

République Algérienne Démocratique et Populaire

Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique



Université Ibn Khaldoun de Tiaret

Faculté des Sciences Appliquées

Département de Génie Mécanique



## MÉMOIRE DE FIN D'ETUDES

Pour l'obtention du Diplôme de Master

**Domaine :** Sciences et Technologie

**Filière :** Electromécanique

**Parcours :** Master

**Spécialité :** Maintenance Industrielle

**Thème**

Mise en place d'une maintenance  
prédictive pour un système industriel de  
production

Préparé par :

**MADANI** Youcef & **HAMED** Ali

Soutenu publiquement le : ... / 07 / 2021, devant le jury composé de :

M. SAAD Mohamed	Maître de Conférences "MCB" (Univ. Ibn Khaldoun)	Président
M. ATHMANI Houari	Maître de Conférences "MAA" (Univ. Ibn Khaldoun)	Examineur
M. MOULGADA Abdelmadjid	Maître de Conférences "MCA" (Univ. Ibn Khaldoun)	Examineur
M. BENAMAR Badr	Maître de Conférences "MAA" (Univ. Ibn Khaldoun)	Encadreur

Année universitaire : 2020 - 2021

## REMERCIEMENTS

On tient avant tout à remercier chaleureusement Monsieur **BENAMAR Badr**, Maître Assistant de l'université Ibn-Khaldoun de Tiaret, de nous avoir encadré et assuré le suivi de notre travail. En nous faisant confiance depuis le début de nos travaux, il a su diriger ce travail tout en nous laissant une complète autonomie. On le remercie non seulement pour la qualité de son encadrement mais également pour l'inestimable qualité humaine dont il a toujours fait preuve.

On remercie tout autant Monsieur **SAAD Mohamed** Maître de conférences de l'université Ibn-Khaldoun de Tiaret pour avoir accepté de présider le jury d'examen de notre mémoire.

Nos sincères remerciements vont également à Messieurs **ATHMANI Houari** et **MOULGADA Abdelmadjid** pour l'intérêt qu'ils ont porté à notre travail afin de l'expertiser avec une grande efficacité. Ainsi que pour la patience et la pertinence dont ils ont fait preuve à la lecture de ce document.

Liste des figures  
Liste des tableaux  
Nomenclature

**Introduction générale ..... Erreur ! Signet non défini.**

### **Chapitre 1 : Concept générale sur la maintenance prédictive**

I. Introduction ..... **Erreur ! Signet non défini.**

II. Définitions ..... **Erreur ! Signet non défini.**

III. Ensemble d'actions de la maintenance ..... **Erreur ! Signet non défini.**

IV. Rôle de la maintenance ..... **Erreur ! Signet non défini.**

V. Philosophies de la maintenance ..... **Erreur ! Signet non défini.**

VI. Les politiques de la maintenance ..... **Erreur ! Signet non défini.**

VII. Les niveaux de maintenance ..... **Erreur ! Signet non défini.**

VIII. Optimisation de la maintenance..... **Erreur ! Signet non défini.**

IX. La maintenance prédictive ..... **Erreur ! Signet non défini.**

IX.1. Définition ..... **Erreur ! Signet non défini.**

IX.2. Étapes suivies pour développer une maintenance prédictive ..... **Erreur ! Signet non défini.**

IX.3. Limites de la maintenance prédictive ..... **Erreur ! Signet non défini.**

IX.4. Les techniques de la maintenance prédictive ..... **Erreur ! Signet non défini.**

IX.5. Choix d'une technique d'analyse ..... **Erreur ! Signet non défini.**

### **Chapitre 2 : Présentation de l'entreprise**

I. Introduction ..... **Erreur ! Signet non défini.**

II. Identification de l'entreprise ..... **Erreur ! Signet non défini.**

III. La structure de la centrale ..... **Erreur ! Signet non défini.**

III.1. Poste à gaz..... **Erreur ! Signet non défini.**

III.2. Skid séparateur ..... **Erreur ! Signet non défini.**

III.3. Vanne de sectionnement..... **Erreur ! Signet non défini.**

III.4. Vanne de sécurité ..... **Erreur ! Signet non défini.**

III.5. Skid de filtration.....	<b>Erreur ! Signet non défini.</b>
III.6. Réchauffage de gaz .....	<b>Erreur ! Signet non défini.</b>
III.7. Réchauffage d'attente.....	<b>Erreur ! Signet non défini.</b>
III.8. Réchauffage en mode TIC300.....	<b>Erreur ! Signet non défini.</b>
III.8. Skid de détente .....	<b>Erreur ! Signet non défini.</b>
III.10. Skid final .....	<b>Erreur ! Signet non défini.</b>
III.11. Skid - Cuve à condensât -.....	<b>Erreur ! Signet non défini.</b>
III.12. Comptage .....	<b>Erreur ! Signet non défini.</b>
III.13. La centrale FIAT .....	<b>Erreur ! Signet non défini.</b>
III.14. La centrale d'ALSTHOM.....	<b>Erreur ! Signet non défini.</b>
IV. Principe de fonctionnement .....	<b>Erreur ! Signet non défini.</b>
IV.1. Transformations de l'énergie.....	<b>Erreur ! Signet non défini.</b>
IV.2. Démarche de la production de l'énergie électrique ....	<b>Erreur ! Signet non défini.</b>
IV.3. Démarrage d'un groupe .....	<b>Erreur ! Signet non défini.</b>
IV.4. Arrêt d'un groupe.....	<b>Erreur ! Signet non défini.</b>
IV.5. Après un ordre d'arrêt.....	<b>Erreur ! Signet non défini.</b>
V. Informations techniques et administratifs .....	<b>Erreur ! Signet non défini.</b>
V.1. Règles et consignes d'exploitations spécifiques.....	<b>Erreur ! Signet non défini.</b>
V.2. La turbine .....	<b>Erreur ! Signet non défini.</b>
V.3. Compresseur.....	<b>Erreur ! Signet non défini.</b>
V.4. Alternateur.....	<b>Erreur ! Signet non défini.</b>
V.5. Excitatrice.....	<b>Erreur ! Signet non défini.</b>
V.6. Transformateur .....	<b>Erreur ! Signet non défini.</b>

### Chapitre 3 : Etude de cas

I. Introduction .....	Erreur ! Signet non défini.
II. Analyse vibratoire .....	Erreur ! Signet non défini.
II.1. Objectifs .....	Erreur ! Signet non défini.
II.2. Vibrations des machines tournantes .....	Erreur ! Signet non défini.
II.3. Surveillance .....	Erreur ! Signet non défini.
II.4. Diagnostic .....	Erreur ! Signet non défini.
II.5. Mesure et collection du signal vibratoire .....	Erreur ! Signet non défini.
II.6. Outils d'analyse vibratoire.....	Erreur ! Signet non défini.
III. Méthodes de l'analyse vibratoire.....	Erreur ! Signet non défini.
III.1. Méthode de niveau global .....	Erreur ! Signet non défini.
III.2. Méthode de l'analyse en fréquence .....	Erreur ! Signet non défini.
IV. Etude de cas .....	Erreur ! Signet non défini.
IV.1. Choix du cas d'analyse .....	Erreur ! Signet non défini.
IV.2. Critères vibratoires .....	Erreur ! Signet non défini.
IV.3. Résultats de l'analyse vibratoire .....	Erreur ! Signet non défini.
IV.3.1. Au niveau du palier 01 .....	Erreur ! Signet non défini.
IV.3.2. Au niveau du palier 02 .....	Erreur ! Signet non défini.
IV.3.3. Au niveau des paliers 04 et 06.....	Erreur ! Signet non défini.
IV.3.4. Au niveau des paliers 07 et 08.....	Erreur ! Signet non défini.
IV.3.5. Au niveau des paliers 09 .....	Erreur ! Signet non défini.
<b>Conclusion générale.....</b>	<b>70</b>
<b>Annexes .....</b>	<b>76</b>

# Liste des figures et des tableaux

### Liste des figures

#### *Chapitre 1 : Concept générale sur la maintenance prédictive*

Figure I.1	Les actions de la maintenance.	06
Figure I.2	Composition d'un système technique.	08
Figure I.3	Politiques de maintenance.	09
Figure I.4	Étapes d'une maintenance prédictive.	16

#### *Chapitre 2 : Présentation de l'entreprise*

Figure II.1	Photo panoramique de la centrale.	22
Figure II.2	Post à gaz.	23
Figure II.3	Skid séparateur.	23
Figure II.4	Skid de filtration.	24
Figure II.5	Chaudière.	25
Figure II.6	Skid finale.	26
Figure II.7	Constitution du groupe de production.	29
Figure II.8	Turbine.	38
Figure II.9	Roue turbine.	39
Figure II.10	Chambre de combustion.	41
Figure II.11	Carter des chambres de combustion.	42
Figure II.12	Tube a flamme.	42
Figure II.13	Enveloppe intermédiaire.	43
Figure II.14	Injecteur.	43
Figure II.15	Tubes d'interconnexion.	44
Figure II.16	Compresseur.	45
Figure II.17	Alternateur.	46

## Liste des figures

---

Figure II.18	Rotor.	46
Figure II.19	Stator.	47
Figure II.20	Transformateur ALSTHOM & Fiat.	50

### *Chapitre 3 : Etude de cas.*

Figure III.1	Choix de l'outil.	55
Figure III.2	Principe d'un proximètre.	55
Figure III.3	Exemple d'un accéléromètre piézoélectrique.	56
Figure III.4	Schéma du vélocimètre.	56
Figure III.5	Exemple de spectre fréquentiel.	58
Figure III.6	VIBROTEST 60 et ses accessoires.	58
Figure III.7	Schéma détaillé du groupe 4 de la centrale FIAT.	59
Figure III.8	Mesures de vibration au G04. Turbine - Palier 1.	62
Figure III.9	Mesures de vibration au G04. Compresseur Palier 2.	63
Figure III.10	Mesures de vibration au G04. Réducteur - Palie 4.	64
Figure III.11	Mesures de vibration au G04. Réducteur - Palie 6.	65
Figure III.12	Mesure de vibration au G04. Alternateur - Palier 7.	66
Figure III.13	Mesure de vibration au G04. Alternateur - Palier 8.	67
Figure III.14	Mesure de vibration au G04. Excitatrice - Palier 9.	68



### Liste des tableaux

#### *Chapitre 1 : Concept générale sur la maintenance prédictive*

Tableau I.1	Les ressources nécessaires pour chaque niveau de maintenance.	12
Tableau I.2	Exemple d'éléments maintenables.	13
Tableau I.3	Différentes techniques d'analyse pour maintenance prédictive.	21

#### *Chapitre 2 : Présentation de l'entreprise*

Tableau II.1	Caractéristiques de l'alternateur.	48
Tableau II.2	Caractéristiques de l'excitatrice.	49

#### *Chapitre 3 : Etude de cas*

Tableau III.1	La norme internationale ISO 2372.	60
---------------	-----------------------------------	----

# Nomenclatures

## Nomenclatures

---

<b>Symbole</b>	<b>Définition</b>
<b>NHP :</b>	Puissance nominale en heures
<b>Ps :</b>	Pression à la sortie de compresseur
<b>Pe :</b>	Pression l'entrée de compresseur
<b>ISO :</b>	Organisation internationale de normalisation

# **Introduction générale**

## Introduction Générale

---

Les stratégies d'entretiens courants ont progressé pour s'orienter vers des types de maintenance plus efficaces, dans le but de maintenir les équipements en état de bon fonctionnement. Sans intervention par des actions réalisées selon un état de dégradation, ce qui fait appel à la maintenance conditionnelle. Ou un selon un échéancier prédéfini, ce qui est le cas de la maintenance préventive. L'entretien qu'il soit curatif ou palliatif est l'une des formes de la maintenance la plus ancienne, réalisé par des actions qui ne peuvent avoir lieu que lorsque la panne survient.

La surveillance des machines tournantes par l'analyse vibratoire est un sujet qui a reçu un grand intérêt ces dernières années. Initialement, elle était destinée à protéger les installations afin d'éviter des dégradations et des catastrophes économiques et même humaines qui peuvent être causées par des défauts inattendus.

La surveillance et le diagnostic des défauts dans les systèmes mécaniques, sont utilisés pour la prévention des défauts sérieux, qui peuvent engendrer des arrêts de longue durée, néfaste à la production. Surtout dans le cas des industries stratégiques, tel est le cas de la SPE de tiaret.

Parmi les méthodes de surveillance les plus efficaces dans le cas des machines tournantes, on trouve le diagnostic vibratoire, qui fait parti d'une large famille de contrôle, tel que l'analyse acoustique ou thermographique.

Extraire, caractériser et identifier les défauts à partir de l'analyse vibratoires sont des étapes clés dans le diagnostic des défauts des machines tournantes. Les informations recueillies peuvent être utilisées pour la planification des activités de maintenance. Ou même comme moyen de contrôle de l'état intègre des installations.

Ces données deviennent le fondement d'une nouvelle stratégie de maintenance dite prédictive. Ou la prise de décision pour toute intervention, doit passer par deux étapes : Un diagnostic pour la détection, l'identification et l'isolation des anomalies. Et le pronostic qui permet de prédire les défaillances avant qu'elles ne se produisent. Le diagnostic et le pronostic sont complémentaires dans la mesure où le diagnostic ajoute de nouvelles informations provenant du processus.

Certains problèmes sont inévitables comme les défauts d'usinage et de montage, qui peuvent être la source de défaillances de grande ampleur vibratoires. Les industriels constructeurs et exploitants cherchent à les éliminer pour augmenter la durée de vie des

## **Introduction Générale**

---

machines tournantes, dans le but d'optimiser leur rendement et assurer leur régularité de fonctionnement.

Mais certains phénomènes peuvent surgir et deviennent fatale et néfaste pour le bon fonctionnement, tel est le cas du balourd qui provoque des vibrations généralement synchrones. Et qui nécessite une intervention malgré qu'elle apparait simple dans sa philosophie, mais nécessite une étude et une approche fondée sur des calculs et même sur l'expérience et le savoir faire humain.

Dans ce contexte là, l'approche de notre problématique s'installe, et se résume sur une étude vibratoire pour définir l'état de fonctionnement du groupe 4 de la centrale Fiat de la SPE de Tiaret. Ce qui nous a poussé à présenter notre travail sous forme de trois chapitres, où :

Le premier chapitre a été consacré à la définition et la description des méthodes de la maintenance prédictive.

Dans le second chapitre on a essayé de faire un passage sur la présentation de l'entreprise SPE de Tiaret, lieu de notre stage de PFE.

Alors que le troisième chapitre, été dédié à l'analyse du cas d'étude de maintenance prédictive, et la présentation des résultats obtenus de l'analyse vibratoire effectuée sur une machine tournante.

En dernier lieu on a présenté une conclusion générale de nos travaux avec présentation des perspectives suggérées pour enrichir cette étude.

# Chapitre 1

## Concept générale de la maintenance prédictive

### I. Introduction

La maintenance occupe une position stratégique dans le milieu industriel, aussi bien sur le plan technologique, que sur le plan économique. Elle permet d'augmenter la disponibilité de machines industrielles et d'allonger leur cycle de vie. Principalement elle permet de prévenir les incidents et accidents et surtout d'assurer la sécurité des personnes et des biens.

Initialement, la maintenance industrielle consistait à effectuer des opérations, tel que le dépannage, la réparation, le graissage, le contrôle, .... Toutes ces opérations permettent de conserver le potentiel du matériel pour assurer la production avec efficacité et qualité.

Ensuite, avec le temps et le progrès industriel, la maintenance a beaucoup évolué, à l'aide d'outils technologiques, tels que les systèmes d'acquisition des données, les logiciels de gestion de bases de données, la technologie sans fil en particulier les réseaux des capteurs intelligents. Qui donne une aide précieuse pour la prévention des pannes et la prédiction du temps restant de bon fonctionnement d'un équipement en fonctionnement.

### II. Définitions [1]

On peut définir la maintenance comme un ensemble de toutes les actions techniques, administratives et de management effectué durant le cycle de vie d'un bien. Dans le but de le maintenir ou à le rétablir dans un état dans lequel il peut accomplir une fonction requise.

Si on fait une analyse de cette définition standard de la fonction maintenance, on va constater que la maintenance est un ensemble d'actions techniques, tel que la réparation, l'échange standard, le serrage, le nettoyage, .... Mais aussi des tâches administratives et de management.

Donc, la maintenance n'est pas uniquement des opérations techniques, c'est aussi de la gestion et de l'organisation. Sans ces deux dernières, les résultats pourraient être épouvantable.

En effet, si l'on dispose d'une équipe de maintenance composée d'orfèvres en matière d'intervention mais, malheureusement, pour une négligence administrative ou de gestion, les pièces de rechange requises ne sont pas disponibles. La durée d'arrêt pourrait être alors allongée, ce qui générerait des pertes financières pouvant être très importantes. Le résultat de la maintenance est alors mauvais bien que, sur le plan technique, l'équipe de



## Chap. 1 : Concept générale sur la maintenance prédictive

---

maintenance soit excellente. Le management et l'administration sont deux nécessités impérieuses pour la maintenance comme pour toute autre activité d'ailleurs, cela est bien illustré à la figure suivante.

