3.2 Défaut d'alignement - flexion du rotor**

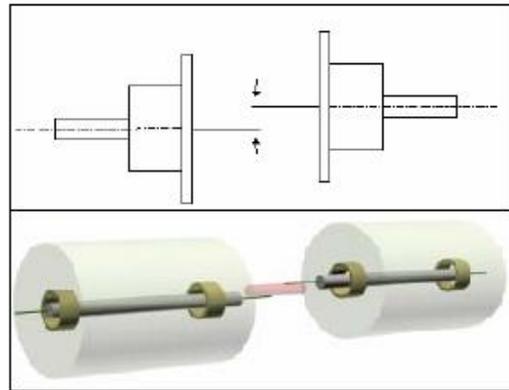
Parmi les principales causes de détérioration des machines on peut citer le défaut d'alignement, car il engendre des efforts importants au niveau des paliers et des accouplements.

**III.3.2.1 Les types de défauts d'alignements**

Deux types de défauts d'alignements sont donc rencontrés : L'alignement angulaire et L'alignement parallèle



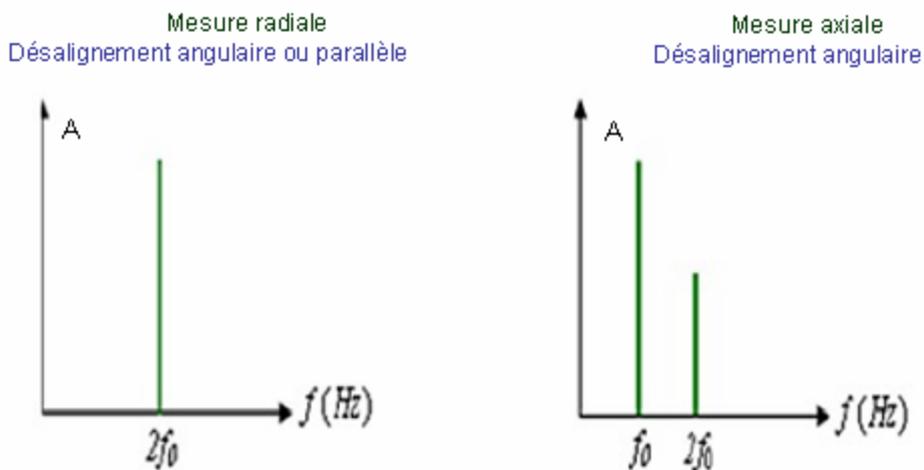
**Délignage angulaire**



**Délignage parallèle**

*Figure III.4 défauts d'alignements*

Représentation spectrale :



*Figure III.5 Représentation spectrale*

### III.3.3 Défaut de paliers lisses [5]

Dans un palier hydrodynamique, l'arbre est porté par un film d'huile sous pression. Sous l'effet de la rotation, l'axe de l'arbre prend une position d'équilibre. Par rapport à l'axe du palier, cette position est définie d'une part, par la distance entre les axes (de l'arbre et de palier) et d'autre part, par l'angle d'attitude (angle formé par la droite qui relie les centres et par la direction de la charge).

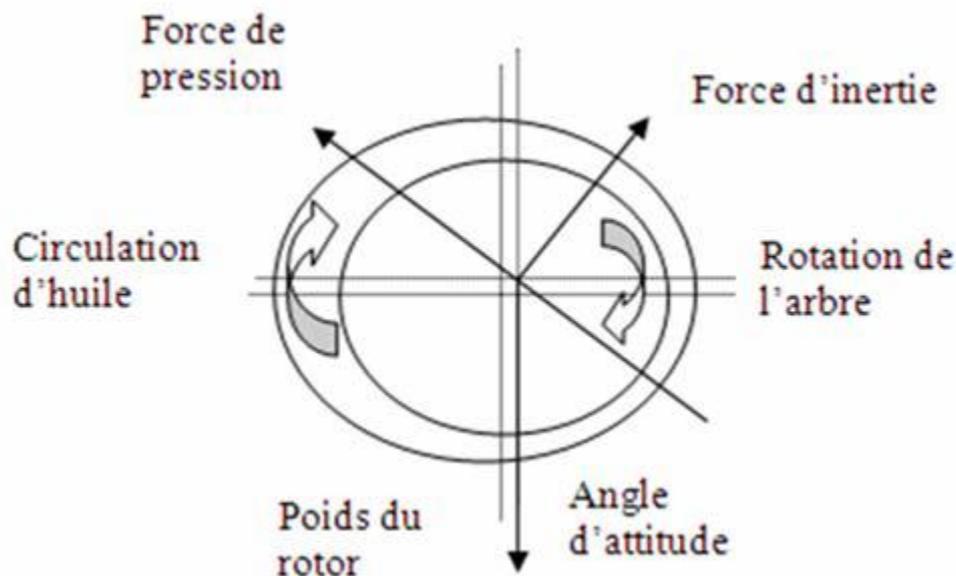
La position d'équilibre est donnée par :

Le poids du rotor.

La force liée à la pression et des caractéristiques de l'huile.

La charge de la machine.

La vitesse de rotation.



*Figure III.6 Défaut de paliers lisses*

Il s'agit des défauts de type :

#### III.3.3.1 Tourbillon d'huile

Se produisant à une fréquence dépendante de la vitesse de l'huile dans le palier, de 0.42 à 0.48 fois la fréquence de rotation de l'arbre.

#### III.3.3.2 Fouettement d'huile

Lorsque la fréquence de précession dépendante de la vitesse de l'huile (0.42 à 0.48 fois la fréquence de rotation) coïncide ou est supérieure à la fréquence critique de l'arbre. Ce dernier défaut, extrêmement grave peut entraîner des dégradations rapides et catastrophiques pour la machine.

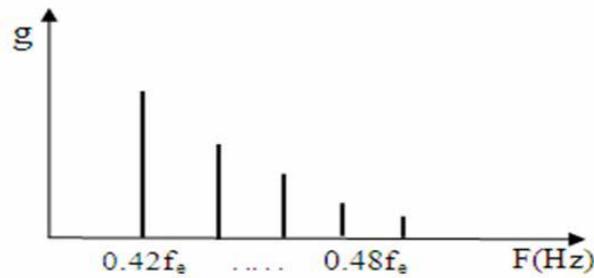


Figure III.7 Image vibratoire d'un fouettement d'huile

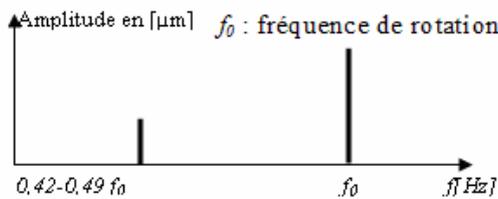


Figure III.8 Image vibratoire d'un tourbillon d'huile

### III.3.4 Défauts spécifiques aux turbines

Ces défauts sont de trois types :

- Défaut lié à la fréquence de passage des aubes ;
- Défauts liés au phénomène de turbulence ;
- Défauts liés au phénomène de cavitation.

#### III.3.4.1 Défaut lié à la fréquence de passage des aubes [6]

La fréquence de passage des aubes est définie par :  $f_a = f_0 N_a$

Avec :  $f_0$  : fréquence de rotation du rotor ;

$N_a$  : nombre d'aubes de la machine.

On observe une amplitude trop importante à la fréquence de passage des aubes et de ses harmoniques si :

- L'entrefer entre les aubes en rotation et les aubes du diffuseur n'est pas constant ;
- $f_a$  coïncide avec une fréquence propre de la structure ;
- Des aubes se sont légèrement décalées sur leur support ou si elles n'ont pas l'orientation voulue ;
- Des aubes de la turbine ou du diffuseur sont corrodées ou fissurées ;
- Le flux est perturbé par une déformation ou obstruction de conduite

### III.3.4.2 Défaut lié au phénomène de turbulence [6]

Des structures apparaissent lorsqu'il y a de pression ou de vitesse du gaz ou de l'air passant à travers une turbine. Ces turbulences génèrent une vibration de type aléatoire de fréquence comprise entre 1 et 50 Hz.

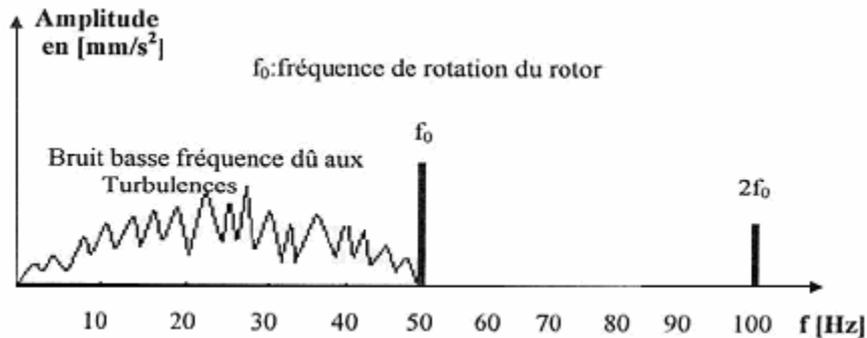


Figure III.9 Image vibratoire du phénomène de turbulence

### III.3.4.3 Défaut lié au phénomène de cavitation [6]

Le phénomène de la cavitation présente dans les écoulements de liquide par la formation de petites bulles d'air dues à une baisse de pression trop brusque. La cavitation a un bruit caractéristique : on entend une série de chocs comme si des pierres passaient à travers la turbine, la cavitation provoque à long terme une érosion sur les aubes des turbines.