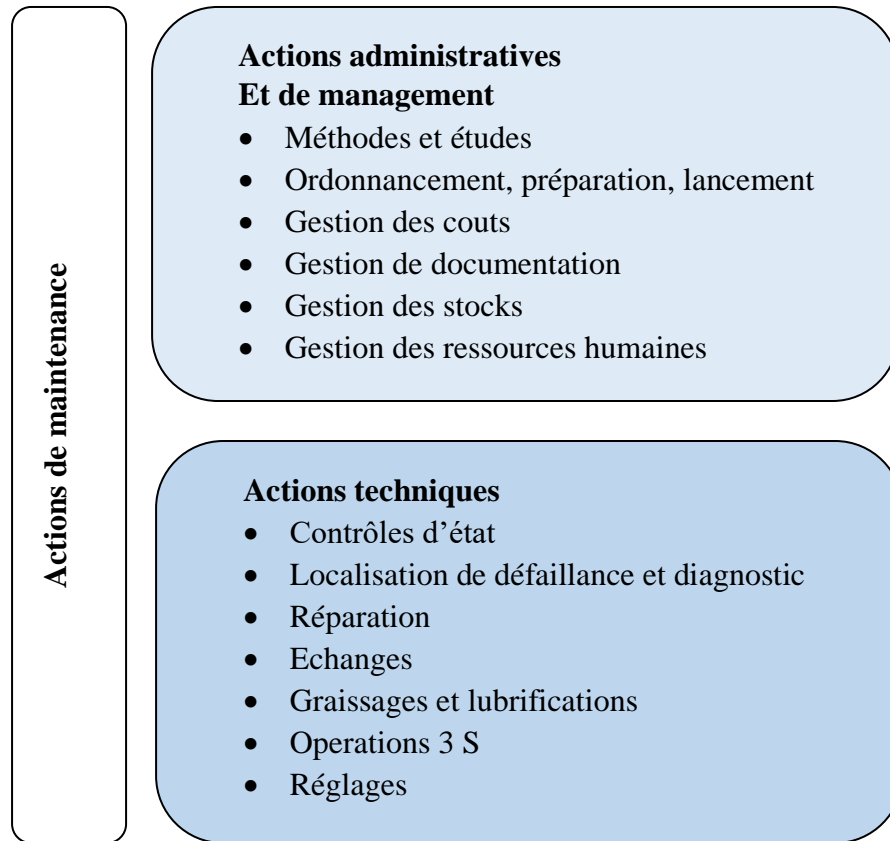


Figure I.1. Les actions de la maintenance.

### III. Ensemble d'actions de la maintenance [1]

#### III.1. Actions administratives et de management

Les différentes actions administratives de la fonction maintenance peuvent être résumé en :

- Organisation du service de maintenance.
- Formation du personnel.
- Définition des processus, procédures et instruction de maintenance.
- Définition des formes d'actions techniques à mener et l'établissement de leurs gammes.
- Ordonnancement, préparation et lancement de ces actions.
- Enregistrement des informations sur les interventions.

## **Chap. 1 : Concept générale sur la maintenance prédictive**

---

- Gestion des stocks de pièces de rechange et fournitures de maintenance.
- Analyse des données.
- Définition de nouvelles actions.
- Établissement de tableaux de bord.
- Exploitation de données pour améliorer la politique de maintenance.

### **III.2. Actions d'intervention technique**

Les actions de l'intervention technique, sont :

- Contrôles, inspections et vérifications.
- Étalonnages.
- Réparations.
- Remplacements.
- Réglages.
- Resserrages.
- Nettoyages, graissages et lubrifications.
- Rangements.
- Actions d'aides visuels à la décision.
- Réfection de peinture, etc.

En effet, quelle que soit la forme d'intervention technique choisie, un travail de gestion est nécessaire, tel que la prévision, la préparation du travail, son ordonnancement, l'enregistrement des données de l'intervention, l'analyses des actions et des résultats, l'études amélioratives du bien, ....

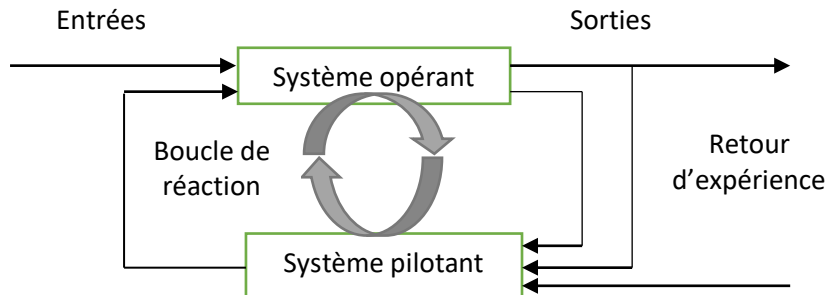
En outre, pour bien gérer, on a besoin du retour d'expérience à partir des actions techniques menées. De l'autre côté, pour bien exécuter les interventions techniques, on a besoin de méthodes, d'études et de gestion.

Si on analyse les choses en termes de processus, on peut affirmer que les actions administratives relèvent plutôt des processus de management et de soutien tandis que celles d'intervention relèvent tout naturellement des processus de réalisation.

## Chap. 1 : Concept générale sur la maintenance prédictive

---

Si on adopte la démarche systématique, on peut considérer la maintenance comme un système avec une partie opérative, c'est les actions techniques et, une partie de pilotage, c'est bien-sûr l'administration et la gestion des tâches. Avec sans doute, un système de retour d'expérience comme indicateurs et tableaux de bord. La figure suivante donne une un aperçu sur la relation entre le système de pilotage et le système opératif.



**Figure I.2. Composition d'un système technique.**

Il est clair que les actions administratives et de management sont réalisées de façon quasi permanente, tandis que, les actions d'intervention technique sont menées soit :

- Avant la manifestation de la défaillance : Elles sont alors de type **préventif**.
- Après la manifestation de la défaillance : Elles sont alors de type **correctif**.

Elles peuvent être faites, aussi, de façon **quasi-continue** : Rondes ou auto-maintenance. Et même encore par le suivi de paramètres en utilisant des capteurs dédiés, qui seront fixés en permanence sur les équipements à contrôler.

Comme elles peuvent être menées de façon **discontinue** : Remplacements systématiques, contrôle de paramètres à des intervalles de temps donnés, graissage et lubrifications à des périodicités déterminées.

### IV. Rôle de la maintenance [2]

Contrairement à l'opinion générale, le rôle de la maintenance n'est pas de **réparer** les pannes en un temps record ; mais il s'agit plutôt de prévenir toutes les pertes causées par des problèmes liés aux équipements ou aux systèmes défaillants. La mission du département de la maintenance dans une organisation de classe mondiale est d'atteindre et de maintenir les objectifs suivants :

1. Une disponibilité optimale.

## Chap. 1 : Concept générale sur la maintenance prédictive

---

2. Conditions d'exploitation optimales.
3. Utilisation maximale des ressources de maintenance.
4. Durée de vie optimale des équipements.
5. Stock minimum de pièces de rechange.
6. Capacité à réagir rapidement.

### V. Philosophies de la maintenance [2]

Si nous devons faire une enquête sur les philosophies de la maintenance employées par différentes industries, nous remarquerions un certain nombre de similitudes malgré les grandes variations dans la nature de leurs opérations. Ces philosophies de maintenance peuvent généralement être divisées en quatre catégories différentes :

1. La maintenance en cas de panne ou de fonctionnement jusqu'à la défaillance.
2. La maintenance préventive ou basée sur le temps.
3. La maintenance prédictive ou conditionnelle.
4. La maintenance proactive ou préventive.

### VI. Les politiques de la maintenance [3]

Dans la pratique, on distingue deux grandes familles de politiques de maintenance, figure 1.3 :

- La maintenance corrective,
- La maintenance préventive.

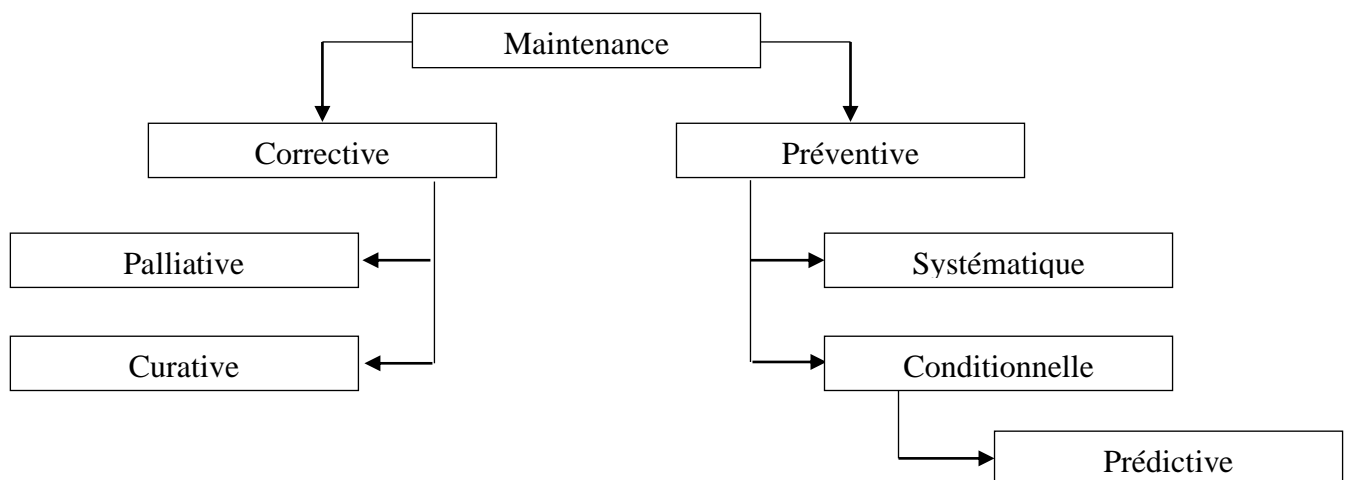


Figure I.3 Politiques de maintenance. [3]

## Chap. 1 : Concept générale sur la maintenance prédictive

---

### VI.1. Maintenance corrective [3]

La maintenance corrective est l'ensemble des activités réalisées après la défaillance d'un bien ou la dégradation de sa fonction, pour lui permettre d'accomplir une fonction requise, au moins, provisoirement. Ces activités comportent notamment :

- La localisation de la défaillance et son diagnostic.
- La remise en état avec ou sans modification.
- Le contrôle du bon fonctionnement.

Cette politique de maintenance s'effectue après la défaillance et se présente sous deux formes :

1. La maintenance *palliative* : Les actions effectuées ont un caractère provisoire.
2. La maintenance *curative* : Diffère de la palliative de par le caractère permanent de ses actions effectuées.

La notion de remise en état avec modification, dans le sens d'amélioration, ne peut concerner ici que la forme curative. D'autre part, la maintenance corrective en tant que forme de maintenance unique, caractéristique de l'entretien traditionnel, n'est valable que dans de rares cas particuliers de l'industrie, où les systèmes en cause sont redondants, ou n'ont qu'un rôle secondaire dans le procédé de la production.

### VI.2. Maintenance préventive [3]

La maintenance préventive est définie comme maintenance ayant pour objet de réduire la probabilité de défaillance ou de dégradation d'un bien ou d'un service rendu.

Les activités correspondantes sont déclenchées selon un échéancier établi à partir d'un nombre prédéterminé d'unités d'usage : *Maintenance systématique*. Et/ou de critères prédéterminés significatifs de l'état de dégradation du bien ou du service : *Maintenance conditionnelle*.

Cette politique de maintenance vise à l'évitement des défaillances des systèmes en cours d'exploitation. L'étude des coûts doit mettre en évidence un gain par rapport aux défaillances qu'elle permet d'éviter.

Trois formes de politique de maintenance préventive peuvent être mises en œuvre :

## **Chap. 1 : Concept générale sur la maintenance prédictive**

---

1. La maintenance systématique.
2. La maintenance conditionnelle.
3. La maintenance prédictive.

### **VI.3. Maintenance systématique [3]**

La définition de la maintenance systématique est l'ensemble des activités déclenchées selon un échancier établi à partir d'un nombre prédéterminé d'unités d'usage.

L'intérêt majeur de la maintenance systématique réside dans sa facilité de gestion. Les arrêts, s'ils s'avèrent indispensables, sont néanmoins négociables avec le service de production. De plus en plus, ses interventions se font par échanges standard.

Cependant, cette approche présente des inconvénients. En effet, par l'utilisation a priori de valeurs prédéterminées de la durée de fonctionnement des systèmes, la maintenance préventive systématique peut mener soit à des interventions trop précoces donc inutiles, soit trop tardives donc préjudiciables au bon fonctionnement du système, voire catastrophique. La solution à cette situation peut résider dans la mise en place d'une maintenance conditionnelle, voire prédictive.

### **VI.4. Maintenance conditionnelle [3]**

La maintenance conditionnelle est l'ensemble des activités déclenchées suivant des critères prédéterminés significatifs de l'état de dégradation du bien ou du service.

Le principe de la maintenance préventive conditionnelle est qu'elle se réfère à l'état du système dans ce qui peut en être discerné par la surveillance d'indicateurs significatifs. Lorsque cet état atteint un seuil défini, alors le risque est considéré comme important et une action de maintenance est décidée.

L'erreur n'est plus liée à la probabilité d'émergence du risque comme en maintenance préventive systématique, mais à la définition du seuil et à la décision.

La maintenance conditionnelle offre la possibilité de détecter les erreurs dès leur apparition, c'est à dire, longtemps avant l'apparition d'une faute tangible. Les actions de maintenance sont donc uniquement réalisées en fonction des besoins réels.

## Chap. 1 : Concept générale sur la maintenance prédictive

---

### VI.5. Maintenance prédictive [3]

La maintenance prédictive est définie comme une maintenance préventive subordonnée à l'analyse de l'évolution surveillée de paramètres significatifs de la dégradation du bien, permettant de retarder et de planifier les interventions.

En maintenance prédictive, l'évolution des indicateurs de surveillance doit être suivie dans le temps afin d'en tirer des prévisions. La décision d'intervention et son degré d'urgence reposent sur l'identification préalable du, ou des fautes et sur l'estimation de leur gravité. Elle diffère de la maintenance conditionnelle par l'action d'extrapolation de la tendance analysée. Ceci lui permet de passer de l'état constaté à l'état prévisible.

### VII. Les niveaux de maintenance [4]

Une autre condition pour réussir un système de maintenance serait de spécifier les niveaux de maintenance dans l'entreprise. Monchy, Nakajima et Lyonnais présentent cinq niveaux. Ceux-ci font référence à la complexité des tâches à effectuer et aux ressources humaines et matérielles nécessaires à la réalisation de chacune des tâches.

**Tableau I.1: Les ressources nécessaires pour chaque niveau de maintenance. [4]**

Niveaux	Personnel d'intervention	Moyens
1	Exploitant sur place.	Outillage léger défini dans les instructions d'utilisation.
2	Technicien habilité sur place.	Outillage léger défini dans les instructions d'utilisation, plus pièces de rechange trouvées à proximité, sans délai.
3	Technicien spécialisé, surplace ou en local demaintenance.	Outillage prévu plus appareils de mesure, banc d'essai, contrôle, etc.
4	Équipe encadrée par un technicien spécialisé, en atelier central.	Outillage général plus spécialisé, matériel d'essai, de contrôle, etc.
5	Équipe complète, polyvalente en atelier central.	Moyens proches de la fabrication par le constructeur.

On peut mieux définir ces cinq niveaux comme suit :

## Chap. 1 : Concept générale sur la maintenance prédictive

---

**1<sup>er</sup> niveau** : Réglage simple prévu par le constructeur au moyen d'organes accessibles sans aucun montage d'équipement ou échange d'équipements accessibles en toute sécurité.

**2<sup>ème</sup> niveau** : Dépannage par échange standard d'éléments prévus à cet effet ou d'opérations mineures de maintenance préventive.

**3<sup>ème</sup> niveau** : Identification et diagnostic de pannes, réparation par échange de composants fonctionnels, réparations mécaniques mineures.

**4<sup>ème</sup> niveau** : Travaux importants de maintenance corrective ou préventive.

**5<sup>ème</sup> niveau** : Travaux de rénovation, de reconstruction ou réparations importantes confiées à un atelier central.

## VIII. Optimisation de la maintenance

### VIII.1. Les éléments maintenables [1]

Un élément maintenable est tout élément, composant, mécanisme, sous-système, unité fonctionnelle, équipement ou système qui peut être considéré individuellement.

**Tableau I.2 : Exemple d'éléments maintenables [1].**

	Électronique	Mécanique
Composant	Puce, diode, résistance	Arbre, roue dentée
Mécanisme	Servomécanisme	Système de lubrification
Sous-ensemble	Alimentation	Système de refroidissement
Unité fonctionnelle	Carte électronique	Réducteur
Équipement	Ordinateur	Fraiseuse
Système	Système de MAO	Fabrication de cahiers

### VIII.2. Disponibilité optimale [2]

La capacité de production d'une usine est en partie déterminée par la disponibilité des systèmes de production et de leurs équipements auxiliaires. La fonction principale de l'organisation de la maintenance est de s'assurer que toutes les machines, tous les



## **Chap. 1 : Concept générale sur la maintenance prédictive**

---

équipements et tous les systèmes de l'usine sont toujours en ligne et en bon état de fonctionnement.

### **VIII.3. Condition de fonctionnement optimale**

La disponibilité des machines de traitement critiques ne suffit pas à garantir des niveaux de performance acceptables pour l'usine. L'organisation de la maintenance doit entretenir toutes les machines et tous les éléments de fabrication directe et indirecte ; les équipements. Ainsi que, tous les systèmes afin qu'ils soient en permanence dans un état de fonctionnement optimal.

Des problèmes mineurs, aussi légers soient-ils, peuvent entraîner une mauvaise qualité de produit, une réduction des vitesses de production ou d'autres facteurs qui limitent les performances globales de l'usine.

### **VIII.4. Utilisation maximale des ressources de maintenance**

L'organisation de la maintenance contrôle une partie substantielle du budget total d'exploitation dans la plupart des usines. En plus d'un pourcentage appréciable du budget total de la main-d'œuvre de l'usine, le responsable de la maintenance contrôle souvent l'inventaire des pièces de rechange, autorise l'utilisation de la main d'œuvre extérieure, et demande des fonds importants pour l'achat de pièces ou des équipements de remplacement.

### **VIII.5. Durée de vie optimale des équipements**

L'une des façons de réduire les coûts d'entretien est de prolonger la durée de vie utile des équipements d'une industrie, est l'organisation de la maintenance, qui doit mettre en œuvre des programmes qui augmenteront la durée de vie utile de tous les actifs qui interviennent de façon directe ou indirecte dans la production.

### **VIII.6. Inventaire minimum de pièces de rechange**

La réduction des stocks de pièces de rechange doit être un objectif majeur de l'organisation de la maintenance. Avec les technologies de maintenance prédictive qui sont disponibles aujourd'hui, la maintenance peut anticiper le besoin d'un équipement ou de pièces spécifiques suffisamment longtemps à l'avance pour les acheter en fonction des besoins.

### **VIII.7. Capacité à réagir rapidement**

Toutes les défaillances catastrophiques ne peuvent pas être évitées. Mais on doit être capable de réagir rapidement à une défaillance inattendue.

## **IX. La maintenance prédictive [5]**

### **IX.1. Définition**

Le terme de maintenance prédictive n'est pas normalisé. On le trouve souvent employé pour caractériser les prévisions de maintenance en fonction de la tendance d'évolution du dysfonctionnement détecté et de l'estimation du temps de fonctionnement correct qui subsiste.

Les conditions de mise en place d'une maintenance prédictive sur un équipement considéré peuvent être notées comme suit :

1. L'équipement présente une dégradation progressive et détectable.
2. Cette dégradation peut être saisie et mesurée à l'aide d'un paramètre.
3. L'appareillage qui permet cette mesure est fiable et les résultats peuvent être interprétés par un personnel qualifié.
4. La valeur initiale et la valeur limite du paramètre peuvent être fixées.
5. La limite fixée correspond bien à un seuil significatif pour la perte de fonction de l'équipement (ou sa dangerosité).
6. La périodicité de mesure est définie et elle est suffisante pour saisir toutes les évolutions du paramètre.

La surveillance du paramètre représentatif pourra se faire, suivant l'importance de l'équipement, d'une manière périodique (observation, relevés, rondes, ...) ou d'une manière continue à l'aide de capteurs fixés sur l'équipement.

Un programme de maintenance prédictive se compose de trois étapes :

1. L'acquisition des données.
2. Traitement des données.
3. Prise de décision de la machine.

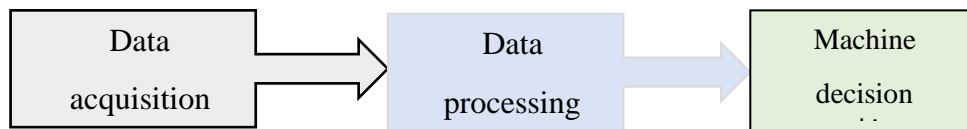


Figure I.4. Étapes d'une maintenance prédictive. [6]

### IX.2. Étapes suivies pour développer une maintenance prédictive [6]

#### IX.2.1. Acquisition de données (Data acquisition)

L'acquisition de données est le processus de collecte et de stockage de données provenant d'un processus physique dans un système, ce qui est essentiel pour la mise en œuvre d'une maintenance prédictive.

Les données collectées dans un programme de maintenance prédictive peuvent être classées en deux types principaux :

- 1. Les données d'événements :** Comprennent des informations sur ce qui est arrivé à l'actif et la maintenance qui lui a été appliquée.
- 2. Les données de surveillance :** Sont liées aux mesures de la santé du bien physique. Ils ont développé un cadre pour la notification d'informations entre les ressources de fabrication. Il existe une grande variété de signaux, tels que :
  - ✓ Les vibrations,
  - ✓ L'acoustique,
  - ✓ L'analyse de l'huile,
  - ✓ La température,
  - ✓ La pression,
  - ✓ L'humidité,
  - ✓ Le bruit, etc.

Afin de collecter ces données, de nombreux capteurs ont été développés, tels que :

- ✓ Les capteurs à ultrasons,

## Chap. 1 : Concept générale sur la maintenance prédictive

---

- ✓ Les accéléromètres,
- ✓ Les gyroscopes,
- ✓ Les capteurs de pluie, etc.

De nombreux sites et beaucoup d'industries travaillent à l'amélioration des technologies des capteurs et des ordinateurs, ce qui implique un moyen plus facile pour le stockage des données.

### IX.2.2. Traitement des données (Data processing)

Les données acquises sont susceptibles de présenter des valeurs manquantes, incohérentes et du bruit. La qualité des données a un impact important sur les résultats obtenus par les techniques de l'exploration des données.

Pour améliorer ces résultats, des méthodologies de prétraitement peuvent être appliquées. Le prétraitement des données est l'une des étapes les plus critiques, qui traite de la préparation et de la transformation de l'ensemble de données initial. Les méthodes de prétraitement des données peuvent être divisées en trois catégories principales :

1. Le nettoyage des données.
2. La transformation des données.
3. La réduction des données.

### IX.2.3. Prise de décision concernant la machine (Machine decision making)

Il s'agit de la dernière étape de la décision de maintenance, qui peut être divisée en deux catégories principales :

1. **Le diagnostic** : Se concentre sur la détection, l'identification et l'isolation des défauts lorsqu'ils se produisent.
2. **Le pronostic** : Prétend de prédire les défaillances avant qu'elles ne se produisent, et est lié à la maintenance prédictive.

Le diagnostic et le pronostic sont complémentaires dans la mesure où le diagnostic ajoute de nouvelles informations provenant du processus. Ces informations permettent de passer d'un problème non supervisé à un problème supervisé. Un modèle supervisé est toujours plus facile à développer et plus précis, ce qui implique un meilleur modèle de pronostic.

### IX.3. Limites de la maintenance prédictive [4]

On peut résumer les limites de la maintenance prédictive en :

- Nécessité de détecter les anomalies et de suivre leur évolution par la mesure d'un paramètre significatif d'où la notion d'accessibilité du matériel.
- Le coût des équipements de mesure.
- La formation poussée que certaines techniques exigent du personnel (analyse vibratoire en particulier).

### IX.4. Les techniques de la maintenance prédictive [7]

#### IX.4.1. Inspections visuelles

L'inspection visuelle a été toujours la première méthode utilisée pour la maintenance prédictive. Presque le début de la révolution industrielle, les techniciens de maintenance effectuaient quotidiennement des visites guidées des systèmes de production et de fabrication critiques, pour tenter d'identifier les défaillances potentielles ou les problèmes liés à la maintenance qui pourraient avoir un impact sur la fiabilité, la sécurité et la qualité des produits.

L'inspection visuelle reste un outil de maintenance prédictive viable, puisqu'il est simple rapide et efficient. Pour cela il devrait être inclus dans tous les programmes de gestion de la maintenance totale de toute industrie.

#### IX.4.2. La thermographie

Utilisée pour surveiller l'état des machines, des structures et des systèmes d'une industrie. Elle utilise des instruments conçus pour contrôler l'émission d'énergie infrarouge (température de surface) pour déterminer l'état de fonctionnement de l'organe examiné.

En détectant les anomalies thermiques (zones plus chaudes ou plus froides qu'elles ne devraient l'être), un technicien expérimenté peut localiser et définir une multitude d'anomalies et de problèmes naissants au niveau des installations techniques.

**1) Types de systèmes thermographiques :** Trois types d'instruments sont généralement utilisés dans le cadre d'un programme efficace de maintenance :

1. Les thermomètres infrarouges.
2. Les scanners de lignes.
3. Les systèmes d'imagerie infrarouge.

## Chap. 1 : Concept générale sur la maintenance prédictive

---

La thermographie est une technique de maintenance prédictive utile pour les raisons suivantes :

- Il n'entre pas en contact avec la surface.
- La technique ne comporte pas d'actions dangereuses.
- Il peut être utilisé dans les zones dangereuses.
- Il n'est pas affecté par les ondes électromagnétiques.
- Comme d'autres techniques prédictives, elle est utilisée pendant que les systèmes sont fonctionnés.
- Il fournit des informations instantanées.
- Les données peuvent être collectées et stockées sous forme numérique.

2) **Applications de la thermographie** : La thermographie est appliquée pour la détection des défauts dans les domaines suivants :

- Équipements électriques.
- Équipements mécaniques.
- Systèmes énergétiques.
- Systèmes électroniques.

### IX.4.3. Analyse acoustique

1) **Définitions** : Les ultrasons, comme l'analyse des vibrations, sont un sous-ensemble de l'analyse du bruit. La seule différence entre les deux techniques est la bande de fréquence qu'elles surveillent. Dans le cas de l'analyse des vibrations la plage surveillée est comprise entre **1Hz** et **30KHz**.

Les fréquences élevées sont utiles pour certaines applications, comme la détection de fuites qui créent généralement un bruit à haute fréquence causé par l'expansion ou la compression de l'air, des gaz ou des liquides lorsqu'ils traversent un orifice, ou une fuite dans un récipient sous pression ou sous vide. Ces fréquences élevées sont également utiles pour mesurer les niveaux de bruit ambiant dans diverses zones d'une industrie.

2) **Applications** : On peut utiliser l'analyse des bruits pour :

- Contrôle des échangeurs de chaleur, chaudières, condenseurs et compresseurs.
- Détection des fuites de vapeur et d'air.

## Chap. 1 : Concept générale sur la maintenance prédictive

---

- Inspection des roulements et des systèmes mécaniques.
- Inspection des vannes et des purgeurs de vapeur.
- Inspection électrique.

### IX.4.4. Analyse vibratoire des machines tournantes [3]

En pratique, une bonne conception produira de faibles niveaux vibratoires dans une machine tournante. Cependant, la machine vieillissante, les fondations travaillent, les pièces se déforment et s'usent, et de légers changements dans ses propriétés dynamiques apparaissent. Les arbres se désalignent, les paliers s'usent, les rotors se déséquilibrent, les courroies se détendent, les jeux augmentent.

Tous ces facteurs se traduisent par une augmentation de l'énergie vibratoire qui excite les résonances et ajoute une charge dynamique considérable aux paliers.

Les vibrations recueillies lors des campagnes de mesures sont porteuses d'informations qui caractérisent l'état de fonctionnement de certains composants mécaniques constituant la machine analysée. C'est grâce à l'analyse de ces vibrations qu'il est possible de détecter les composants défectueux et éventuellement de les localiser.

Lorsqu'un certain seuil (correspondant à un niveau de vibration limite) fixé est atteint, il est possible d'estimer la durée de vie résiduelle du composant dans les conditions de fonctionnement données à partir de la connaissance des lois d'endommagement.

### IX.5. Choix d'une technique d'analyse [8]

Chaque méthode a son champ d'application privilégié. Par exemple : l'analyse vibratoire convient aux défauts liés à la cinématique et à la structure de la machine. Mais dans une plage de fréquences déterminées, situées généralement entre *quelques Hz* et plusieurs *dizaines de KHz*, elle couvre les défauts spécifiques aux roulements. A plus hautes fréquences, au-delà de **20KHz**, il est souvent préférable d'utiliser un contrôle par ultrasons ou par émission acoustique.

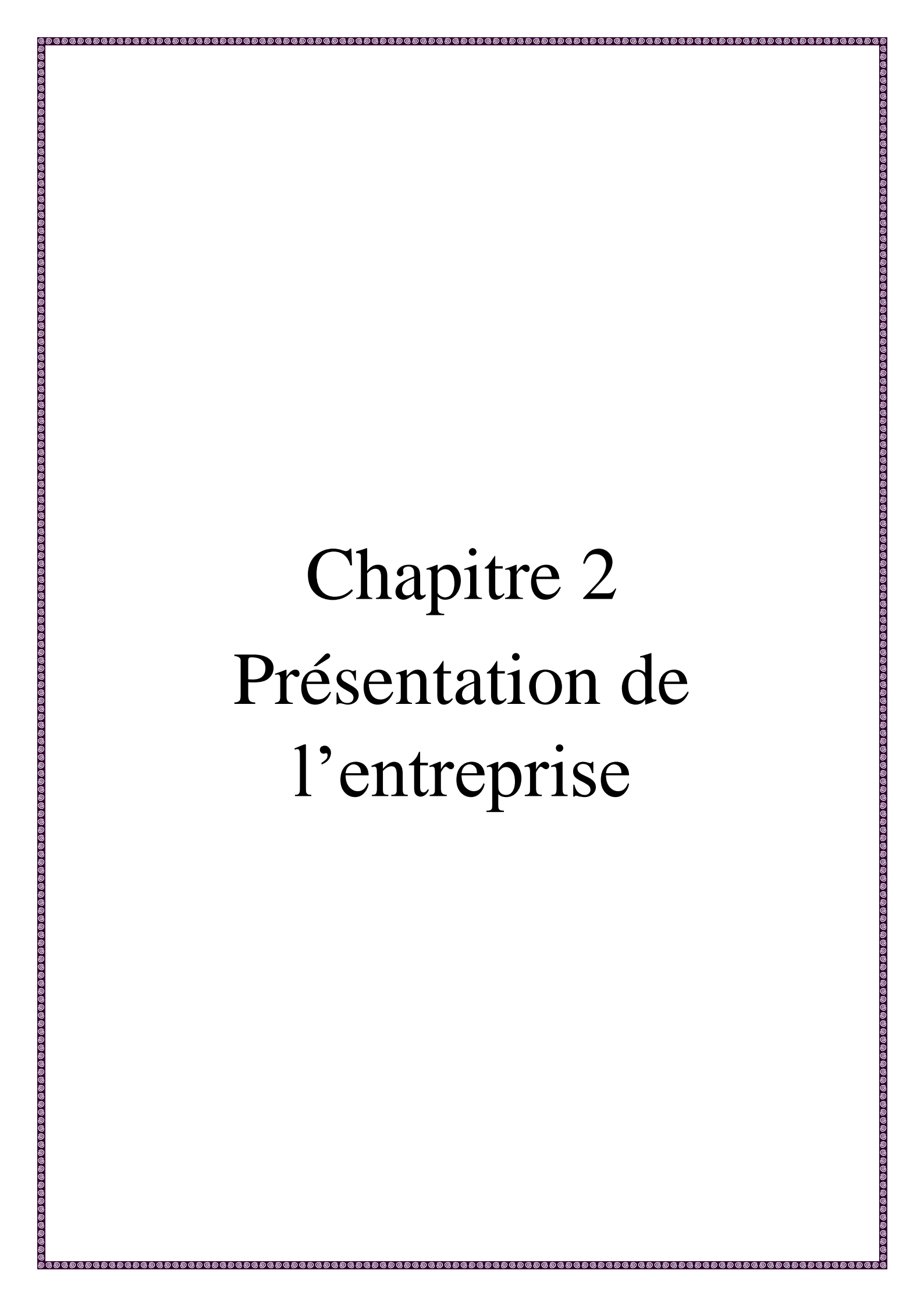
L'analyse acoustique se limite à la détection de bruits dans les fréquences audibles. Mais lorsque la dégradation d'un roulement, par exemple, se manifeste en une fréquence audible, il est souvent trop tard pour intervenir.

L'analyse d'huile consiste principalement à contrôler les particules présentes dans l'huile, ce qui va révéler une usure anormale d'un ou plusieurs organes. Elle doit être appliquée dans le cas de machines où l'huile joue un rôle primordial et lorsque l'analyse des débris d'usure est significative.