Sur le spectre, la cavitation présente un bruit de large bande parfois superposée à la fréquence de passage des aubes pouvant s'étaler de 2 000 à 10 000 Hz

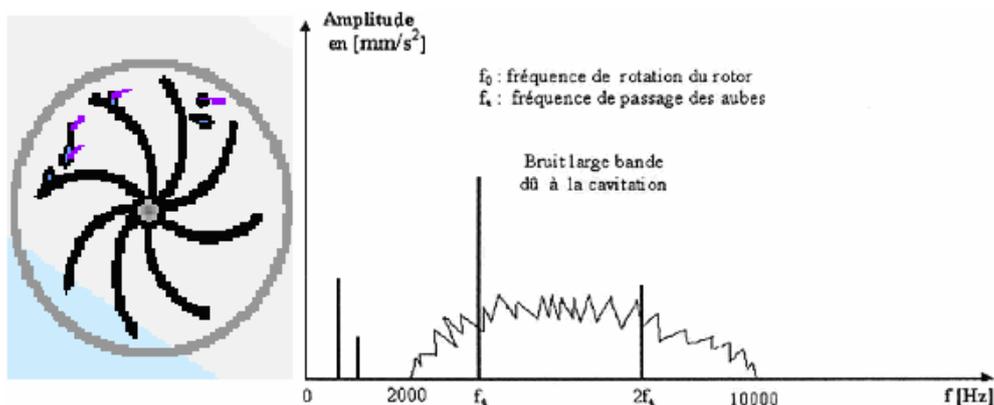


Figure III.10 Défaut et image vibratoire du phénomène de cavitation

III.3.5 Défauts de transmission par courroies

Le principal défaut rencontré sur ce type de transmission est lié à une détérioration localisée d'une courroie (partie arrachée, défaut de jointure, ...) impliquant un effort ou un choc particulier à la fréquence de passage de ce défaut ( $f_c$ ) telle que

$$f_c = \left( \frac{\pi d}{L} \right) \times f_{rot}$$

Avec : L : la longueur de la courroie.

$f_{rot}$  : la fréquence de rotation de la poulie de diamètre d.

$f_c$  : la fréquence de passage de la courroie (au glissement près).

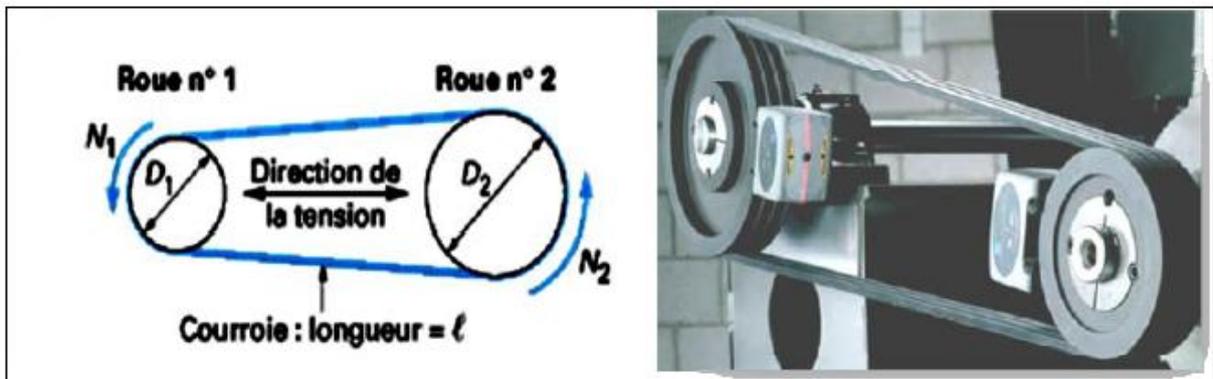


Figure III.11 transmission par courroies

Représentation spectrale :

L'image vibratoire donne donc un pic d'amplitude importante à la fréquence de passage des courroies, ou ses harmoniques

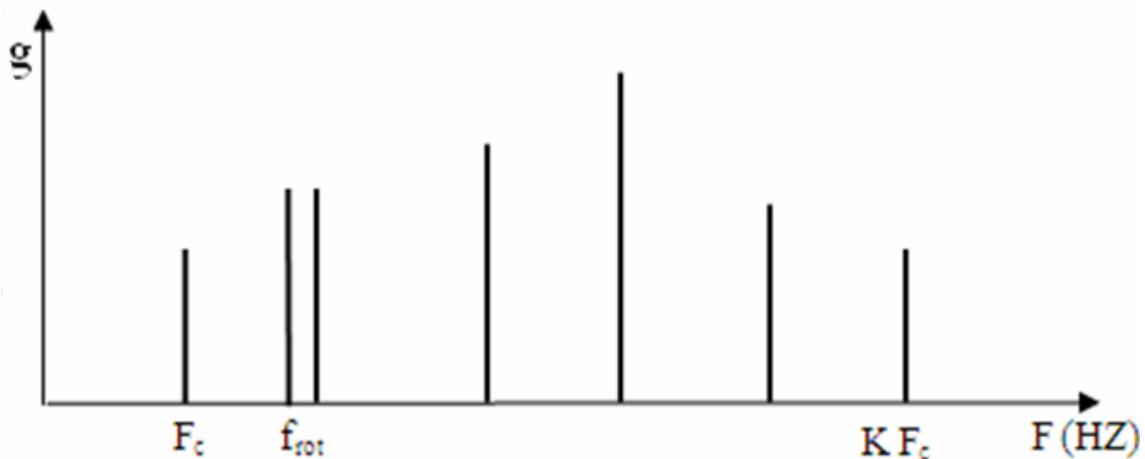


Figure III.12 L'image vibratoire d'un défaut d'alignement d'une courroie

III.3.6 Défauts des roulements

Les roulements son une des parties les plus sollicitées des machines et une cause de panne fréquente. Le tableau suivant représente les défauts des roulements

Tableau III-2 les cause et conséquences des Défauts des roulements

Les cause	Les conséquences
Défauts de lubrification	Usure adhésive grippage
Chocs et sur charges	Déformations rupture
Phénomènes de corrosion	Corrosion de contact
Pénétrations des particules dures	Abrasion

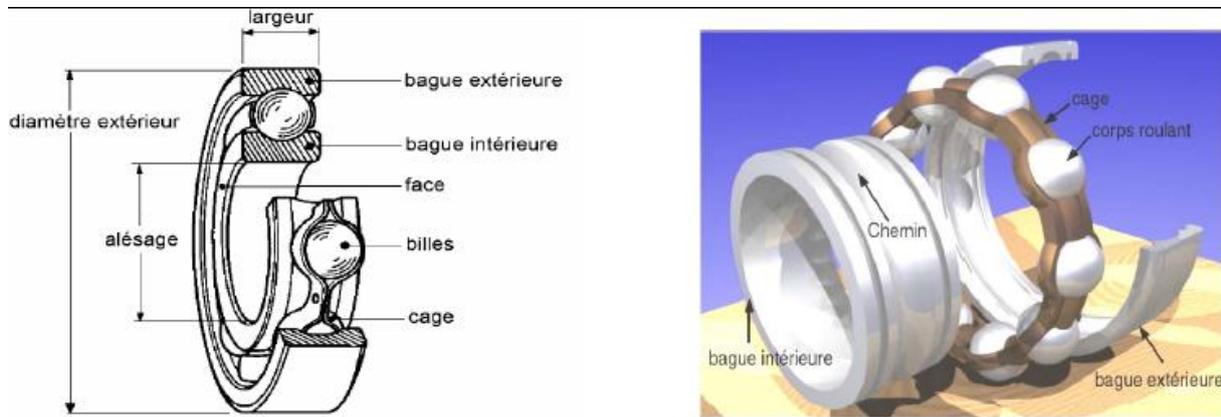


Figure III.13Eléments composant un roulement à billes

III.4 Conclusion

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

### IV. PARTIE EXPEREMENTAL

#### IV.1 Processus de Suivi par le système OFF LINE [7] :

Ce système consiste en la définition des éléments suivants :

- **Paramètres de fonctionnement** : de chaque équipement contient au moins un paramètre vitesse de rotation. Ce paramètre peut être fixe ou variable.

Il est utilisé par les traitements d'extraction de pic pour extraire les amplitudes liées à la cinématique de la machine.

- **Points de mesure** : point géographique sur l'équipement où sont collectées physiquement les mesures vibratoires.

- **Lieux de surveillance** : zone géographique sur l'équipement regroupant plusieurs points de mesure et permettant d'associer un ensemble de références roulement à un ensemble de points de mesure. Ces références de chaque équipement sont ensuite exploitées lors du dépouillement des données.

- **Signaux** : Pour chaque point de mesure, les signaux définissent les données de type vectoriel (ex : une courbe) nécessaires pour surveiller l'équipement. A chaque signal correspond un traitement particulier (spectre, enveloppe, zoom et temporel ...) indiquant le mode d'obtention du signal.

- **Paramètres de surveillances** : Pour chaque point de mesure, les paramètres définissent les données de type scalaire (ex : un niveau global) nécessaires pour surveiller l'équipement. A chaque paramètre correspond un traitement particulier (Niveau global, extraction de pic, niveau d'énergie, Kurtosis, ...) indiquant le mode d'obtention du paramètre. Certains paramètres dits « hard » sont issus d'une acquisition ; ce sont les niveaux globaux. Les autres, dits « softs », sont obtenus par post-traitement des signaux hard et/ou soft.

- **Alarme** : Afin de surveiller l'évolution d'un paramètre au fil des contrôles (valeurs mesurées ou calculées), des critères d'alarme peuvent être associés à chaque paramètre.

L'état d'alarme du paramètre ainsi obtenu est utilisé pour déterminer l'état d'alarme du point de mesure, qui lui-même est utilisé pour déterminer l'état d'alarme de l'équipement, paramètres et état d'alarme sont ainsi élaborés et permettent d'établir l'état de santé courant de chaque équipement.

##### IV.1.1 Mise en œuvre de Suivi du groupe turboalternateur par le système OFF LINE [8]:

Les mesures sont effectuées à des intervalles de temps régulier (périodiquement) par

Un technicien qui utilise des collecteurs de données manuelle de plus en plus fréquemment Informatise.

Permet à un opérateur et l'Archivage dans la base de données pour un grand nombre de Machine en un minimum de temps avec un faible coût puisque l'investissement en capteurs est réduit (un seul capteur portatif est suffisant),

Les vibrations sont transférées par un collecteur de données sur une carte, Les informations recueillies sont en suite transférées sur microordinateur par un logiciel qui fait un traduit les données sous forme des signaux, permettant ainsi au responsable de la maintenance de les stocker et de les analyses et traites avec la norme ISO qui fait le seuil de jugement ces vibration sont bon, admissible, encore admissible, inadmissible.