**Tableau I.3 : Différentes techniques d'analyse pour maintenance prédictive [8]**

Types	Principaux avantages	Principaux limitations	Champs d'applications privilégiés
<b>Analyse vibratoire</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Détection de défauts à un stade précoce.</li> <li>▪ Possibilités de réaliser un diagnostic approfondi.</li> <li>▪ Autorise une surveillance continue.</li> <li>▪ Permet de surveiller l'équipement à distance (télémaintenance)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Spectres parfois difficiles à interpréter.</li> <li>▪ Dans le cas de la surveillance continue, installations relativement coûteuses.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Détection des défauts de tous les organes cinématiques de la machine (balourd, défauts d'alignement, jeux, etc.) et de sa structure.</li> </ul>
<b>Analyse d'huile</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Détection d'une pollution anormale du lubrifiant, avant que celle-ci n'entraîne une usure ou un échauffement.</li> <li>▪ Possibilités de connaître l'origine de l'anomalie par analyse des particules.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Ne permet pas de localiser précisément le défaut.</li> <li>▪ Nécessite de prendre de nombreuses précautions dans le prélèvement de l'échantillon.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Contrôle des propriétés physico-chimiques du lubrifiant.</li> <li>▪ Détection d'un manque de lubrifiant.</li> <li>▪ Analyse des éléments d'usure.</li> </ul>
<b>Thermographie IR</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Permet de réaliser un contrôle rapide de l'installation.</li> <li>▪ Interprétation souvent immédiate des résultats.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Détection de défauts à un stade moins précoce que l'analyse vibratoire.</li> <li>▪ Contrôle limité à ce que «voit» la caméra (échauffements de surface).</li> <li>▪ Ne permet pas de réaliser un diagnostic approfondi.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Détection de tous les défauts engendrant un échauffement (manque de lubrification en particulier).</li> </ul>
<b>Analyse acoustique</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Permet de détecter l'apparition des défauts audibles.</li> <li>▪ Autorise une surveillance continue.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Sensibilité au bruit ambiant.</li> <li>▪ Diagnostic souvent difficile à réaliser.</li> <li>▪ Problèmes de répétabilité des mesures.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Détection d'un bruit inhabituel pouvant ensuite être analysé par analyse vibratoire.</li> </ul>





# Chapitre 2

## Présentation de l'entreprise

### I. Introduction

La thématique de notre travail est d'appliquer la maintenance prédictive au niveau à une installation technique au niveau de la centrale **SPE de TIARET**. Alors ont choisi ce chapitre pour présenter ce lieu privilégié à notre étude.

Ce chapitre est dédié donc à décrire le lieu de notre stage, et en particulier à la description du turbo alternateur de la centrale de la production électrique de Tiaret. Ce turboalternateur fera l'objet de notre étude, puisque c'est une machine de grande importance dans la production de l'énergie électrique, ainsi qu'il présente une matière riche en historique, ce qui nous a permis d'avoir une base de données comme support important pour le déroulement de notre analyse.

L'analyse est poursuivie par l'application des outils de la maintenance prédictive, qu'on a déjà décrit au chapitre précédent. Telles que : l'analyse vibratoire ; l'analyse d'huile et comptage de particules ; l'analyse thermographie ; .... Dans le but de déterminer l'état de cet équipement et afin d'intervenir au bon moment avant toute défaillance importante.

### II. Identification de l'entreprise

La SPE de Tiaret est une société de production de l'énergie électrique, suite à un processus bien défini, basé sur la transformation de l'énergie chimique vers une énergie thermique, qui est à son tour transformée en énergie mécanique qui entraîne la production de l'énergie électrique. Sa capacité de production est de 404 MW divisée en deux groupes de Turboalternateurs **FIAT** et **ALSTHOM** utilisant le Gaz Naturel comme combustible.

Implanté au sud-est de la ville de Tiaret, à environ 07 Km du centre de la ville, sur la route menant vers la ville de Sougueur. Etalée sur une superficie de 40 hectares. Cette centrale productrice de l'énergie électrique appartenant à l'entreprise nationale SONALGAZ.



**Figure II.1 : Photo panoramique de la centrale.**

### III. La structure de la centrale

#### III.1. Poste à gaz

Le poste à gaz permet de filtrer, déshydrater, réchauffer et détendre le gaz à la pression et à la température de fonctionnement des groupes, pour préparer le combustible nécessaire pour le Fonctionnement de la turbine



Figure II. 2 : Poste à gaz.

#### III.2. Skid séparateur

Le séparateur permet de piéger les bouchons d'hydrocarbures susceptibles d'être entraînés par le courant gazeux. Les liquides et les impuretés se déposent au fond de la cuve du séparateur, elles sont évacuées vers une citerne. Il y a deux vannes d'isolement installées à l'entrée du poste à gaz.



Figure II.3 : Skid séparateur.

## Chap. 2 : Présentation de l'entreprise

---

### III.3. Vanne de sectionnement

C'est une vanne manuelle d'isolement 100V, situé a l'entré de poste gaz. Elle a pour rôle d'isoler la ligne principale du gaz naturel de manière sur en cas d'arrêt normal ou de longue durée.

### III.4. Vanne de sécurité

C'est une vanne de sécurité principale FSV100, a commande pneumatique situer après la vanne 100V.

Elle a pour rôle d'isoler la ligne gaz de manière rapide et sure. En cas d'urgence. Elle fonctionne selon deux modes : commande automatique ou manuelle

Lorsque le niveau des impuretés « condensas » est très haut, le détecteur de niveau provoque la fermeture de la vanne d'isolement et arrête des groupes.

### III.5. Skid de filtration

Le gaz provenant du skid primaire passe dans le filtre à cartouche qui élimine les impuretés solides et la poussière.

Les cartouches doivent être remplacées lorsque la pression différentielle aux bords du filtre atteint le seuil d'encrassement.

Un système de séparation magnétique attire les particules métalliques. Un nettoyage périodique permet d'éliminer les dépôts recueillis.

On le trouve après la séparation primaire, il est composé de deux filtres, le 1er est en service 200FI et le 2ième est un filtre de secours 201FI, ils sont composés d'une partie à cartouche associé à un système de séparation magnétique, leur rôle est d'éliminer toutes particules métalliques ou magnétique, les poussières et les gouttelettes de condensât.



**Figure II.4 : Skid de filtration.**

### III.6. Réchauffage de gaz

Après le skid de filtration on a un réchauffeur de gaz qui permet de porter la température du gaz à 40°C Le gaz circule dans des faisceaux de tuyaux échangeur. Deux chaudières assurent le réchauffage en deux modes de fonctionnement.



Figure II.5 : Chaudière.

### III.7. Réchauffage d'attente

La chaudière chauffe l'eau à une température de 88°C. Le gaz ne circule pas à l'intérieur de cette chaudière. Quand la température d'eau descend au-dessous de 86°C, un ordre est donné pour l'ouverture de la vanne du brûleur de ¼ de tour Lorsque la température eau monte au-dessus de 88°C la vanne se ferme et les brûleurs s'éteignent. Ainsi cette chaudière gardera en secours une réserve d'eau chaude en cas de problèmes sur l'autre chaudière.

### III.8. Réchauffage en mode TIC300

L'échauffement du gaz est assuré par le régulateur qui contrôle la température sur la sortie chaudière.

La température du gaz est prise sur la tuyauterie sortie chaudière. Le signal température est envoyé vers le régulateur TIC300 qui convertit ce signal en pression pour commander la vanne des brûleurs. Le signal élaboré par le régulateur est proportionnel à l'écart qui existe entre la température prélevée sur la sortie et la consigne pré réglée (40°C).

### III.8. Skid de détente

Situent après les chaudières et à coté de la citerne de méthanol. On distingue trois rampes de détente en parallèle, chaque ligne capable d'assurer le débit nécessaire et elle est composée par : Un détendeur avec clapet de sécurité de haute pression.

- Deux vannes d'isolement, entrée et sortie.
- Une vanne manuelle.
- Une vanne pilotée.
- Soupape de décharge ou de sécurité.

Le détendeur a pour rôle de ramener la pression gaz de 60 bars en entrée vers une valeur de fonctionnement de groupe 20 bars.

La vanne de régulation maintien la pression de sortie à la valeur d'exploitation pré réglée 20 bars et 30°C. Un dispositif de sortie interrompe le passage du gaz en cas d'anomalies (basse ou haute pression).

### III.10. Skid final

Ce skid est placé juste en avant de chaque groupe. Il comporte un filtre a cartouche, une vanne de sectionnement et un séparateur des condensât.

Les condensas sont évacués par une vanne. La turbine est arrêtée en cas où les condensas atteignent un niveau très haut.



**Figure II.6 : Skid finale.**

## Chap. 2 : Présentation de l'entreprise

---

### III.11. Skid - Cuve à condensât -

Il comporte un ballon de stockage des condensas provenant du piège à liquide (séparateur), les différents filtres et les soupapes de sécurité.

### III.12. Comptage

Sur la ligne de distribution vers les skid finals, le tronc de comptage est Composé de :

- Dispositif de mesure de débit.
- Thermomètre de mesure de température.
- Manomètre de mesure de pression.

### III.13. La centrale FIAT

C'est la plus ancienne, composée de 04 groupes turbo- alternateurs, construite à la fin des années 70 par le constructeur Italien FIAT. Sa puissance totale est de 100 MW.

Le premier couplage a été réalisé par la compagnie **Jeumont Sheinder** en date du 03/08/1978. Le deuxième Groupe a été couplé en date du 05/08/1978. Le troisième Groupe a été couplé en date du 08/09/1978. Le quatrième Groupe a été couplé en date du 04/11/1978.

La centrale FIAT comprend 04 groupes turboalternateurs dont chaque groupe est constitué de :

- 01 turbine à gaz TG20B2.
- 01 moteur de lancement.
- 01 coupleur hydraulique.
- 01 vireur.
- 01 pompe auxiliaire de graissage.
- 01 bac à huile de graissage de 8000 litres.
- 01 alternateur.
- 01 excitatrice.
- 01 réducteur de vitesse

### III.14. La centrale d'ALSTHOM

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

Elle comporte trois Groupes montés par la compagnie française **ALSTHOM**. Le couplage du Groupe 5 a été réalisé en date du 14/12/1988. Le couplage du Groupe 6a été réalisé en date du 11/02/1989. Le couplage du Groupe 7 a été réalisé en datedu 09/05/1989.

La centrale ALSTHOM comprend 03 groupes turboalternateurs dont chaque groupe est constitué de :

- 01 turbine à gaz 9001E.
- 01 moteur virage.
- 01 pompe auxiliaire de graissage.
- 01 Pompe de secours.
- 01 pompe HP.
- 02 pompes de circulation d'eau de refroidissement huile.
- 02 pompes de circulation d'eau de refroidissement alternateur.
- 02 ventilateurs.
- 01 Dispositif de démarrage (un moteur de lancement, un convertisseur de couple et un réducteur des auxiliaires).
- 01 bac à huile de graissage de 12 000 litres.
- 01 bache de reprise de 6000 litres.
- 01 bache de charge de 6000 litres
- 01 alternateur.
- 01 excitatrice.
- 01 Système d'aspiration.
- 01 Aéro réfrigérants turbine.
- 01 Aéro réfrigérants alternateur.



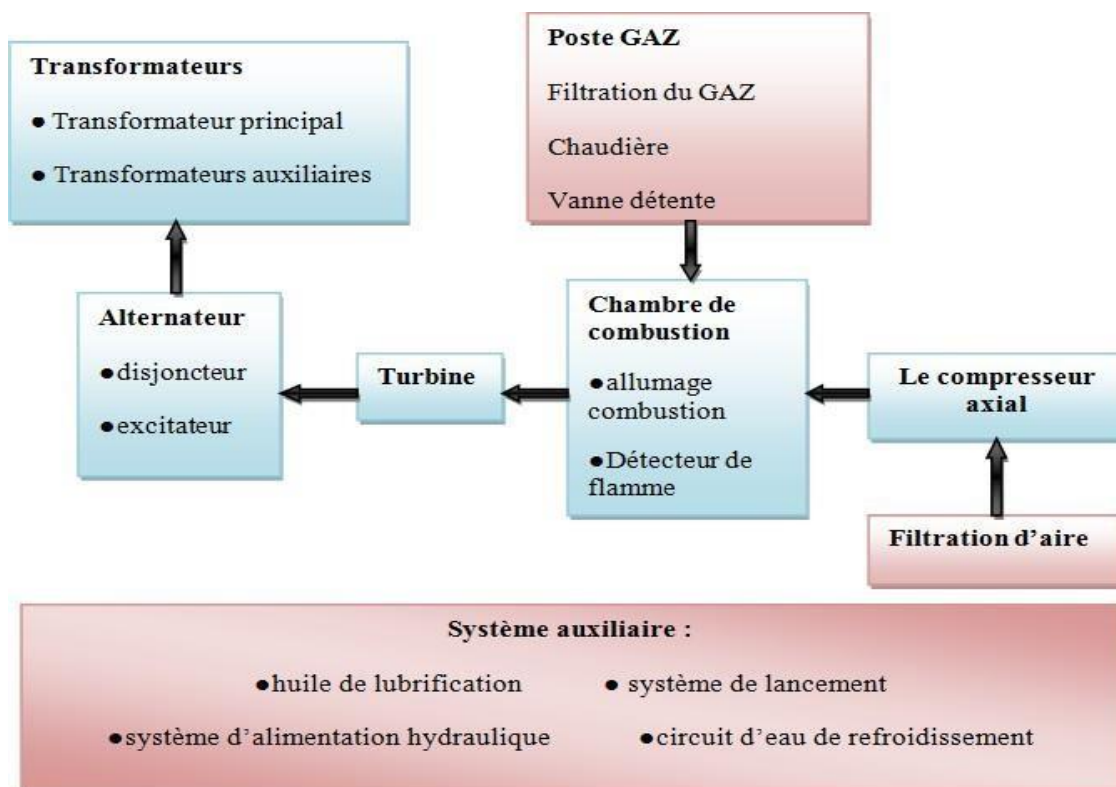


Figure II.7 : Constitution du groupe de production.

## IV. Principe de fonctionnement

### IV.1. Transformations de l'énergie

Dans la turbine à gaz, la combustion d'un mélange Air-gaz est utilisée pour produire la puissance sur l'arbre nécessaire à l'entraînement de l'alternateur.

Les gaz chauds venant des chambres de combustions traversent les 03 étages de la turbine où ils sont transformés en énergie cinétique qui est convertit elle aussi, en travail utile transmis au rotor de la turbine, qui sert à faire tourner l'alternateur.

L'énergie qui fait tourner l'alternateur est une énergie mécanique. Toutes ces transformations sont réalisées par les aubes fixes et mobiles de la turbine.

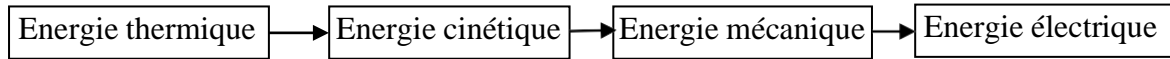
Dans les machines électriques tournantes, la puissance se trouve sous deux formes :

- **Puissance mécanique** sous forme du produit : *Couple x Vitesse*. Où la puissance mécanique implique une partie tournante solidaire de l'organe d'entraînement qui est le **rotor**.
- **Puissance électrique** sous forme du produit : *Différence de potentiel x Intensité*.

## Chap. 2 : Présentation de l'entreprise

---

La puissance électrique implique un circuit électrique intérieur relié aux bornes d'où part le circuit extérieur **stator** (siège de la puissance électrique évacuée vers le réseau).



### IV.2. Démarche de la production de l'énergie électrique

Dans ce qui suit on va donner une présentation du principe de fonctionnement d'une tranche de production :

- Le groupe thermique est constitué d'une turbine à gaz entraînant un alternateur, pour assurer une production électrique à la fréquence de 50Hz.
- La turbine à gaz a un seul arbre en cycle simple entraînant un alternateur.
- Dans la turbine à gaz, la combustion d'un mélange Air-Gaz est utilisée pour produire la puissance sur l'arbre, nécessaire à l'entraînement de l'alternateur principal du compresseur et de certaines auxiliaires.
- La turbine à gaz comporte un dispositif de démarrage à moteur de lancement, des auxiliaires, un compresseur axial, un système de combustion et une turbine à trois étages.
- Au démarrage, le moteur de lancement transmet son couple à la ligne d'arbre de la turbine à travers un convertisseur de couple et le réducteur des auxiliaires, qui comme son nom l'indique, entraîne un certain nombre d'auxiliaires comme les pompes par exemple.
- Dès que la ligne d'arbre est mise en mouvement par le moteur de lancement, l'air atmosphérique est aspiré, filtré et dirigé à travers les graines d'admission vers l'entrée du compresseur axial. (Alstom à 17 étages ; Fiat à 18 étages).
- A la sortie du compresseur, l'air pénètre dans un espace annulaire entourant les chambres de combustion (Alstom contient 08 chambres ; Fiat 14 chambres). Puis il passe dans l'espace situé entre l'enveloppe des chambres et les tubes de flamme.
- Le combustible est introduit par les injecteurs dans chacune des chambres de combustion où il est mélangé à l'air de combustion provenant du compresseur. La mise à feu est réalisée par des bougies d'allumage (Fiat 02 bougies ; Alstom une

seule suffit).

- La flamme se propage dans les autres chambres à travers les tubes d'interconnexion qui les relient entre elles au niveau de la zone de combustion.
- Les gaz chauds venant des chambres de combustions traversent les trois étages turbines, chaque étage est constitué par un ensemble d'aubes fixes suivi d'une rangée d'aubes mobiles.
- Dans chaque rangée d'aubes fixes, l'énergie cinétique du jet de gaz augmente tandis qu'apparaît une diminution de la pression dans la rangée adjacente d'aubes mobiles. Une partie de l'énergie cinétique du jet est convertit en travail utile transmis au rotor de la turbine.
- Le travail fourni au rotor de la turbine sert à faire tourner l'alternateur et en partie à l'entraînement du compresseur axial et des auxiliaires de la turbine. Par définition un alternateur est une machine électromagnétique destinée à fournir un courant alternatif.
- L'alternateur est composé principalement d'une partie fixe appelée stator et qui est solidaire du massif et d'une partie mobile tournante appelée rotor accouplé à celui de la turbine par des brides. Ces deux parties comportent un circuit magnétique et sont séparées par un espace vide permettant la rotation appelée l'entrefer.
- Le rotor supporte l'enroulement qui crée le champ magnétique (inducteur) et le stator contient l'enroulement où apparaît la puissance électrique (induit). Le champ magnétique est créé par la rotation du rotor correspondant à la vitesse nominale de la turbine qui est de 3000tr/mn.
- A cette vitesse, le champ magnétique qui est la conséquence d'une puissance mécanique est transformé en puissance électrique au niveau des bornes du stator qui est le siège de puissance électrique qui doit être évacuée vers l'extérieur (réseau).

### IV.3. Démarrage d'un groupe

#### IV.3.1. La mise en service des auxiliaires

Avant démarrage on positionne le sectionneur séquence sur position virage. Le démarrage de la pompe à huile auxiliaire **88QA** par le commutateur de marche armoire **ATG**. Puis on

## Chap. 2 : Présentation de l'entreprise

---

donne un ordre de marche du moteur de lancement **88CR** pour décoller la ligne d'arbre.

L'huile est admise dans le convertisseur de couple par l'excitation de l'électrovanne **20TU**. Deux secondes après la mise sous tension du moteur de lancement sera faite. Dès que la vitesse est suffisante le moteur de lancement s'arrête et le moteur de virage **88TG** démarre.

On positionne le sectionneur de séquence sur la position Auto. Puis on donne un ordre de marche avec un couple mini sur le convertisseur. Après deux secondes la géométrie du convertisseur est changée avec le moteur convertisseur de couple **88TM** sur la position couple maxi pour lancer la turbine.

Le moteur de virage s'arrête, les ventilateurs **88BA1** et **88BA2** démarrent. La vitesse de la turbine continue à augmenter et ce jusqu'à la vitesse d'allumage (17% NHP soit 500tr/mn).

Le relais **14HM** s'excite et la géométrie interne du convertisseur est modifiée par le moteur **88TM** sur couple mini pour maintenir la vitesse d'allumage constante. Après la ventilation (le temps de purge est de 2 minutes pour assurer qu'il n'y a pas de combustible) d'allumage démarre pour une minute, en alimentant les bougies.

Le gaz est envoyé dans les injecteurs. La turbine est sous le contrôle de la boucle de démarrage. Dès la détection de flamme le débit du combustible est ajustée à la valeur de réchauffage.

Le convertisseur de couple est remis en position couplez maxi pour aider le groupe accélérer.

A la fin de la période de réchauffage la boucle de démarrage monte le débit combustible (VCE). Le rendement du groupe s'améliore et la vitesse augmente à **50%** soit **1500tr/mn**. Le relais **14HA** s'excite indiquant que la turbine entame vraiment la phase d'accélération avec un taux d'accroissement limité.

Lorsque la turbine atteint sa vitesse d'auto sustentation (70%NHP (puissance horaire nominale) soit 2100tr/mn), la montée du relais **14HC** fournit le signal permettant l'arrêt du moteur de lancement. Ce moment le convertisseur de couple se vidange par graviter (désexcitation de l'électrovanne **20TU**).

La vitesse de la turbine arrive à **95% NHP** ou le relais **14HS** s'excite. Ce relais provoque :

- La fermeture des vannes anti-pompage. L'ouverture des **IGV (les aubes entrées compresseur)** à **57°**.

## Chap. 2 : Présentation de l'entreprise

---

- L'amorçage de l'excitation.
- Pompe hydraulique axillaire **88HQ** s'arrête.
- La régulation est sous contrôle de la boucle vitesse/charge.
- La turbine est à la vitesse de service sans charge.

Pour coupler le groupe sur le réseau le synchro-coupleur réunit les conditions de synchronisation et donne un ordre automatique au disjoncteur du groupe pour se fermer.

### IV.3.2. Condition de Couplage d'un groupe sur le réseau

Le couplage de l'alternateur sur le réseau consiste à fermer le disjoncteur de sortie pour permettre la fourniture de courant à ce réseau.

### IV.3.3. Surveillance et conduite

Les opérations de surveillance consistent généralement en :

- Surveiller la température échappement pour déclencher la turbine en cas de dépassement de température.
- Réagir en cas d'apparition d'alarme.
- Inspection visuelle sur le champ (fuites, les bruits anormaux et les signes d'échauffement).
- Assurer le bon fonctionnement de virage.
- Vérifier les circuits (huile, gaz, air et eau).
- Nettoyage des filtres (système d'admission, le circuit huile et le circuit gaz).
- Respecter les consignes de sécurité.

### IV.3.3. Réglage de puissance

Le régulateur amène et maintient à un niveau présélectionné la puissance active du groupe. Il limite également la puissance à une valeur maximum (limite imposée par la régulation de température).

A la fermeture du disjoncteur **52G** la charge augmente automatiquement jusqu'à la charge de réserve tournante **5MW**.

La puissance de charge manuelle se fait par action sur le commutateur ; c'est-à-dire, que suivant l'impulsion donnée ( $\pm$  vite) la charge augmentera ou diminuera. L'augmentation en

## Chap. 2 : Présentation de l'entreprise

---

charge manuellement est au maximum **25%** par minute de la charge de départ de telle façon que, la charge totale est prise dans un temps de 12 minutes.

La prise de charge automatique est effectuée avec le sélecteur de charge Base-ponté ou charge présélectionnée. Le régulateur de charge donne des ordres  $\pm$  vite dans le sens convenable de façon à amener la puissance de la machine à la valeur présélectionnée.

- Pour régler la **puissance active** le régulateur agit sur le débit du combustible.
- Pour régler la **puissance réactive** le régulateur agit sur la tension d'excitation.

### IV.3.5. Réglage de la tension

On règle manuellement la tension par l'action sur le commutateur ( $\pm$  U). En mode automatique le synchro-coupleur compare la valeur des deux tensions : de l'alternateur et du réseau.

Il agit pour éliminer l'écart entre les deux tensions en donnant des impulsions ( $\pm$  U). La durée des impulsions ( $\pm$  U) est proportionnelle à l'écart entre les deux tensions.

### IV.3.6. Réglage de fréquence

Le réglage manuel de la fréquence de l'alternateur à celle du réseau se fait par l'action sur le bouton ( $\pm$  vite). En mode automatique le synchro-coupleur compare la valeur des deux tensions : de l'alternateur et du réseau.

## IV.4. Arrêt d'un groupe

L'arrêt d'un groupe se fait par :

- L'arrêt de turbine par l'action d'ordre d'arrêt (signal **94X** maintenu).
- La diminution de la charge jusqu'à ouverture du disjoncteur groupe **52G** par retour de puissance **7MW**, provoquant l'ouverture de contacteur d'excitation et l'ouverture automatique des vannes pour passe air compresseur.
- Décélération de la vitesse jusqu'à la retombée du **14HS (relais de vitesse)** à **97.5% NHP** et démarrage de la **88QA** et de la **88H**.
- A **84% NHP**, le signal de commande **IGV** passe à **zéro** et les aubes variables se ferment à **34°**.
- A la retombée du **14HC** à **40% NHP**, on a :

## Chap. 2 : Présentation de l'entreprise

---

- ✓ Arrêt du **88HQ** et du **88FX**.
- ✓ Extinction des flammes.
- ✓ Fermetures des vannes SRV et **GCV**.
- ✓ Maintien du circuit de protection désexcité.
- ✓ A la retombée du relais **14HM à 1.6NHP**, on a :
- ✓ Mise en service minuterie de refroidissement **62 CDX 20h**.
- ✓ Le virage se met en service.
- ✓ Le moteur **88TM** positionne le convertisseur au couple virage (rotation de **TG à 4% NHP**).

### IV.5. Après un ordre d'arrêt

Après fonctionnement la ligne d'arbre doit être refroidie pour éviter toute déformation du rotor par fléchissement. La durée du refroidissement est de 20 heures, et la vitesse de rotation est de 120tr/mn. Un refroidissement uniforme empêche les phénomènes de flèche ; de grippage ; de balourd se produise au rotor, ainsi qu'une détérioration des paliers. Sans cette phase ces phénomènes se traduiraient par des vibrations importantes lors du prochain démarrage.

## V. Informations techniques et administratifs

### V.1. Règles et consignes d'exploitations spécifiques

#### V.1.1. Consignes d'exploitation

On a trois types de consignations :

- 1) Général pour tout type de (**TG turbine à gaz**) et **TV (turbine à vapeur)**.
- 2) Permanentes pour chaque type de groupe.
- 3) Temporaires, elle est limitée par le temps.

#### V.1.2. Documents d'exploitation

1. **Cahier de quart** : Le cahier de quart doit en principe contenir que des informations exactes sur l'exploitation ; les incidents et les consignations du matériel ; ainsi que,

## Chap. 2 : Présentation de l'entreprise

---

les manœuvres. Nous vous communiquons quelques exemples pour la tenue de ce cahier.

- ✓ **Case incident** : Noter tous les incidents ou défauts survenus sur une machine ou une partie de l'ouvrage, ainsi que les manœuvres consécutives à ces incidents.
  - ✓ **Case heures** : Noter exactement l'heure du déclenchement ou de l'alarme ou de la manœuvre exécutée.
  - ✓ **Case manœuvres** : Cette case doit contenir les manœuvres effectuées.
  - ✓ **Case consignations** : Dans cette case doit figurer tous les ouvrages consignés, groupes à l'arrêt pour divers travaux, auxiliaires, etc... Ne pas oublier de mentionner chaque jour l'ouvrage consigné avec la date depuis la consignation, le N° du message, le nom de la personne qui a procédé à la consignation.
  - ✓ **Case mémento** : En principe cette case doit contenir quelques informations à titre de rappel ou par exemple les N° degroupes en service à chaque prise de quart. Il est préférable d'éviter de mentionner sur le cahier de quart les heures supplémentaires ou autres informations qui ne sont pas à caractère de l'exploitation.
- 2. Carnet de messages** : Il doit comporter les informations suivantes :
- ✓ Le message proprement dit (rédaction du message).
  - ✓ Date du message.
  - ✓ Heure de fin de transmission.
  - ✓ Numéro message local.
  - ✓ Numéro message correspondant.
- 3. Carnet de consignes** : IL permet de consigner l'état des équipements de la centrale et ainsi tenir informer l'équipe d'exploitation entrante sur la situation réelle de la centrale. Les consignes sont rédigées par l'équipe sortante et signées par les deux parties.
- 4. Carnet d'astreinte** : Il comporte les informations suivantes :
- ✓ Date d'astreinte.
  - ✓ Nom et prénom de l'agent d'astreinte.
  - ✓ Poste de travail et structure d'appartenance de l'agent astreinte.



## Chap. 2 : Présentation de l'entreprise

---

✓ Observation de l'astreinte.

✓ Visa du chef de file d'équipe d'astreinte.

### 5. Rapport journalier : Il comporte :

✓ Relevés des paramètres mécaniques et électriques des groupes.

✓ Relevés des paramètres mécaniques et électriques des auxiliaires.

✓ Comptage de l'énergie produite, consommation des auxiliaires, consommation des combustibles (gaz et gas-oil).

### 6. Registre des essais : Il Comporte :

✓ Date des essais.

✓ Nom et visa du responsable d'essais.

✓ Types et natures des essais.

✓ Paramètres et résultats.

✓ Observations.

### 7. Rapport d'incident : Un rapport de description qui doit décrire :

✓ La Situation avant l'incident : Groupes en service ; puissance active et réactive ; indisponibles ; disponible ; en réserve ; ....

✓ Matériel en cause

✓ Date et heure de l'incident.

✓ Nature de l'incident

✓ Fonctionnement des protections et signalisations apparues.

✓ Les heures de fonctionnement depuis sa remise en exploitation, après visite générale et depuis sa mise en service.

✓ L'énergie indisponible.

✓ Déroulement de l'incident.

✓ Causes présumées.

✓ Les travaux et manœuvres effectués.

## Chap. 2 : Présentation de l'entreprise

---

- ✓ Les actions à entreprendre

### V.2. La turbine

#### V.2.1. Description et combustion

La turbine est l'élément qui permet de transformer l'énergie calorifique issus des chambres de combustion en énergie mécanique nécessaire à entrainer à la fois: le compresseur; l'alternateur et le réducteur des auxiliaires. Elle utilise les 2/3 environ de son énergie mécanique pour faire tourner le compresseur.

Les principaux élément constituant la section turbine sont :

- Le rotor turbine et son aubage.
- Le corps turbine.
- Les directrices et les diaphragmes.
- Les segments de protection.
- Le cadre d'échappement.
- Le diffuseur d'échappement

La turbine comporte trois étages, chaque étage est composé des directrices (aubes fixes), suivie d'une roue (aubes mobiles).

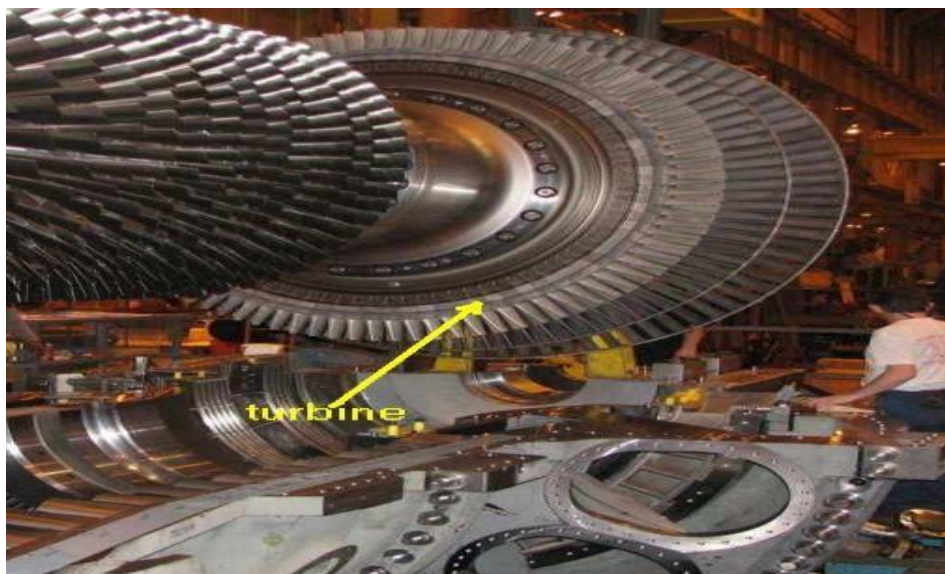


Figure. II.8 : turbine.

### V2.2. Eléments constitutants

1. **Rotor** : Le rotor se compose de :

- **Arbre Avant:** S'étend de la bride arrière de liaison au rotor compresseur à la face avant de la 1<sup>ère</sup> roue turbine. Il comporte la fusée du palier N°2.
- **Arbre Arrière:** S'étend de la 3<sup>ème</sup> roue à la bride avant de l'accouplement avec le rotor alternateur. Il comporte la fusée du palier N°03.
- **Roue turbine** : Composée de trois (03) roues, chaque roue porte des aubes sur son périmètre. La longueur des aubes est de plus en plus longue en partant de la 1<sup>ère</sup> à la 3<sup>ème</sup> roue. Les roues sont séparées avec des entretoises (entre 1<sup>ère</sup> et 2<sup>ème</sup> roue et entre le 2<sup>ème</sup> et la 3<sup>ème</sup> roue). L'ensemble est maintenu par 12 tirants formant le rotor turbine.