#### IV.2 But de travail

## Chapitre IV Étude expérimentale

Le but de ce travail est de faire une analyse vibratoire (surveillance et diagnostic) pour étudier les phénomènes vibratoires apparus le groupe turboalternateur

### IV.3 Matériel utilisé

#### Capteur des vibrations :

Capteur à électronique intégrée alimentée par courant constant (4 mA) : accéléromètre AS-065, marteau de choc, anneau de force,

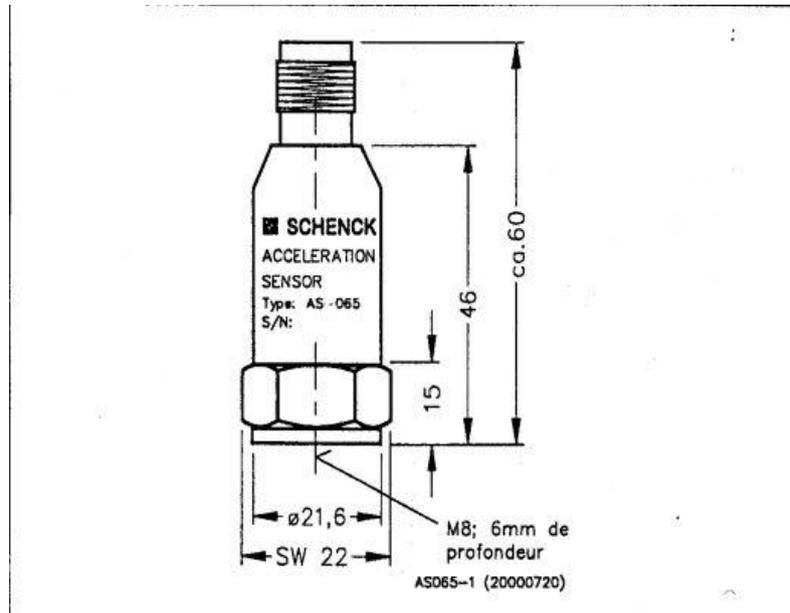


Figure IV.1 Accéléromètre AS-065

#### Caractéristiques techniques

Marque : ONE PROD

Type: AS - 065

Principe : Piézo-électrique avec amplificateur de charge intégré

Mode de fixation : Vissage, Aimant ou Point de touche

Facteur de transmission : 100 mV/g ou 10.2 mV/m/s<sup>2</sup>

Plage de fréquence : 3.10 000 Hz ( $\pm 0.5$  dB) - 1.15 000 Hz ( $\pm 3$  dB)

Fréquence propre : 35 kHz

Plage de température : -50 ... +120 °C

#### IV.3.1 Analyseur MVP-2C :

Le MVP-2C est un appareil d'acquisition pratique destiné à faire : des mesures globales de vibrations, de paramètre de procédé, de signaux temporels et des spectres

C'est un collecteur de données portable. Il permet la collecte des données vibratoire qui seront transférés dans un micro-ordinateur par l'intermédiaire liaison RS232 ou USB

#### Caractéristiques techniques

Marque : ONE PROD

Type : firmware MVP-2C

#### Modes de fonctionnement :

- Mode Analyseur de spectre
- Fonction enregistreur (Temps)

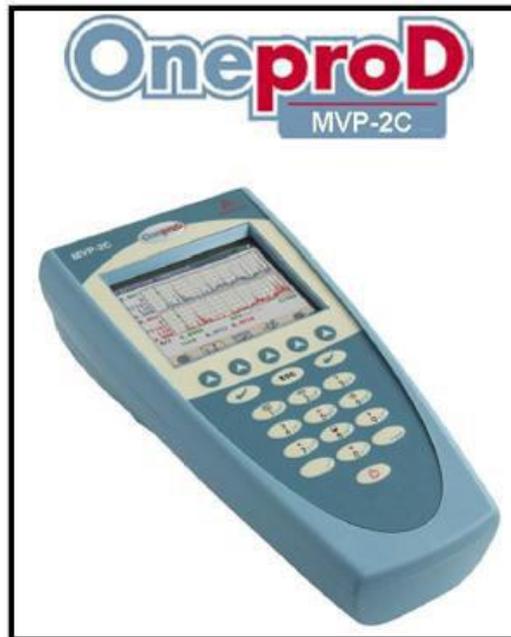
## Chapitre IV Étude expérimentale

---

- Mode collecteur de données

**Capacité limitation des routes gérées par MVP-2C :** jusqu'à 50 sites par route

- jusqu'à 50 groupes machine par site
- jusqu'à 50 machines par groupe
- jusqu'à 50 points par machine
- jusqu'à 20 mesures par point
- mémoire maximum d'une route est 32 MO
- La mémoire rapide permettant d'acquérir jusqu'à 512K échantillons



*Figure IV.2 Analyseur MVP-2C*

**Logiciel de diagnostic et d'analyse :** OneProd XPR-300.

OneProdXPR-300 est un système d'information de maintenance conditionnelle dernière génération multi-techniques permettant l'acquisition de mesures vibratoires, process, huiles ou thermographiques afin d'identifier ou de prévoir l'apparition de problèmes sur une grande variété de machines tournantes industrielles. Il dispose d'un module d'autodiagnostic basé sur l'élaboration d'alarmes (OK, ALARME, DANGER) suite à l'élaboration de plusieurs paramètres.

Chaque paramètre informant sur l'état global de santé de l'équipement obtenu par un contrôle, assiste l'exploitant dans un diagnostic final.

**Les objectifs d'un tel logiciel sont :**

- éviter les casses matérielles non prévues.
- planifier les arrêts.
- diminuer les coûts de maintenance et de réparation.

**Fiche technique de OneProd XPR-300 [9] :**

## Chapitre IV Étude expérimentale

<b>XPR-300™ DESKTOP</b>		
	<b>OFF-LINE</b>	<b>ON-LINE <sup>(7)</sup></b>
<b>Matériel</b>		
Processeur	Intel® Core 2 Duo (2.66 GHz ou sup.)	
Mémoire vive (RAM)	2 Go	
Disque dur	SATA (7200 tr/min) avec au minimum 160 Go d'espace libre	
Ecran	1280 x 1024	1600 x 1200
Carte graphique	Carte vidéo 64 Mo – 32 bits TrueColor ou sup.	
Ports de communication	1 parallèle ou USB (clé Sentinel) + 1 série ou USB (Collecteur)	
Réseau	Ethernet 100 Mb/s ou 1 Gb/s <sup>(11)</sup>	
Lecteur/Graveur DVD	Requis pour l'installation et recommandé pour les sauvegardes	
<b>Logiciels</b>		
Applications	Oracle Developer 6i Runtimes <sup>(2)</sup> , Oracle Business Intelligence Publisher <sup>(14)</sup> , Acrobat Reader <sup>(4)</sup> , Internet Explorer <sup>(5)</sup>	
		.NET Framework <sup>(6)</sup> , IIS <sup>(9)</sup>
Base de données	Oracle Database Personal Edition <sup>(3)</sup>	
Notifications	SMS <sup>(10)</sup> , eMail <sup>(11)</sup>	
Système d'exploitation	Windows XP Professional <sup>(8)</sup> Service Pack 2	
Internationalisation	Anglais, Chinois simplifié, Chinois traditionnel, Coréen, Français, Portugais, Russe	

Figure IV.3 Fiche technique de OneProd XPR-300.

### IV.4 Manipulation :

- **Les points de mesures**

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

On essaie de rapprocher le plus possible les points de mesures 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 absolus et un capteur relatif ;
- Palier après **HP** et avant **MP** : deux capteurs absolus et un capteur relatif ;
- Paliers après **MP** et avant **BP** : deux capteurs absolus et un capteur relatif ;
- Entre le corps BP et l'alternateur, on a deux paliers, tels que chaque palier comporte

Deux capteurs absolus et un capteur relatif ;

- Palier après l'alternateur et avant l'excitatrice : deux capteurs absolus et un capteur

Relatif

- Palier entre les excitatrices : deux capteurs absolus et un capteur relatif.

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 (OneproDV6.1.3 du firmware MVP-2C).

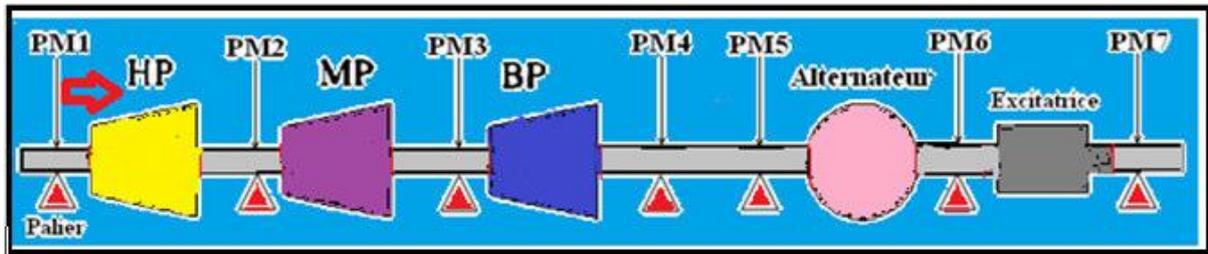


Figure IV.4 Les points de mesures.

- Les mesures sont faites à l'aide de (OneproDV6.1.3 du firmware MVP-2C).
- Les mesures sont faites sur trois positions : axiale, horizontale et verticale (voir la figure IV.5).
- Le traitement de ces signaux se fait à l'aide d'un logiciel s'appelle OneProd XPR-300.

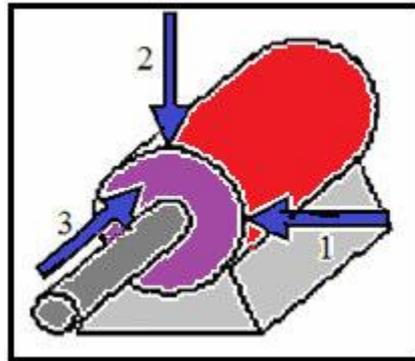


Figure IV.5 Les trois positions de mesures.

### IV.5 Résultats de mesure :

#### IV.5.1 Représentation spectrale (fréquentielle) :

Calcul de la fréquence de rotation du rotor du groupe turboalternateur

$$\omega = 2 \cdot \pi f_0 \text{ Équation 4}$$

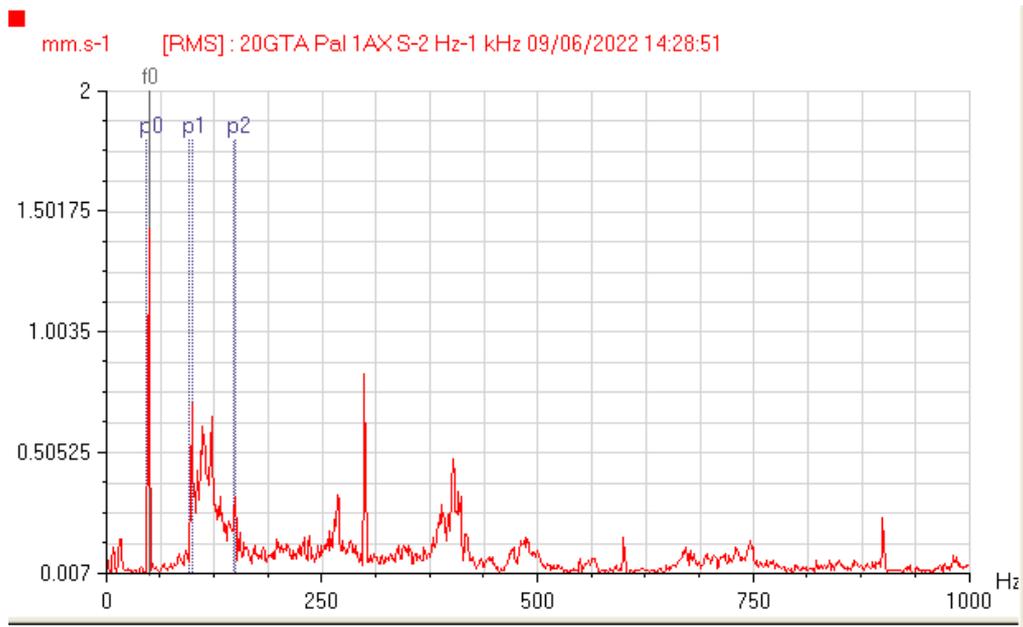
$$f_0 = \frac{\omega}{2 \cdot \pi} \text{ Équation 5}$$

$$\omega = \frac{2 \cdot \pi N}{60} f_0 = \frac{\omega}{60}$$

Donnée :  $N = 3000 \text{ tr/min}$

$$\text{Application : } f_0 = \frac{3000}{60} = 50 \text{ Hz}$$

Signaux de palier 1 :



*Figure IV.6 Spectre de palier 1 Direction axiale*

### Analyse des résultats pour le palier 1 :

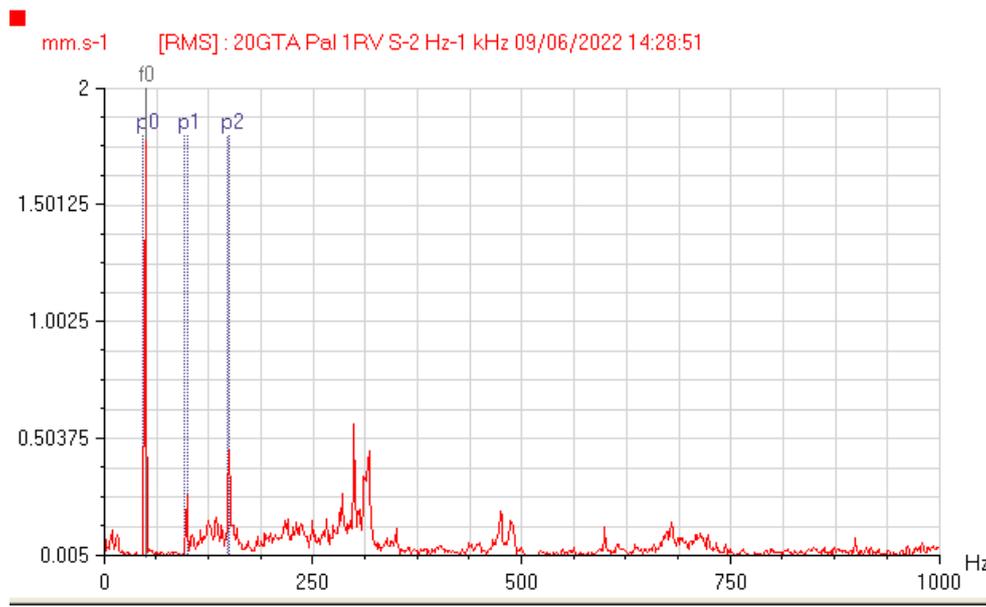
On remarque que le spectre représente un défaut de balourd mais ne dépasse pas la zone de l'alerte car les amplitudes des pics ne dépassent pas le seuil 18 mm/s, donc la machine à l'état de bon fonctionnement



*Figure IV.7 Spectre de palier 1 Direction horizontale*

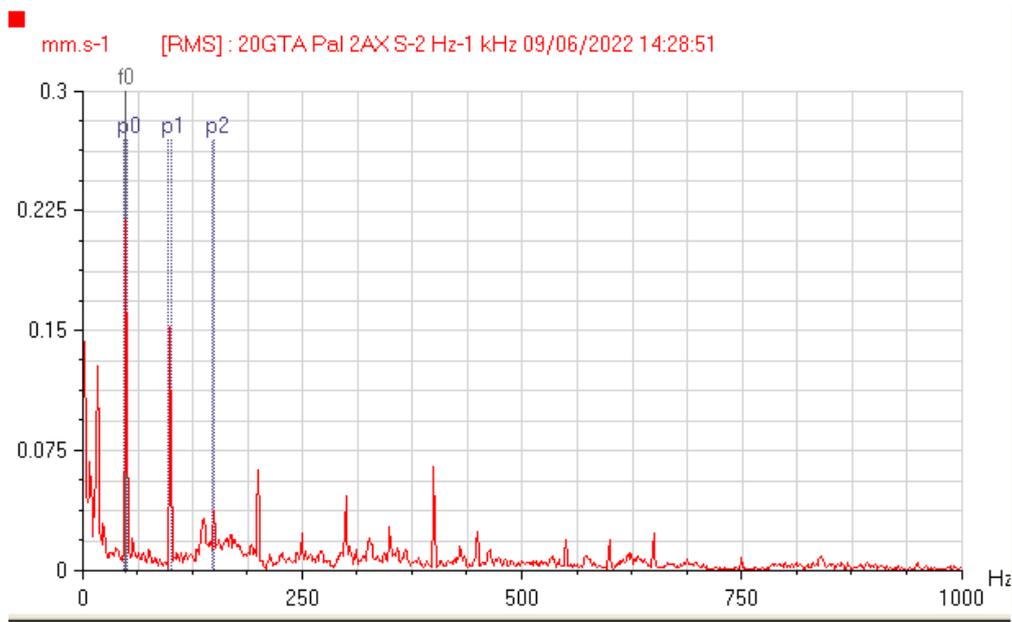
### Analyse des résultats pour le palier 2 :

Nous remarquons que le problème de balourd mais ne dépasse pas la zone de l'alerte car les amplitudes des pics ne dépassent pas le seuil 18 mm/s.



*Figure IV.8 Spectre de palier 1 Direction verticale.*

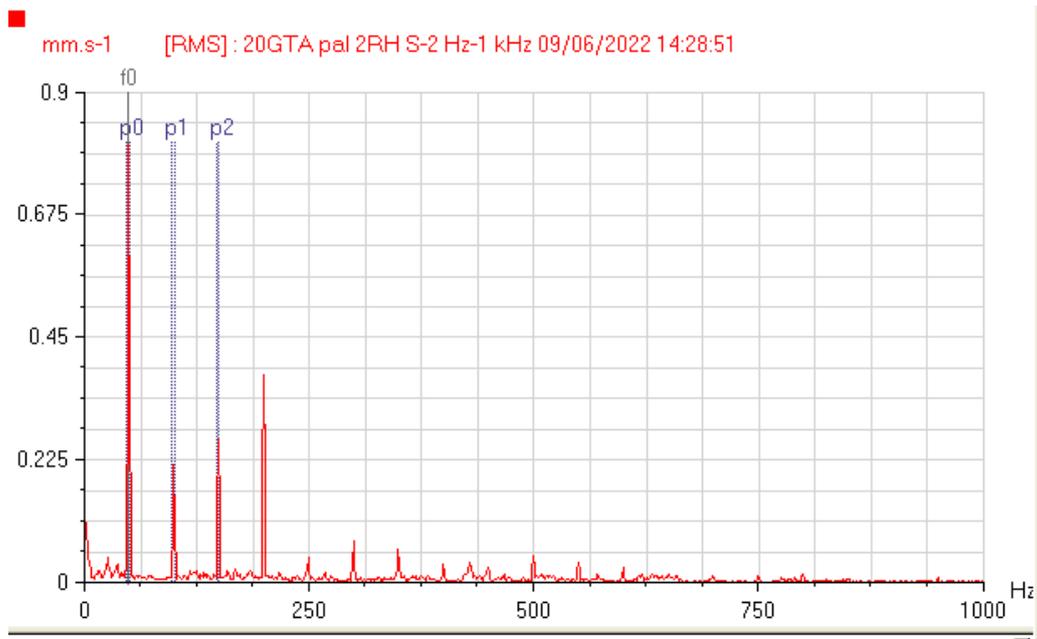
**Analyse des résultats pour le palier 1 :** nous remarquons que le problème de balourd se développe mais ne dépasse pas la zone de l'alerte car les amplitudes des pics ne dépassent pas le seuil 18 mm/s.