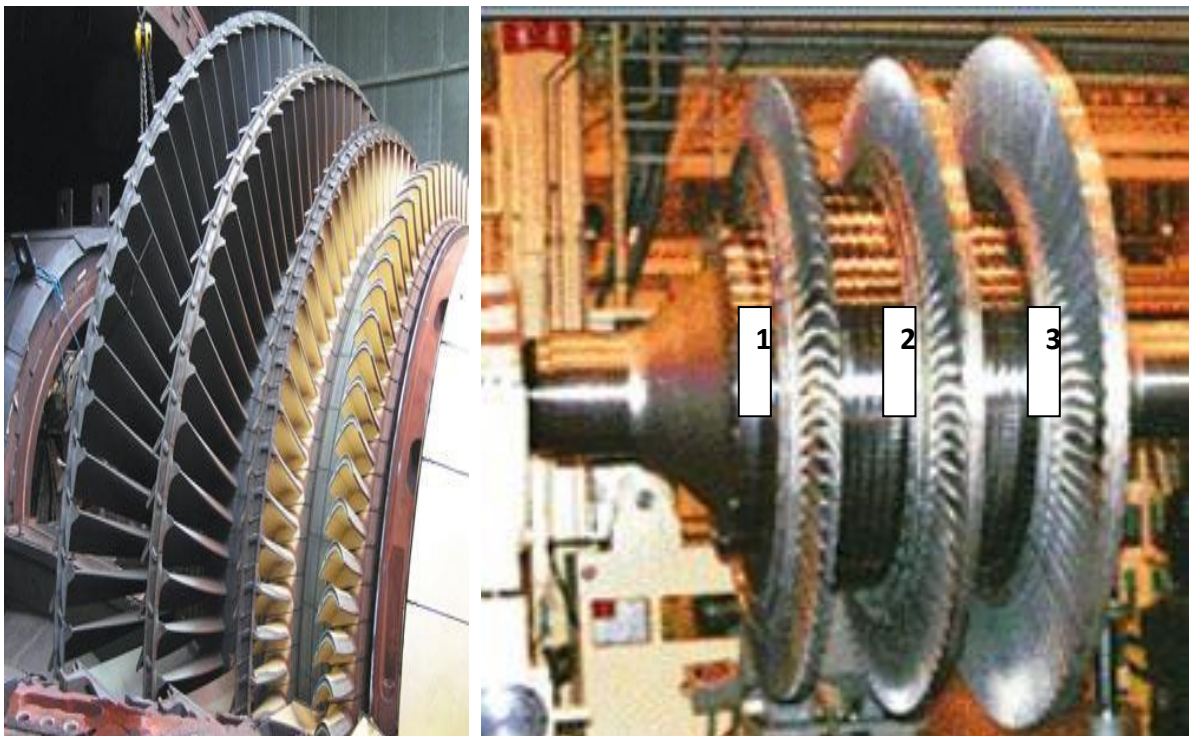


Figure II.9 : Roue turbine.

- **Les entretoises** : Situées entre les roues turbines permettent la séparation axiale de chaque roue. Les faces des entretoises comportent des fentes radiales pour le passage de l'air de refroidissement et d'étanchéité, les labyrinthes sont situés entre chaque entretoise et les diaphragmes des second et troisième étage pour assurer

l'étanchéité entre les étages.

- **Les aubes** : du 1<sup>er</sup> étage constituent le premier ensemble mobile rencontré par les gaz chauds à leur sortie de la directrice du 1<sup>er</sup> étage. Les aubes du 1<sup>er</sup> étage sont refroidies intérieurement par un débit d'air qui est introduit dans chaque aube à la base du pied, et qui passe à travers une série de canaux longitudinaux creusés à l'intérieur de l'aube et ressort dans la veine des gaz chauds par son sommet.

Les aubes du 2<sup>ème</sup> étages sont également refroidies comme les aubes du 1<sup>er</sup> étage mais l'air n'est pas introduit au niveau de la fixation du pied d'aube, il est introduit au niveau de l'échasse. Les aubes du 3<sup>ème</sup> étage ne sont pas refroidies par l'air interne.

Les aubes du 2<sup>ème</sup> et 3<sup>ème</sup> étage possèdent un segment à leur sommet qui assure l'amortissement des vibrations. Deux dents usinées de ces segments pour former un labyrinthe et assure l'étanchéité au sommet des aubes tournants.

### 2. **Stator** : Le stator de la turbine comporte le corps turbine et le cadre d'échappement

- **Corps turbine** : Il assure les positions axiale et radiale des directrices et des segments de protection ainsi que les jeux par rapport aux aubes turbine.

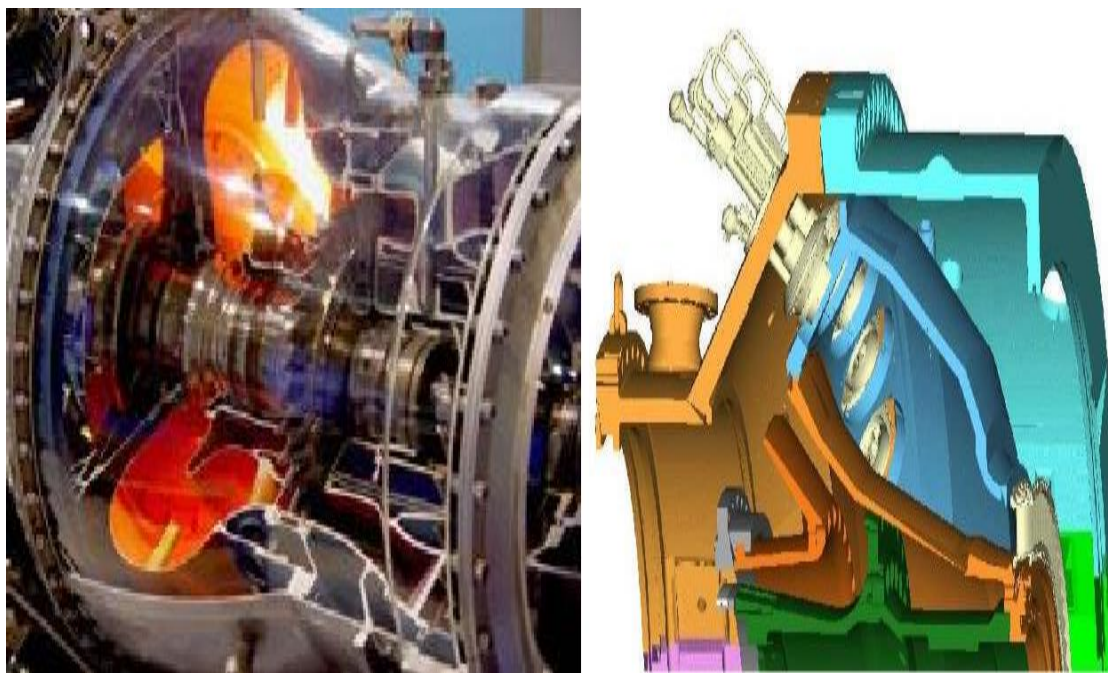
Le corps turbine est placé entre le corps d'échappement et le carter des chambres de combustion.

Le corps turbine est refroidi par de l'air en provenance de ventilateurs placés à l'extérieur de l'enceinte de la turbine et entraînés par des moteurs électriques 88TK. L'air circule dans des passages aménagés dans le corps turbine qui se prolongent dans le cadre d'échappement. Il est ensuite canalisé entre les entretoises de maintien de l'ensemble palier N°3 et leur carénage. A sa sortie il refroidit notamment la face arrière de la dernière roue turbine.

- **Cadre d'échappement** : Il permet de guider les gaz chauds sortant et cadrer la chambre de combustion.

### 3. **Système de combustion** : Le système de combustion est conçu de manière à assurer une bonne combustion avec un minimum de perte de charge.

En distingue 14 chambres de combustion réparties autour du corps d'échappement du compresseur. Les gaz chauds dégagés par ces chambres sont utilisés comme fluide moteur de la turbine.



**Figure II.10 : Chambre de combustion.**

L'air sortant du compresseur est canalisé autour des tubes de flamme à l'extérieur. Il entre dans la zone de combustion par des trous calibrés. Ces trous assurent la combustion correcte du combustible.

Ensuite l'air se dirige vers le chapeau de tube de flamme à l'intermédiaire de turbuler où il se mélange avec le gaz. La mise à feu est réalisée par les bougies d'allumage et la propagation des flammes est assurée par les types d'interconnexion.

Les GAZ chauds se propage vers la zone de dilution où l'air additionnel vient se mélanger à eux par les trous de dilution. Ces trous servent de passage à la quantité d'air nécessaire au refroidissement, à la température désirée des gaz de combustion. Au long de tube de flamme et chapeau, des petits trous de refroidissement assurent la formation d'un film d'air froid, le long des parois conjointement avec l'action de déflecteur interne.

A la sortie des chambres de combustion les pièces de transition dirigent les gaz chauds vers l'entrée de la 1<sup>ère</sup> directrice.

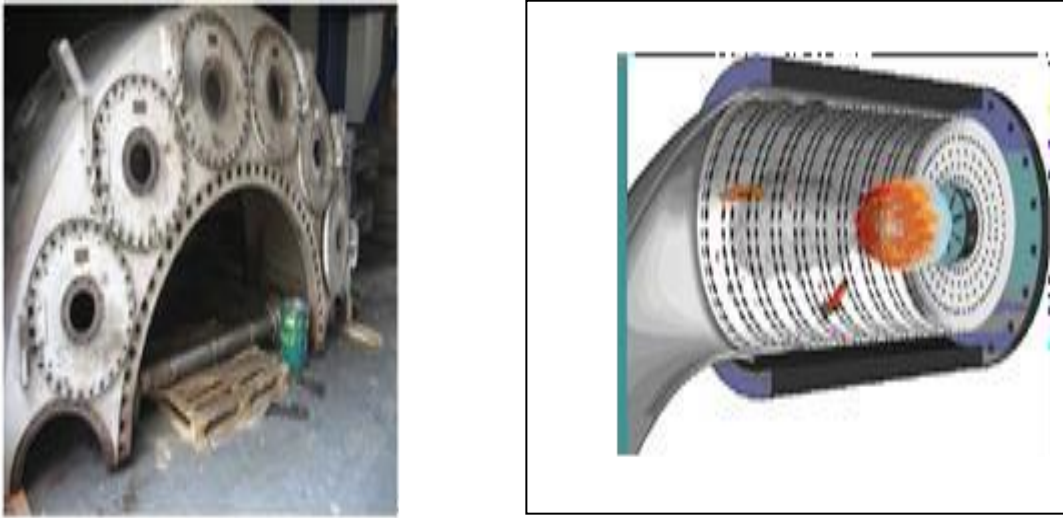
Le système de combustion situé entre la sortie du compresseur et l'entrée de la turbine, est composé de :

- **Carter des chambres de combustion** : C'est une enveloppe qui permet de diriger

## Chap. 2 : Présentation de l'entreprise

---

l'air à la sortie du compresseur vers l'enveloppe intermédiaire des chambres de combustion.



**Figure II.11 : Carter des chambres de combustion.**

- **Tube a flamme** : C'est un tube cylindrique fermé d'un seul coté avec un chapeau qui supporte l'injecteur, le tube est percé avec des trous calibrés pour assurer la combustion correcte du combustible.



**Figure II.12 : Tube a flamme.**

Le tube est divisé en trois zones :

- ✓ **Zone de réaction** : Un mélange l'air avec le gaz pour assurer la combustion.
- ✓ **Zone de refroidissement** : Une série de trous disposés le long de tube.
- ✓ **Zone de dilution** : Des trous servant à introduire de l'air afin de refroidir les gaz chauds à la température désirée.

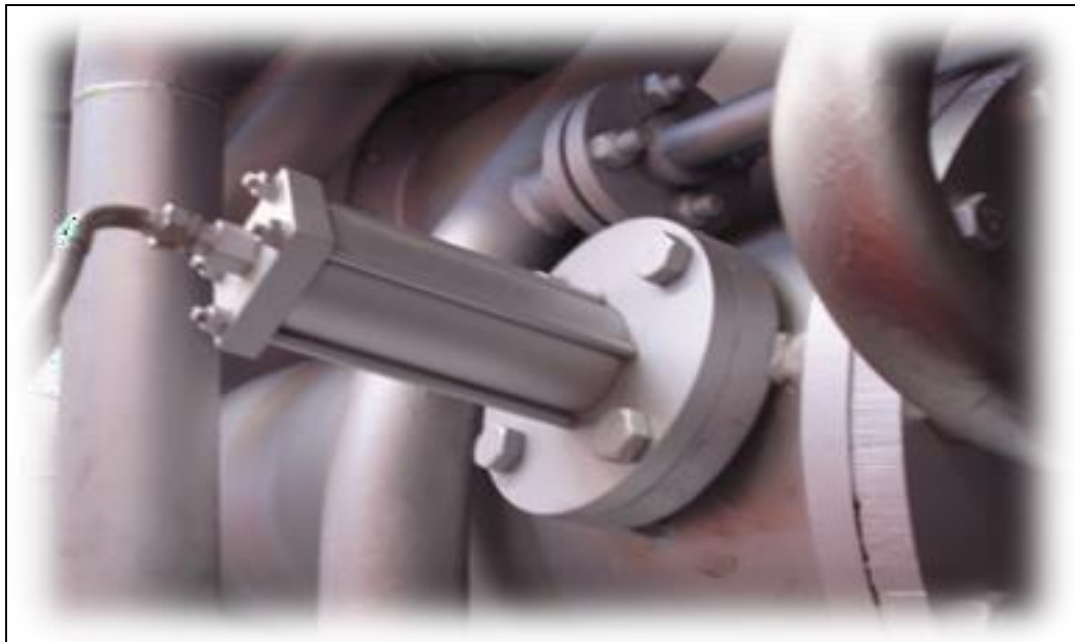
Le corps du tube comprend des colliers pour fixer les tubes d'interconnexion.

- **Enveloppe intermédiaire** : Entoure chaque tube de flamme, elle sert à guider le débit d'air d'échappement compresseur vers le chapeau de tube de flamme. Il joue le rôle d'un déflecteur.



**Figure II.13** : Enveloppe intermédiaire.

- **Injecteur** : Permet d'injecter le gaz dans le tube de flamme, l'injecteur est équipé par un turbuleur pour obtenir un mélange homogène Air-Gaz dans la zone de réaction du tube de flamme.



**Figure II.14** : Injecteur.

- **Tubes d'interconnexion (cross fire)** : Ils permettent de relier les chambres de combustion entre elles, afin de propager la flamme issue des chambres équipées des bougies d'allumage.



**Figure II.15: Tubes d'interconnexion.**

### V.2.3. Fonctionnement

L'air sortant du compresseur (10bar) est canalisé dans l'espace annulaire qui entoure les chambres. Il circule d'aval en amont entre le tube de flamme et l'enveloppe intermédiaire. Il traverse les trous du chapeau "**tube de flamme**".

Le gaz est mélangé avec l'air dans la zone de réaction lorsque la vitesse de la turbine atteint le seuil de l'allumage (600 tr/min). Les bougies sont alimentées pour créer l'étincelle à cet effet on a la flamme et les gaz chauds. Ces gaz sont dirigés par les pièces de transitions vers l'entrée de la turbine.

L'air sortant du compresseur n'est pas utilisé seulement pour la combustion, 70% à 80% sert à l'isolation thermique des tubes de flamme et du carter de chambre ainsi que la dilution des gaz chauds afin de les ramener à une température supportable par la première directrice de la turbine.

## V.3. Compresseur

### V.3.1. Caractéristiques et fonctionnement

**1. Caractéristiques :** La section compresseur à débit axial se compose d'un rotor et d'une série de corps. Les corps renferment les aubes orientables, les 17 étages du rotor et l'aubage du stator, ainsi que les deux rangées d'aubes fixes de guidage. Dans le compresseur, l'air est mis en rotation



## Chap. 2 : Présentation de l'entreprise

---

par une rangée circulaire d'aubes mobiles.

Rotor est subit à une augmentation de vitesse. En franchissant ensuite une rangée d'aubes fixes (stator), la vitesse de l'air diminue et sa pression augmente. Les aubes du rotor fournissent l'énergie nécessaire à la compression de l'air dans chaque étage et les aubes du stator guident l'air suivant une direction bien définie vers l'étage suivant.

A la sortie du corps d'échappement du compresseur, l'air est dirigé vers les chambres de combustion. Une partie de l'air du compresseur est utilisée pour le refroidissement de la turbine, l'étanchéité des paliers et la commande du dispositif anti-pompage.

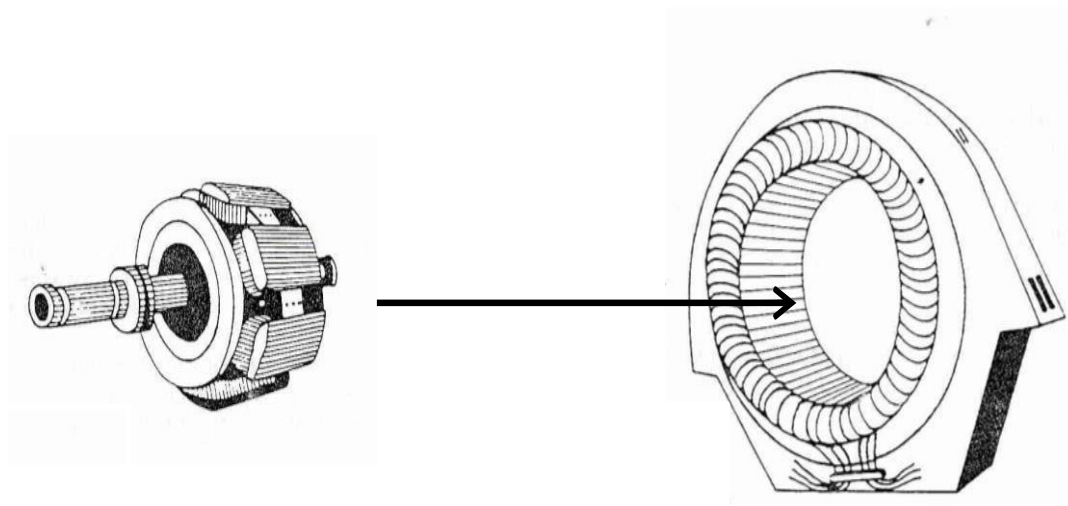


**Figure II.16 : compresseur.**

**2. Fonctionnement:** Le compresseur utilisé est de type axial, cela veut dire que la direction générale du débit d'air est axiale. Il comporte 17 étages. Dès que le rotor compresseur commence à tourner la pression augmente progressivement d'étage en étage. Cette pression est obtenue par réduction de la vitesse d'air dans les aubes du stator. C'est à dire que, lorsque l'air admis en mouvement de rotation par la partie mobile de l'étage atteint la partie fixe, sa vitesse diminue et sa pression augmente.

### **V.4. Alternateur**

L'alternateur est une machine synchrone générant un courant alternatif triphasé son rôle est de transformer une énergie mécanique en énergie électrique.



**Figure II.17 : Alternateur.**

### V.4.1. Les composants

L'alternateur est constitué de deux parties :

**1. Rotor (Inducteur) :** Entraîné par la turbine, parcourue par un courant continu qui crée un champ magnétique tournant avec les bobines du rotor. Il comprend : 2 frettes, enroulement et 2 ventilateurs à ces extrémités.



**Figure II.18 : Rotor.**

**2. Stator (Induit) :** Le stator constitue l'ensemble fixe de l'alternateur il est solidaire au massif et principalement constitué par une partie active (bobinage statorique), sa composition est faite d'un ensemble de conducteurs immobilisés dans le circuit magnétique, c'est le siège de la puissance électrique générée par l'alternateur vers le réseau, il comprend : carcasse, caisson des bornes, circuit magnétique et enroulement stator.



**Figure II.19 : Stator.**

**3. Paliers et accouplement :** Les paliers assurent la fermeture de l'alternateur, le positionnement centralisé du rotor dans le stator et minimisent les frottements mécaniques. Les accouplements (Alternateur - Turbine à gaz) et (Alternateur-Excitatrice) sont des accouplements rigides assurés par des boulons.

### V.4.2 Système de refroidissement

Plusieurs modes de refroidissement des alternateurs sont utilisés dans les centrales thermiques, selon l'importance de la puissance délivrée par l'alternateur. Les alternateurs utilisent le refroidissement à air.

Les principaux composants du circuit de refroidissement à air sont les ventilateurs axiaux, le circuit de ventilation, les réfrigérants et le circuit eau. L'air chaud est refroidi par un échangeur air-eau, brassé par les ventilateurs axiaux qui le poussent à l'intérieur de l'alternateur empruntant deux circuits distincts :

**1. Refroidisseur enroulements rotoriques :** Est obtenu par circulation forcée d'air axial radial pour refroidir les têtes de bobine est la partie active dans le fur du rotor

**2. Refroidisseur tête des bobines statoriques :** Le circuit de ventilation des têtes de bobines est indépendant du circuit de ventilation des bobines dans le fur. Le refroidissement des têtes de bobines est donc réalisé par une circulation d'air faite dans une multitude de circuits élémentaires en parallèle.

### V.4.3. Caractéristiques de l'alternateur

Le tableau suivant regroupe certaines caractéristiques de l'alternateur.

**Tableau II.1** : Caractéristiques de l'alternateur.

<b>Puissance apparente</b>	<b>126.875 MVA</b>
<b>Tension nominale</b>	<b>11500 V</b>
<b>Courant nominal</b>	<b>9.37 kA</b>
<b>Fréquence</b>	<b>50Hz</b>
<b>Facteur de puissance (cos <math>\varphi</math>)</b>	<b>0.8</b>
<b>Vitesse</b>	<b>3000tr/min</b>
<b>Survitesse</b>	<b>3600tr/min</b>
<b>Puissance active</b>	<b>101.5MW</b>
<b>Nombre d'amortisseur(rotor)</b>	<b>34</b>
<b>Nombre d'encoche (rotor)</b>	<b>34</b>
<b>Nombre d'encoche (stator)</b>	<b>66</b>
<b>Nombre de pôle (stator)</b>	<b>2</b>
<b>Excitation</b>	<b>148V, 2123 A</b>

---

### V.5. Excitatrice

L'excitation de l'alternateur est réalisée par un excitateur à diodes tournantes.

#### V.5.1. Les composants :

##### 1. Partie fixe (stator) : Constitué de :

- **Carcasse** : Elle permet de loger et de centrer le support inducteur, de constituer l'enceinte et de guide de la ventilation, de supporter le réfrigérant d'air et les tuyauteries d'alimentation et d'assurer la fixation au sol.
- **Le support inducteur** : Portant les parties actives, constituées par une culasse feuilletée composée de :
  - ✓ Un circuit magnétique Constitué par un empilage de tôles.
  - ✓ Un enroulement statorique, Formé de bobine inductrice, chacune comprend trois galettes en cuivre, reliées entre elles par des câbles soudés.
  - ✓ Un ensemble de deux bornes de puissance permet d'alimenter l'excitation en

## Chap. 2 : Présentation de l'entreprise

---

courant continu.

**2. Partie mobile (rotor) :** Le rotor est fixé en porte à faux en bout du rotor de l'alternateur principal. Il se compose de :

- **Tambour :** Un tambour en acier supporte le circuit magnétique.
- **Le circuit magnétique :** constitué par un empilage de tôles, sur lesquelles sont usinées des encoches pour loger l'enroulement d'induit.
- **Enroulement induit :** Un ensemble de conducteurs immobilisés dans le circuit magnétique. La sortie de chaque phase est montée et soudée à une prise de cuivre permettant la liaison aux blocs redresseurs.
- **Pont redresseur :** Il permet de transformer le courant alternatif de l'excitateur en courant continu pour alimenter les connexions centrales du rotor de l'alternateur. Chaque connexion solidaire de chaque tête de diode se raccorde ensuite sur l'anneau collecteur de sa polarité respective (9 phases reliées à 18 diodes). Le courant redressé est reçu sur deux anneaux en cuivre vers les connexions centrales d'excitation du turbo alternateur

### V.5.2. Caractéristiques de l'excitatrice

Le tableau suivant donne un aperçu sur les propriétés de l'excitatrice.

**Tableau II.2 :** Caractéristiques de l'excitatrice.

<b>Puissance</b>	<b>314.2 KW</b>
<b>Tension nominale</b>	<b>148V</b>
<b>Courant nominal</b>	<b>2123 A</b>
<b>Vitesse</b>	<b>3000tr/mn</b>
<b>Tension d'excitation</b>	<b>47V</b>
<b>Courant d'excitation</b>	<b>101A</b>
<b>Nombre de phase</b>	<b>9</b>
<b>Nombre de diode</b>	<b>18</b>
<b>Fréquence</b>	<b>250Hz</b>
<b>Nombre d'encoche</b>	<b>63</b>
<b>Nombre de pôles</b>	<b>10</b>

## Chap. 2 : Présentation de l'entreprise

---

### V.5.3. Mode d'excitation

L'excitation se fait par un excitateur monté en bout d'arbre de l'alternateur, il fournit le courant d'excitation du rotor de l'alternateur principal.

Un courant dont la valeur est déterminée par les conditions de fonctionnement de l'alternateur

Ce courant est injecté dans le circuit inducteur (partie fixe) de l'excitateur, ainsi l'inducteur introduit dans le circuit induit des f.é.m. qui donnent naissance à des courants alternatifs d'une fréquence de 250Hz. Ces courants sont redressés par des diodes tournantes avant d'être injectés dans le rotor alternateur.

L'excitation de l'excitateur se fait comme suite :

- Lorsque la vitesse du turbo-alternateur atteint 97.5% de la vitesse nominale, l'excitation est assurée par des batteries pour amorcer la tension du stator (alternateur principal).
- L'amorçage est stoppé lorsque la tension stator devient suffisante (30%  $U_n$ ). Dès cet instant, l'excitation est assurée par les transformateurs d'excitation alimentés par la tension stator (auto excitation).

### V.6. Transformateur

Pour éviter les pertes par effet joule, dans les lignes de transport d'énergie électrique on doit élever la tension. On résout ce problème en utilisant des transformateurs élévateurs de tension



Figure II.20 : Transformateur ALSTHOM & Fiat.

# **Chapitre 3**

## **Etude de cas**

### I. Introduction

L'analyse vibratoire consiste à détecter d'éventuels dysfonctionnements et à suivre leur évolution dans le but de planifier ou reporter une intervention mécanique. Cependant, l'expérience a montré que le paramètre le plus fiable qui donne le plus précocement l'état de détérioration d'une machine tournante est l'analyse vibratoire.

De manière générale toute machine dynamique vibre et, au fur et à mesure que l'état de la machine se détériore dans le temps, par l'apparition de certaines anomalies, tels que le balourd, défauts de roulement ou de palier etc., le niveau de vibration augmente.

En mesurant et en surveillant le niveau de vibration produit par une machine, on obtient un indicateur idéal sur son état. Si l'augmentation de vibration de la machine permet de détecter un défaut, l'analyse des caractéristiques de vibration de la machine permet d'en identifier la cause. On peut ensuite en déduire avec précision le délai avant qu'il ne devienne critique. Notre travail est consacré à l'étude du comportement vibratoire des machines tournantes, avec une application de la maintenance prédictive sur le groupe 4 de centrale Fiat de production de l'énergie électrique, au niveau de la SPE d Tiaret.

### II. Analyse vibratoire

#### II.1. Objectifs

L'analyse vibratoire poursuit deux objectifs :

1. La détection des défauts.
2. L'analyse détaillée des défauts.

On utilise à cet effet des paramètres calculés, soit dans le domaine temporel ; soit dans le domaine fréquentiel. Ou bien dans les deux à la fois.

#### II.2. Vibrations des machines tournantes [9]

En pratique, une bonne conception produira de faibles niveaux vibratoires dans une machine tournante. Cependant, la machine vieillissante, les fondations travaillent, les pièces se déforment et s'usent, et de légers changements dans ses propriétés dynamiques apparaissent. Les arbres se désalignent, les paliers s'usent, les rotors se déséquilibrent, les courroies se détendent, les jeux augmentent. Tous ces facteurs se traduisent par une



## Chap. 3 : Etude de cas.

---

augmentation de l'énergie vibratoire qui excite les résonances et ajoute une charge dynamique considérable aux paliers.

Les vibrations recueillies lors des campagnes de mesures sont porteuses d'informations qui caractérisent l'état de fonctionnement de certains composants mécaniques constituant la machine analysée. C'est grâce à l'analyse de ces vibrations qu'il est possible de détecter et localiser les composants défectueux.

Lorsqu'un certain seuil (correspondant à un niveau de vibration limite) fixé est atteint, il est possible d'estimer la durée de vie résiduelle du composant dans les conditions de fonctionnement données à partir de la connaissance des lois d'endommagement.

### II.3. Surveillance [10]

La comparaison des mesures vibratoires effectuées à intervalles de temps déterminés dans des conditions de fonctionnement identiques permet de suivre l'évolution d'un défaut en exploitant le signal vibratoire.

A partir de ces mesures, il est possible d'obtenir un historique de l'évolution du défaut par rapport à un niveau de référence caractérisé par la signature vibratoire de la machine en bon état. La norme ISO10816 fixe des critères d'évaluation des niveaux vibratoires permettant d'estimer la sévérité des défauts et donc de l'état de fonctionnement de la machine.

La sévérité vibratoire représente la valeur efficace de la vitesse de vibration mesurée dans la bande fréquentielle de 10 à 1000Hz, sachant que les critères d'évaluation dépendent de la classe dans laquelle la machine se situe. Mais ces méthodes dites «*mesures des niveaux globaux*» restent imprécises et ne permettent pas la détermination de la cause de l'augmentation du niveau vibratoire.

### II.4. Diagnostic [10]

Pour établir un diagnostic vibratoire, il est souvent nécessaire de faire appel à des outils mathématiques relativement élaborés. Ces outils doivent assister l'opérateur et lui permettre de remonter aux origines du ou des défauts. Mais dans l'absolu, les signaux vibratoires sont insuffisants pour établir un diagnostic. C'est pourquoi il est indispensable de connaître non seulement la cinématique de la machine, mais également les caractéristiques de ses composants ainsi que leurs différents modes de dégradation. La

### Chap. 3 : Etude de cas.

---

connaissance de ces modes de défaillance et de leurs influences sur le niveau de vibration est à la base d'un diagnostic et d'une surveillance fiable.

#### II.5. Mesure et collection du signal vibratoire [11]

Pour un système d'engrenage opérationnel, on doit mesurer le signal vibratoire d'une manière convenable au point commode à l'extérieur de la boîte emballant le système d'engrenage au moyen d'un transducteur (capteur) qui convertit les vibrations en un signal électrique.

Le signal électrique est exprimé sous forme d'une tension électrique ou une charge électrique. Le signal vibratoire issu d'une machine tournante est une image de son état interne.

La collection des bonnes données est une étape cruciale dans l'analyse vibratoire. Pour cette raison, il faut choisir de bons capteurs et les monter correctement sur la chaîne d'acquisition. Le type de capteur est sélectionné selon la vitesse de la machine ou le type de roulement.

En effet, plusieurs types de capteurs de vibration existent comme, on cite quelques exemples :

- **Proximètre** : Capteur de proximité ou de déplacement.
- **Vélocimètre** : Capteur de vitesse.
- **Accéléromètre piézoélectrique** : Capteur de l'accélération.

En mécanique, le mouvement peut être décrit par le déplacement, la vitesse ou l'accélération, et ces variables sont liées par des relations mathématiques. Le déplacement de la vibration est généralement donné en micromètres [ $\mu\text{m}$ ]. La vitesse est la première dérivée du déplacement donnée en [ $\text{mm/s}$ ] et l'accélération est la deuxième dérivée du déplacement donnée en [ $\text{mm/s}^2$ ].

Théoriquement, la connaissance d'une de ces variables conduit à calculer les deux autres variables.

#### II.6. Outils d'analyse vibratoire

Le choix des outils est fait par rapport à des fréquences applicables à l'analyse.

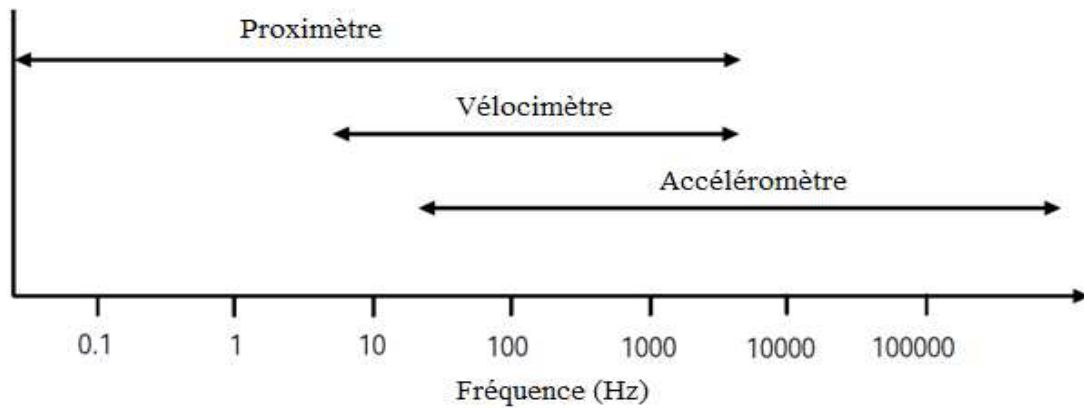


Figure III.1 : Choix de l'outil [11].

### II.6.1. Le proximètre [12]

Les proximètres sont les transducteurs les plus préférés pour la surveillance des vibrations des équipements à roulements. Les applications typiques sont principalement les machines à très haute vitesse .

Le proximètre est un ensemble de système de composants constitué de :

- Une sonde de proximité.
- Un câble prolongé.
- Un oscillateur/démodulateur.

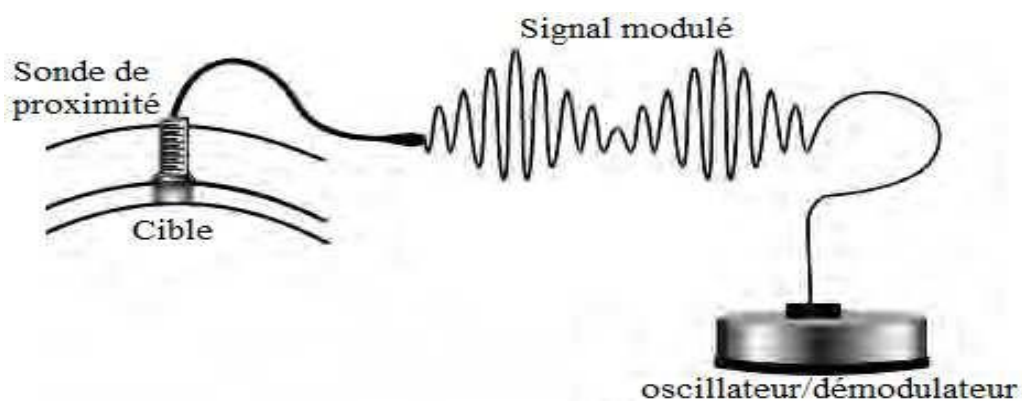


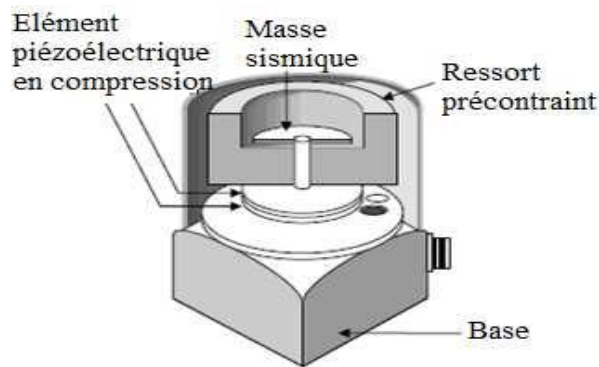
Figure III.2 : Principe d'un proximètre.