*Figure IV.9 Spectre de palier 2 Direction axiale*

**Analyse des résultats pour le palier 2 :**

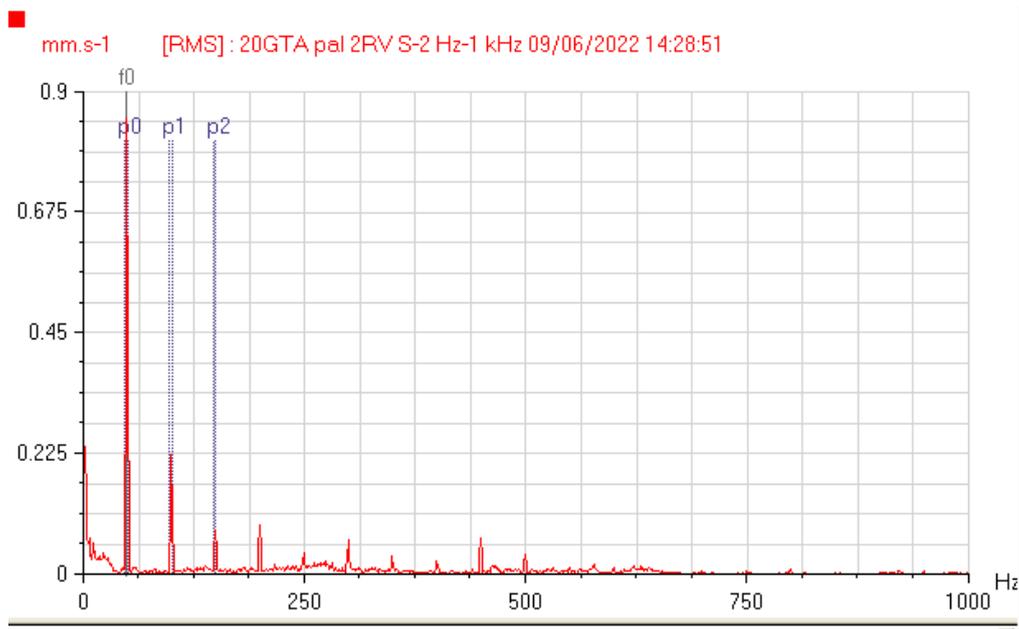
Nous remarquons que le problème de balourd n'approche pas à la zone d'alerte car les amplitudes des pics sont inférieures au seuil 18 mm/s.



*Figure IV.10 Spectre de palier2 Direction horizontale*

### Analyse des résultats pour le palier 2 :

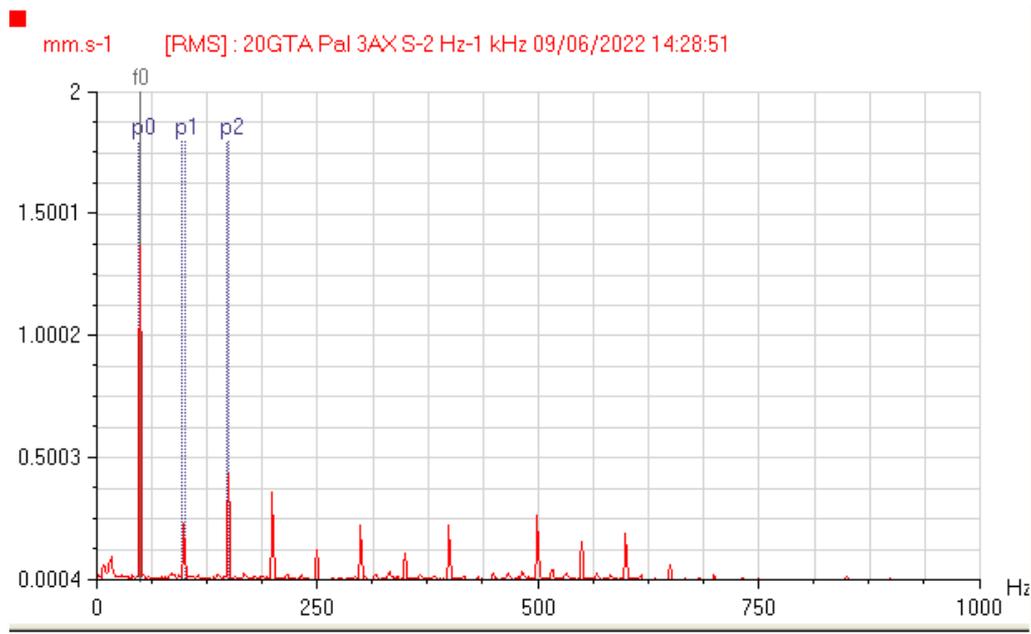
Nous remarquons que le problème de balourd n'approche pas à la zone d'alerte car les amplitudes des pics sont inférieures de seuil 18 mm/s.



*Figure IV.11 Spectre de palier2 Direction verticale.*

### Analyse des résultats pour le palier 2 :

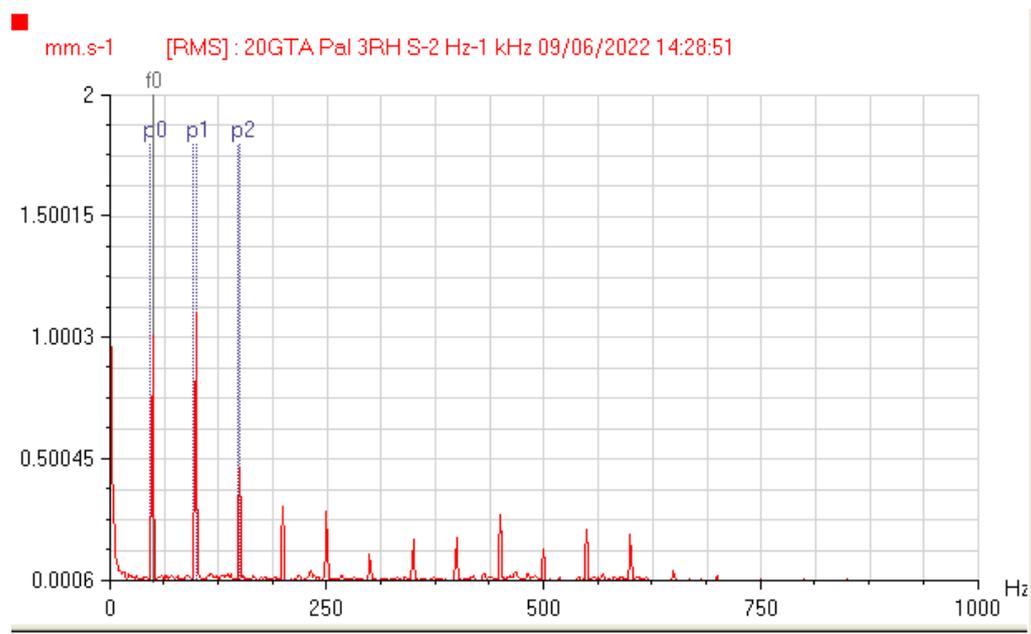
Nous remarquons que le problème de balourd n'approche pas à la zone d'alerte car les amplitudes des pics sont inférieures de seuil 18 mm/s.



*Figure IV.12 Spectre de palier 3 Direction axiale*

### Analyse des résultats pour le palier 3 :

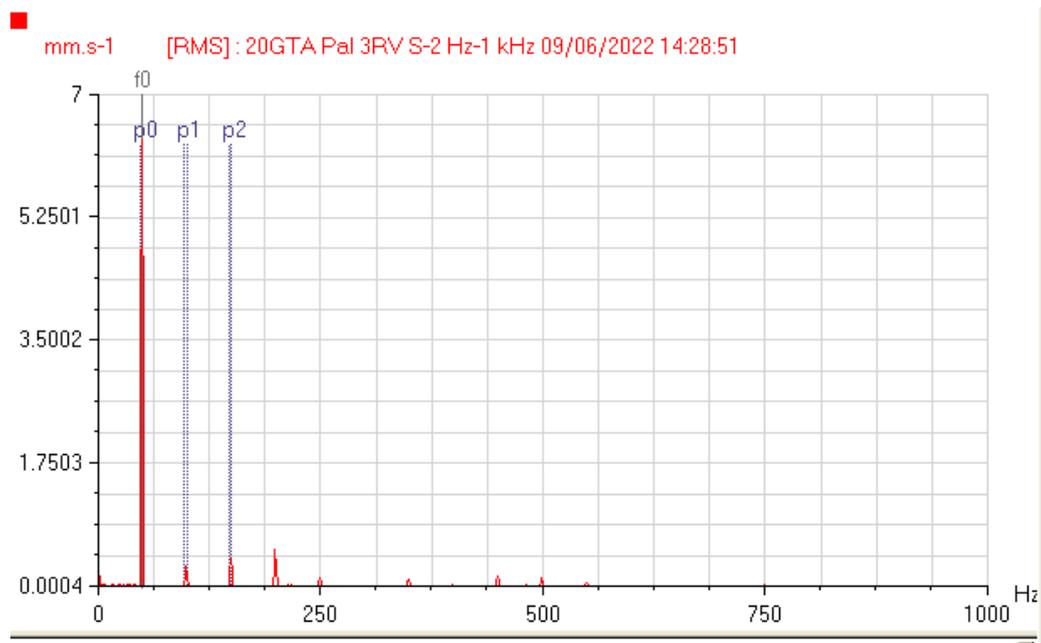
On remarque que le spectre représente un défaut de balourd mais ne dépasse pas la zone de l'alerte car les amplitudes des pics ne dépassent pas le seuil 18 mm/s, donc la machine à l'état de bon fonctionnement



*Figure IV.13 Spectre de palier 3 Direction horizontale*

### Analyse des résultats pour le palier 3 :

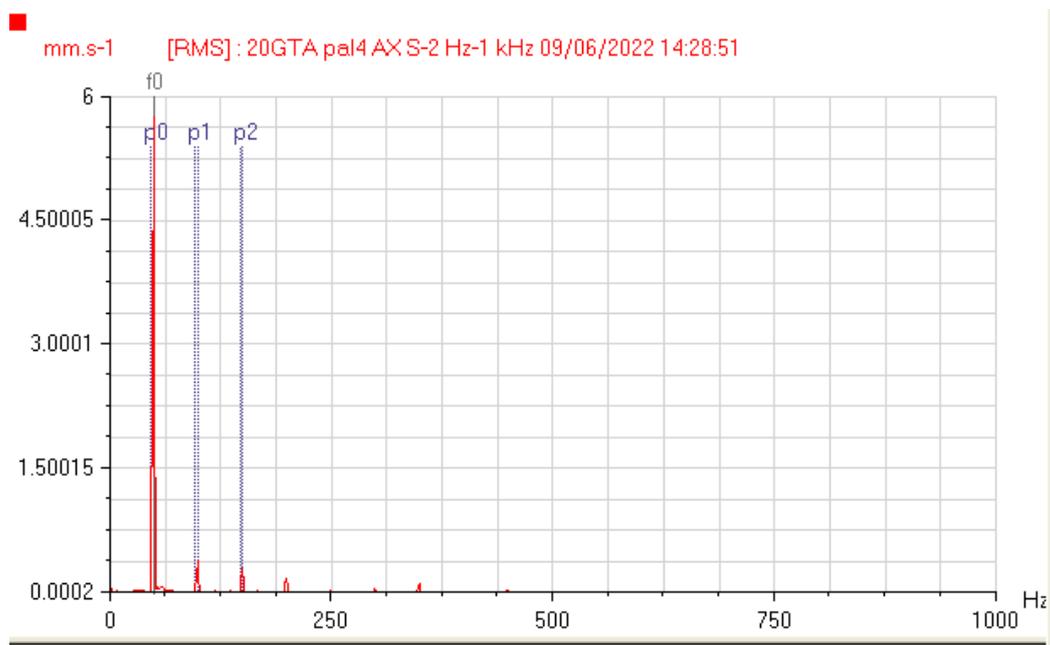
On remarque que le spectre représente un défaut de balourd mais ne dépasse pas la zone de l'alerte car les amplitudes des pics ne dépassent pas le seuil 18 mm/s, donc la machine à l'état de bon fonctionnement



*Figure IV.14 Spectre de palier 3 Direction verticale.*

### Analyse des résultats pour le palier 3 :

On remarque que le spectre représente un défaut de balourd mais ne dépasse pas la zone de l'alerte car les amplitudes des pics ne dépassent pas le seuil 18 mm/s, donc la machine à l'état de fonctionnement

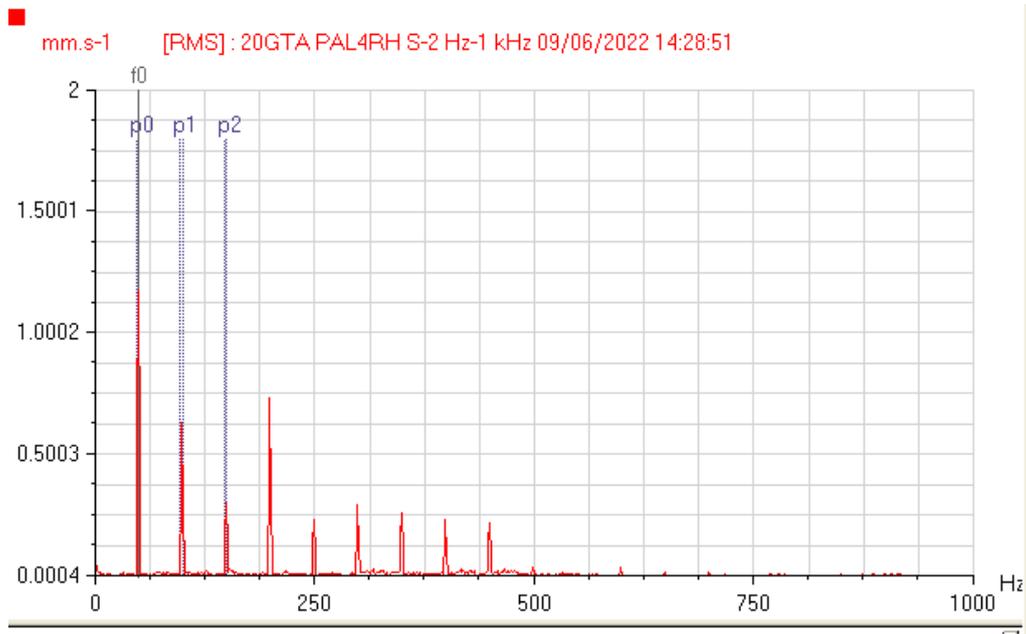


*Figure IV.15 Spectre de palier 4 Direction axiale*

### Analyse des résultats pour le palier 4 :

## Chapitre IV Étude expérimentale

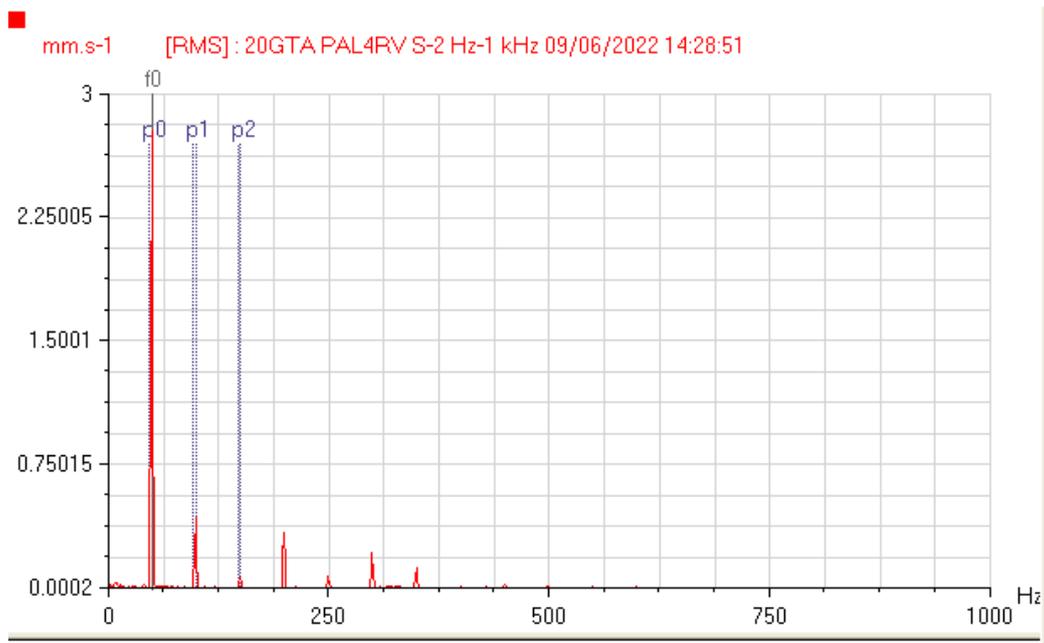
On remarque que le spectre représente un défaut de balourd mais ne dépasse pas la zone de l'alerte car les amplitudes des pics ne dépassent pas le seuil 18 mm/s, donc la machine à l'état de fonctionnement



*Figure IV.16 Spectre de palier 4 Direction horizontale*

### Analyse des résultats pour le palier 4 :

On remarque que le spectre représente un défaut de balourd mais ne dépasse pas la zone de l'alerte car les amplitudes des pics ne dépassent pas le seuil 18 mm/s, donc la machine à l'état de bon fonctionnement

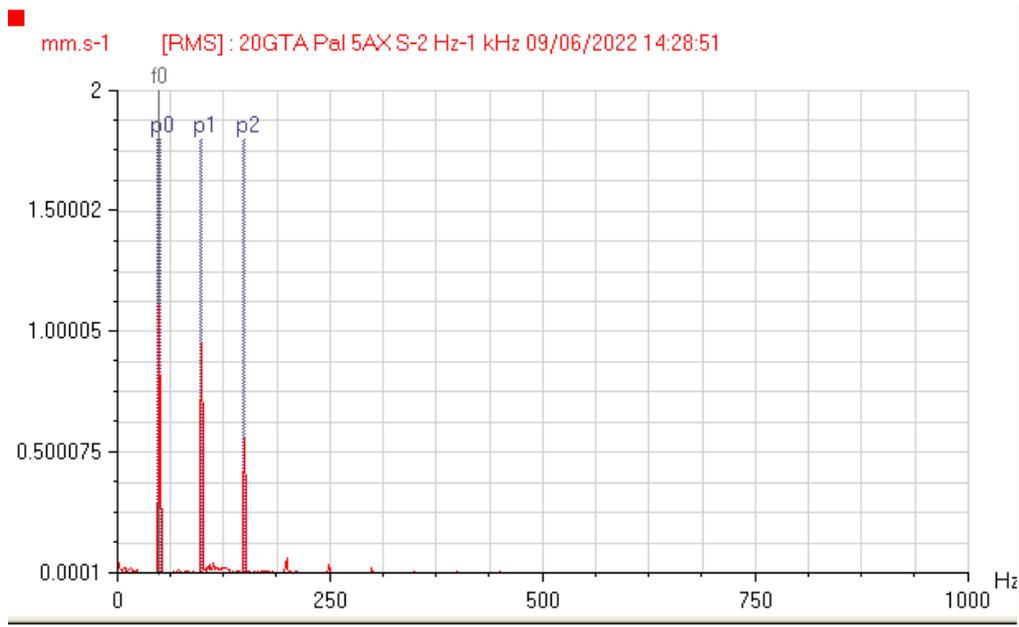


*Figure IV.17 Spectre de palier 4 Direction verticale.*

## Chapitre IV Étude expérimentale

### Analyse des résultats pour le palier 4 :

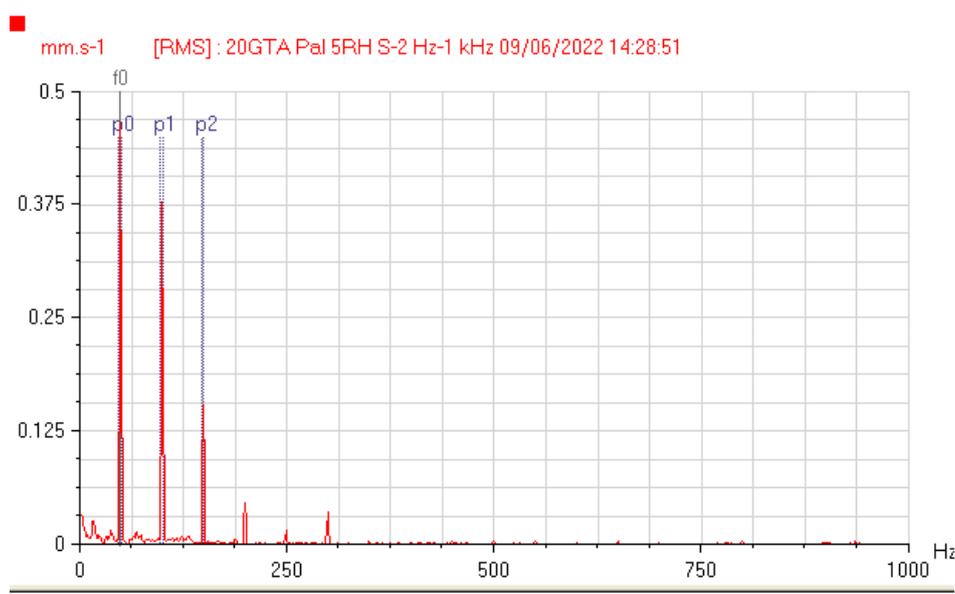
On remarque que le spectre représente un défaut de balourd mais ne dépasse pas la zone de l'alerte car les amplitudes des pics ne dépassent pas le seuil 18 mm/s, donc la machine à l'état de fonctionnement



*Figure IV.18 Spectre de palier 5 Direction axiale*

### Analyse des résultats pour le palier 5 :

On remarque que le spectre représente un défaut de balourd mais ne dépasse pas la zone de l'alerte car les amplitudes des pics ne dépassent pas le seuil 18 mm/s, donc la machine à l'état de fonctionnement

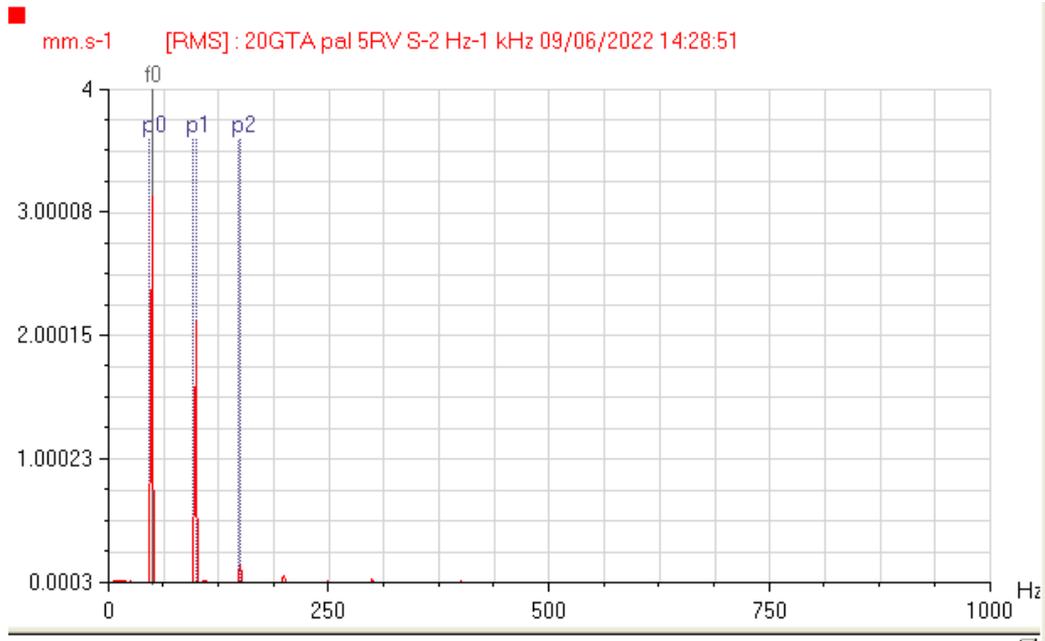


*Figure IV.19 Spectre de palier 5 Direction horizontale*

## Chapitre IV Étude expérimentale

### Analyse des résultats pour le palier 5 :

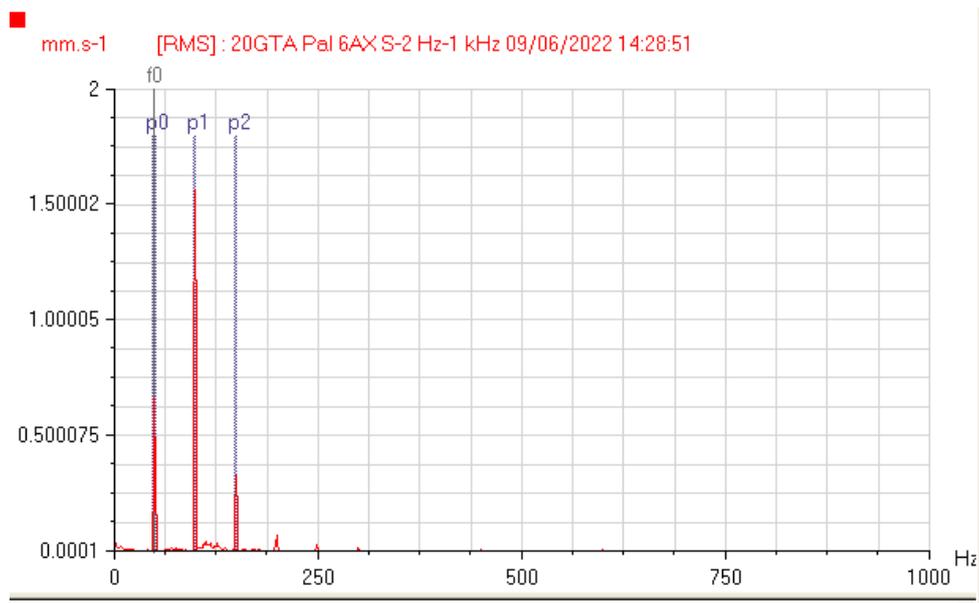
Nous remarquons que le problème de balourd n'approche pas à la zone d'alerte car les amplitudes des pics sont inférieures au seuil de 18 mm/s.



*Figure IV.20 Spectre de palier 5 Direction verticale.*

### Analyse des résultats pour le palier 5 :

On remarque que le spectre représente un défaut de balourd mais ne dépasse pas la zone de l'alerte car les amplitudes des pics ne dépassent pas le seuil de 18 mm/s, donc la machine est à l'état de fonctionnement.



*Figure IV.21 Spectre de palier 6 Direction axiale*

## Chapitre IV Étude expérimentale

### Analyse des résultats pour le palier 6 :

On remarque que le spectre représente un défaut de balourd mais ne dépasse pas la zone de l'alerte car les amplitudes des pics ne dépassent pas le seuil 18 mm/s, donc la machine à l'état de fonctionnement

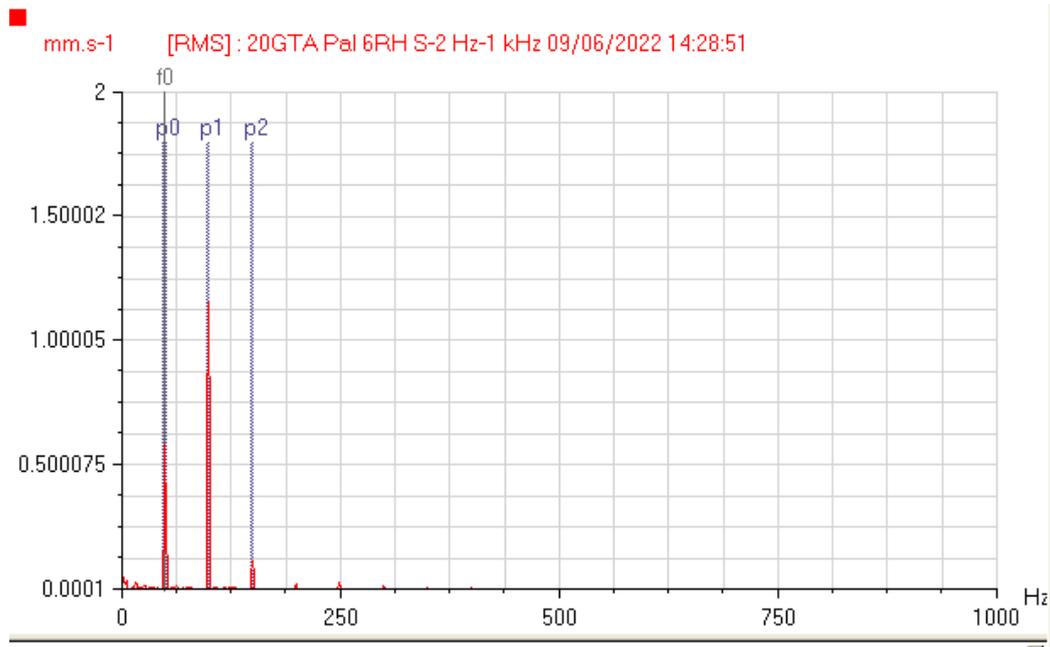


Figure IV.22 Spectre de palier 6 Direction horizontale

### Analyse des résultats pour le palier 6 :

On remarque que le spectre représente un défaut de balourd mais ne dépasse pas la zone de l'alerte car les amplitudes des pics ne dépassent pas le seuil 18 mm/s, donc la machine à l'état de fonctionnement

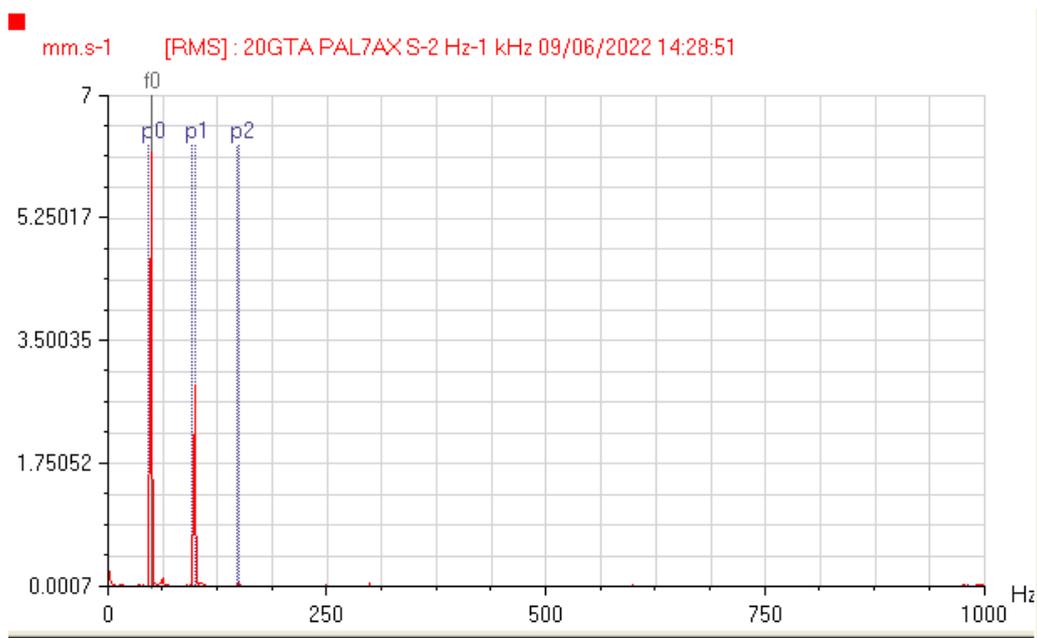
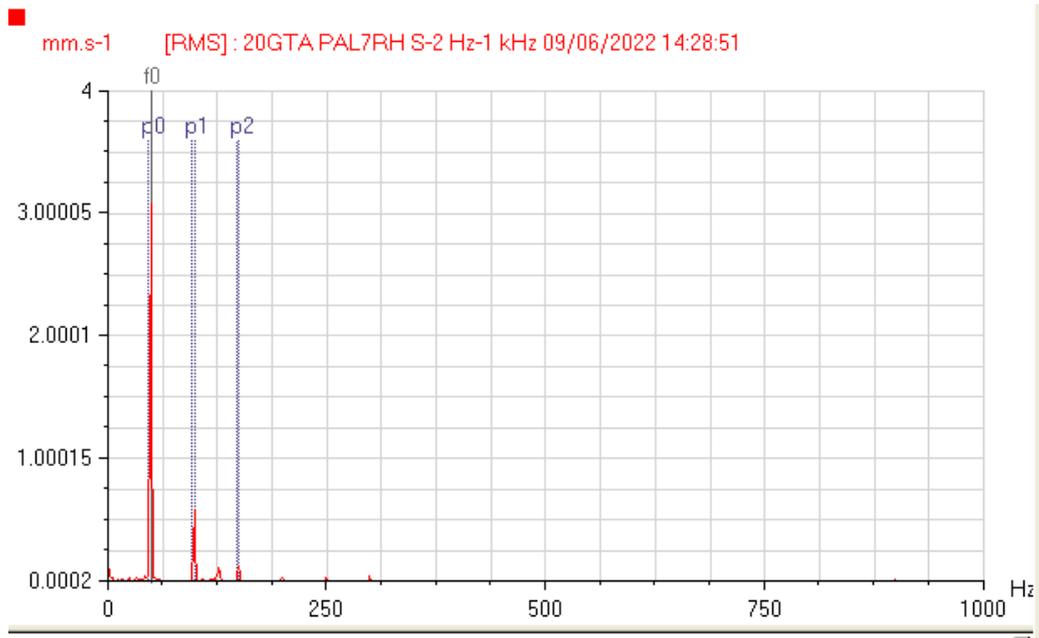


Figure IV.23 Spectre de palier 7 Direction axiale

## Chapitre IV Étude expérimentale

### Analyse des résultats pour le palier 7 :

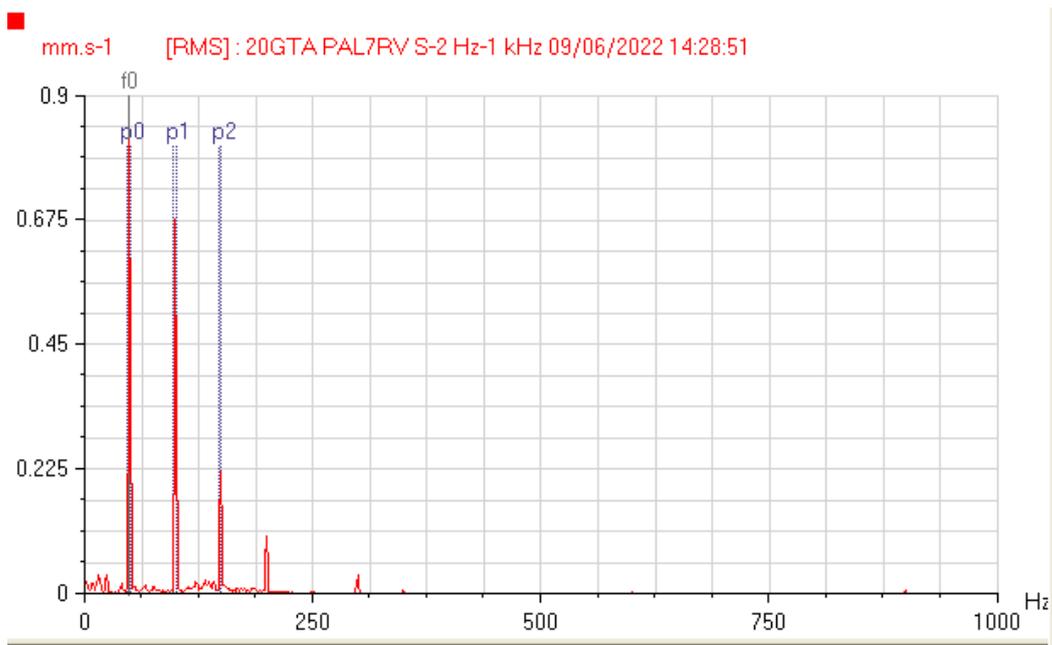
On remarque que le spectre représente un défaut de balourd mais ne dépasse pas la zone de l'alerte car les amplitudes des pics ne dépassent pas le seuil 18 mm/s, donc la machine à l'état de fonctionnement



*Figure IV.24 Spectre de palier7 Direction horizontale*

### Analyse des résultats pour le palier 7 :

On remarque que le spectre représente un défaut de balourd mais ne dépasse pas la zone de l'alerte car les amplitudes des pics ne dépassent pas le seuil 18 mm/s, donc la machine à l'état de fonctionnement



*Figure IV.25 Spectre de palier7 Direction verticale.*

## **Chapitre IV Étude expérimentale**

---

### **Analyse des résultats pour le palier 7 :**

Nous remarquons que le problème de balourd mais n'approche pas à la zone d'alerte car les amplitudes des pics sont inférieure de seuil 18 mm/s.

## Conclusion générale

---

### Conclusion générale

Le monde de l'industrie est celui de transports disposent des machines et installations de plus en plus performantes et complexes. Les exigences de haute sécurité, la réduction des coûts d'exploitations et la maîtrise de la disponibilité des équipements donnent à la maintenance des systèmes un rôle prépondérant.

Elle doit permettre de n'intervenir qu'en présence d'éléments défectueux, de minimiser le temps de réparation, et de fournir une surveillance et un diagnostic fiable malgré la complexité des équipements, précisément des machines tournantes.

L'étude que nous avons entreprise au sein de la centrale du RAS-djinet, nous a été très bénéfique tant en un apport supplémentaire en connaissances mais aussi sur le monde industriel et surtout sur la surveillance des équipements existant au niveau de cette centrale, plusieurs points sont alors à signaler

Le groupe turboalternateur est une machine stratégique de la centrale de Ras-djinet. Toute défaillance l'affectant entraîne une perturbation de la production et pour faire face à ces nouveaux enjeux, la surveillance doit faire appel à des techniques d'investigation modernes très spécifiques telles que l'analyse vibratoire, la thermographie infrarouge et l'analyse des huiles.

La surveillance vibratoire est particulièrement adaptée aux machines tournantes, l'association de l'analyse des huiles de lubrification et l'analyse des images thermographies avec le suivi par les vibrations fait accroître les mérites de la maintenance conditionnelle. Cette association donnera un diagnostic plus précis, impliquant un jugement équitable entre la maintenance préventive conditionnelle par surveillance et l'exploitation.

Ce travail nous a apporté beaucoup de connaissances sur la surveillance et le diagnostic des différents défauts susceptibles d'apparaître sur les machines tournantes, et il nous a permis de nous familiariser avec les outils de surveillance et de diagnostic tels que les différents capteurs, les différents logiciels de traitements .... Car on a fait des relevées qui indiquent l'état vibratoire du groupe turboalternateur pour faire une application directe des concepts théoriques qu'on a illustré. Ensuite on a conclu que le **GTA** comporte des défauts dont on doit suivre l'évolution et en programmer le temps de l'intervention.

### V. Références Bibliographiques

- [1] N. F. NF, X 60-319, EN 13306, 2002..
- [2] D. e. Y. F.castellazzi, memotech maintenance industrielle, paris: casteilla, sep 1996..
- [3] M. NASRI, maintenance des instalation industrielles concepts,mises en oeuvre et application, ellipses, 2014..
- [4] A. b. e. c. Pachaud., Surveillance des machines par analyse des vibrations Du dépistage au diagnostic.
- [5] A. LALOUCHE., Diagnostic des machines tournantes. Etude numérique et expérimentale.
- [6] équilibrage sur site des machines tournantes P/N 561.018F.
- [7] A. D., « Analyse vibratoire des machines tournantes ». Les techniques de L'ingénieur, BM5145 (2001).
- [8] B. N. M. library., Release 2.01, USA, 2000.
- [9] s. d. f. p. f KWU, Turbine à vapeur. N° d'enregistrement 5520.