Un signal de haute fréquence est généré par l'oscillateur/démodulateur. Ce signal est rayonné vers le bout de la sonde du câble. La sonde est fixée à la surface de l'élément de roulement. Le modulateur/démodulateur démodule le signal et fournit une tension démodulée, où le signal est proportionnel directement à la vibration.

**II.6.2. L'accéléromètre [11]**

L'accéléromètre piézoélectrique est le plus utilisé puisque qu'il offre plus d'avantages que les autres. C'est un transducteur léger, compact avec une gamme de réponse fréquentielle large. Il est utilisé dans plusieurs conditions de surveillance des machines tournantes contenant les composants qui délivrent de hautes fréquences de vibrations, comme les roulements et les engrenages.

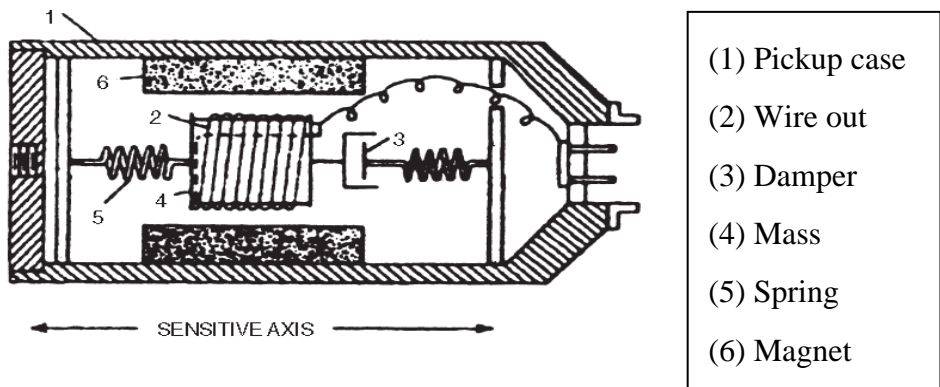
L'accéléromètre piézoélectrique est un capteur qui produit un signal électrique proportionnel à l'accélération du signal vibratoire de la machine. Il est basé sur l'effet piézoélectrique d'un quartz ou un cristal en céramique pour générer en sortie un signal électrique proportionnel à l'accélération appliquée.



**Figure III.3 : Exemple d'un accéléromètre piézoélectrique. [13]**

**II.6.3. Le vélocimètre [12]**

Le vélocimètre est un transducteur très courant pour la surveillance de la vibration d'une machine tournante. Il est très utilisé pour sa simplicité d'installation et son coût faible.



**Figure III.4 : Schéma du vélocimètre.**

Les avantages du vélocimètre sont :

## **Chap. 3 : Etude de cas.**

---

- ✓ Il est facile à installer.
- ✓ Il délivre un signal important.
- ✓ Il ne demande pas de l'alimentation extérieure.

Ses inconvénients sont :

- ✓ Son dimensionnement est relativement large et son poids lourd.
- ✓ Il est très sensible aux fréquences d'entrée.
- ✓ La fréquence de réponse est très étroite.
- ✓ Il est très sensible aux champs magnétiques.

### **III. Méthodes de l'analyse vibratoire**

#### **III.1. Méthode de niveau global [14]**

La méthode du niveau global, consiste à apprécier le niveau vibratoire de la machine en mesurant la valeur efficace de ces vibrations et de la comparer aux seuils de jugement préconisés par les normes. Selon la norme AFNOR.E90-30, l'intensité vibratoire est une grandeur caractérisant de façon simple et globale de l'état vibratoire d'une machine.

La mesure du niveau global permet de suivre de manière fiable une machine. Elle ne permet pas d'établir un diagnostic. En effet sous une valeur en déplacement, vitesse ou accélération, tous les phénomènes mécaniques sont confondus (Balourd, lignage, engrènement, roulement, ...). Donc la mesure du niveau global permet d'émettre un avis sur la situation du phénomène en fréquence d'origine (basse ou haute fréquence).

#### **III.2. Méthode de l'analyse en fréquence [14]**

La mesure de la sévérité vibratoire permet de savoir si le comportement vibratoire d'une machine dépasse les limites admissibles. Mais au vu des résultats, il n'est pas possible d'émettre une hypothèse sur les causes et les excitateurs de vibration. Ces informations ne pourront être obtenues qu'en réalisant une analyse en fréquence.

Le diagnostic vibratoire se base sur l'identification du phénomène mécanique, à la fréquence de la vibration qu'il génère. Pour cela il faut donc représenter la vibration dans l'espace des fréquences. Cette opération se réalise mathématiquement en effectuant une transformée de FOURIER du signal temporel vibratoire.

### Chap. 3 : Etude de cas.

Le résultat est appelé *SPECTRE fréquentiel*. Chaque composant du spectre correspond à une fréquence caractéristique bien définie (Déséquilibre, résonance, engrènement, lignage, ...). L'analyse en fréquence s'effectue en général lorsque le niveau vibratoire de la machine est jugé supérieur au seuil admissible.

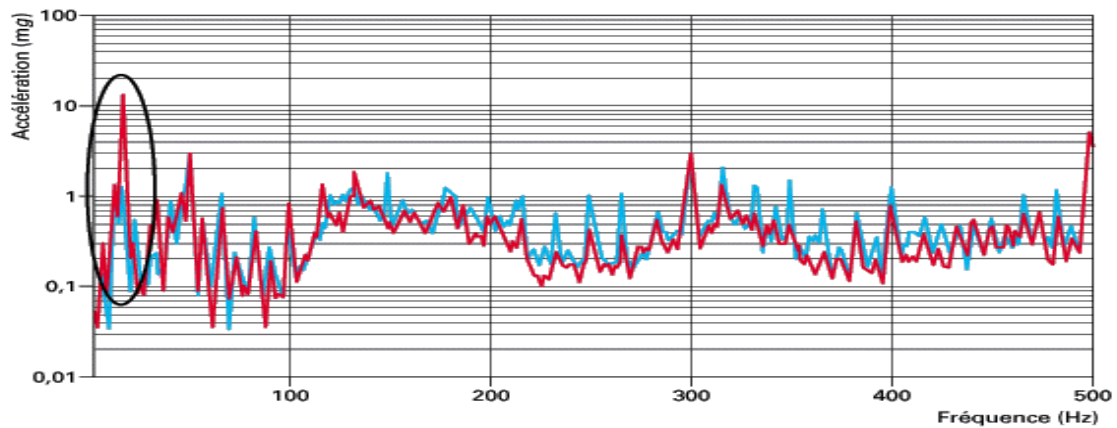


Figure III. 5 : Exemple de spectre fréquentiel.

Dans notre cas d'étude, les mesures effectuées sont réalisées par :

- Analyseur *VIBROTEST 60* : C'est un collecteur de données portable. Il permet la collecte des données vibratoire qui seront transférés dans un micro-ordinateur par l'intermédiaire d'une carte *PCMCIA* pour échanger les données entre l'analyseur et le logiciel d'exploitation des données.
- Un logiciel d'analyse *VIBRO-EXPERT* de type *CM-400* : C'est un Logiciel qui aide au diagnostic et permet d'exploiter les données de mesure à partir des signaux récupérés de l'analyseur.



Figure III.6 : VIBROTEST 60 et ses accessoires.

## IV. Etude de cas

### IV.1. Choix du cas d'analyse

Notre cas d'étude de l'analyse vibratoire est effectué sur le groupe 4 de la centrale Fiat. Le choix de cet équipement est à la base des données fournies par l'entreprise SPE de Tiaret, lors de notre stage pratique de effectué dans le but de la réalisation de notre PFE.

La problématique posé dans ce travail est d'essayer de faire une analyse vibratoire par des mesures numériques de la vitesse des vibrations au niveau des palier P1, P2, P3, P4, P5, P6, P7, P8, P9. Voir figure III.7

Le système à analyser est composé des éléments suivants :

- Turbocompresseur.
- Le réducteur de charge.
- Alternateur.
- Excitatrice.

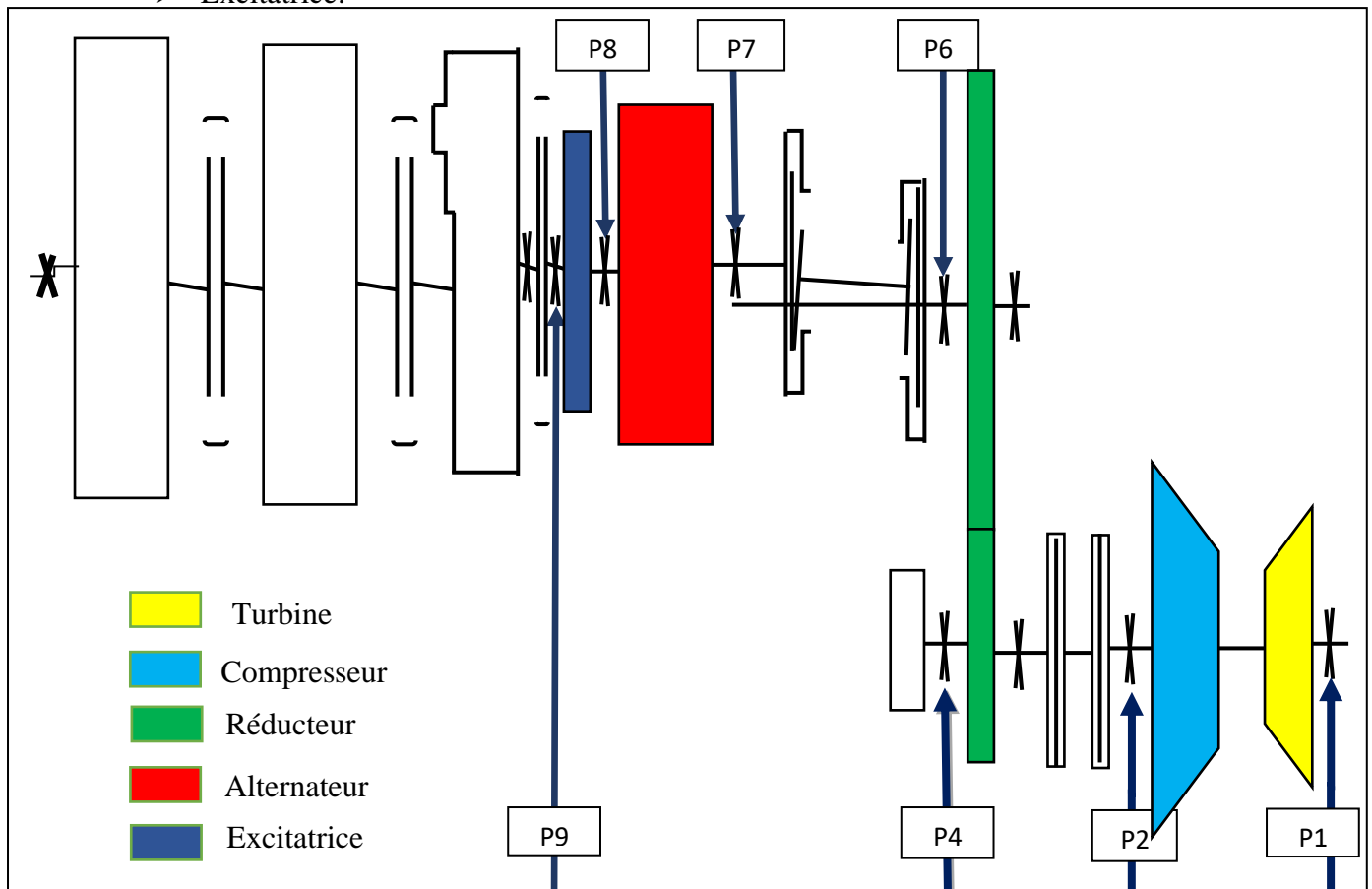


Figure III.7 : Schéma détaillé du groupe 4 de la centrale FIAT.

**IV.2. Critères vibratoires**

La norme internationale ISO 2372 nous donne les standards des critères vibratoires basés sur le fait que des machines similaires et de même taille doivent avoir la même énergie vibratoire, donc le même niveau de vitesse efficace, soit entre 10 et 1000Hz.

**Tableau III.1** : La norme internationale ISO 2372 [15].

<b>Niveaux Vibratoires Admissibles sur les Machines Tournantes</b>				
Norme ISO 2372				
Niveaux vibratoires admissibles (mm/s)	Groupe 1	Groupe 2	Groupe 3	Groupe 4
Amplitude efficace de la vitesse vibratoire en <b>mm/s</b> dans la bande [10 ; 1000] Hz				Mauvais
	18.0			18.0
	11.2	Mauvais		Limite
	7.1		7.1	7.1
	4.5	4.5	Limite	4.5
	2.8	Limite	2.8	2.8
	1.8	1.8	Moyen	1.8
	1.12	Moyen	1.12	
0.71	0.71	Bon		
	Bon			

- **Groupe 1** : Eléments de moteurs ou de machines qui, dans ses conditions normales de fonctionnement, sont intimement solidaires de l'ensemble d'une machine. (Les



### Chap. 3 : Etude de cas.

---

moteurs électriques produits en série, de puissance allant jusqu'à 15kW, sont des exemples typiques de machines de ce groupe).

- **Groupe 2 :** Machines de taille moyenne, (en particulier moteurs électriques de puissance comprise entre 15 et 75kW) sans fondations spéciales. Moteurs montés de façon rigide ou machines (puissances jusqu'à 300kW) sur fondations spéciales.
- **Groupe 3 :** Moteurs de grandes dimensions et autres grosses machines ayant leurs masses tournantes montées sur des fondations rigides et lourdes, relativement rigides dans le sens de la vibration.
- **Groupe 4 :** Moteurs de grandes dimensions et autres grosses machines ayant leurs masses tournantes montées sur des fondations relativement souples dans le sens de la vibration (exemple : groupe turbogénérateurs, particulièrement ceux qui sont installés sur des fondations légères).

#### IV.3. Résultats de l'analyse vibratoire

L'analyse vibratoire menée sur les différents paliers du groupe 4 de la centrale Fiat sont donnés sous forme d'histogrammes pour chaque palier à part. Cette présentation graphique donne la variation de l'amplitude de la vitesse des vibrations mesurée en (mm/s) pour des dates bien définies et en fonction des puissances active P et réactive Q.

Les dates de mesures sont définies pour chaque mois comme suit : Décembre, février, Mars et Avril. En mois de Janvier la centrale est en arrêt totale.

Des valeurs limites sont prises comme consignes prédéfinies par rapport aux niveaux admissibles selon ISO2372 : (voir tableau III.1).

- A une vitesse vibratoire de **12 mm/s** → **Déclenchement d'une alarme.**
- A une vitesse vibratoire de **18 mm/s** → **Arrêt automatique de l'équipement.**

Pour chaque sous-système de la centrale, on a trois valeurs de références prédéfinies pour chaque position :

- Valeur de référence aux positions verticales :
  - ✓ Réducteur P4 (1.75 mm/s).
  - ✓ Réducteur P6 (2.17 mm/s).
  - ✓ Compresseur P2 (3.76 mm/s).
  - ✓ Turbine P1 (4.19 mm/s).
  - ✓ Alternateur P7 (2.64 mm/s).
  - ✓ Alternateur P8 (2.76 mm/s).

### Chap. 3 : Etude de cas.

- ✓ Excitatrice (2.23 mm/s).
- Valeur de référence aux positions horizontale :
  - ✓ Réducteur P4 (3.50 mm/s).
  - ✓ Réducteur P6 (3.50 mm/s).
  - ✓ Compresseur P2 (4.21 mm/s).
  - ✓ Alternateur P7 (2.24 mm/s).
  - ✓ Alternateur P8 (2.63 mm/s).
  - ✓ Excitatrice (3.86 mm/s).
- Valeur de référence aux positions axiale :
  - ✓ Réducteur P4 (3.87 mm/s).
  - ✓ Réducteur P6 (4.72 mm/s).
  - ✓ Compresseur P2 (3.28 mm/s).
  - ✓ Alternateur P7 (4.28 mm/s).
  - ✓ Alternateur P8 (2.45 mm/s).
  - ✓ Excitatrice (2.45 mm/s).

#### IV.3.1. Au niveau du palier 01

Pour des puissances quasiment constantes à chaque cas de mesures, on obtient la graphique suivante au palier 1 selon la position verticale :

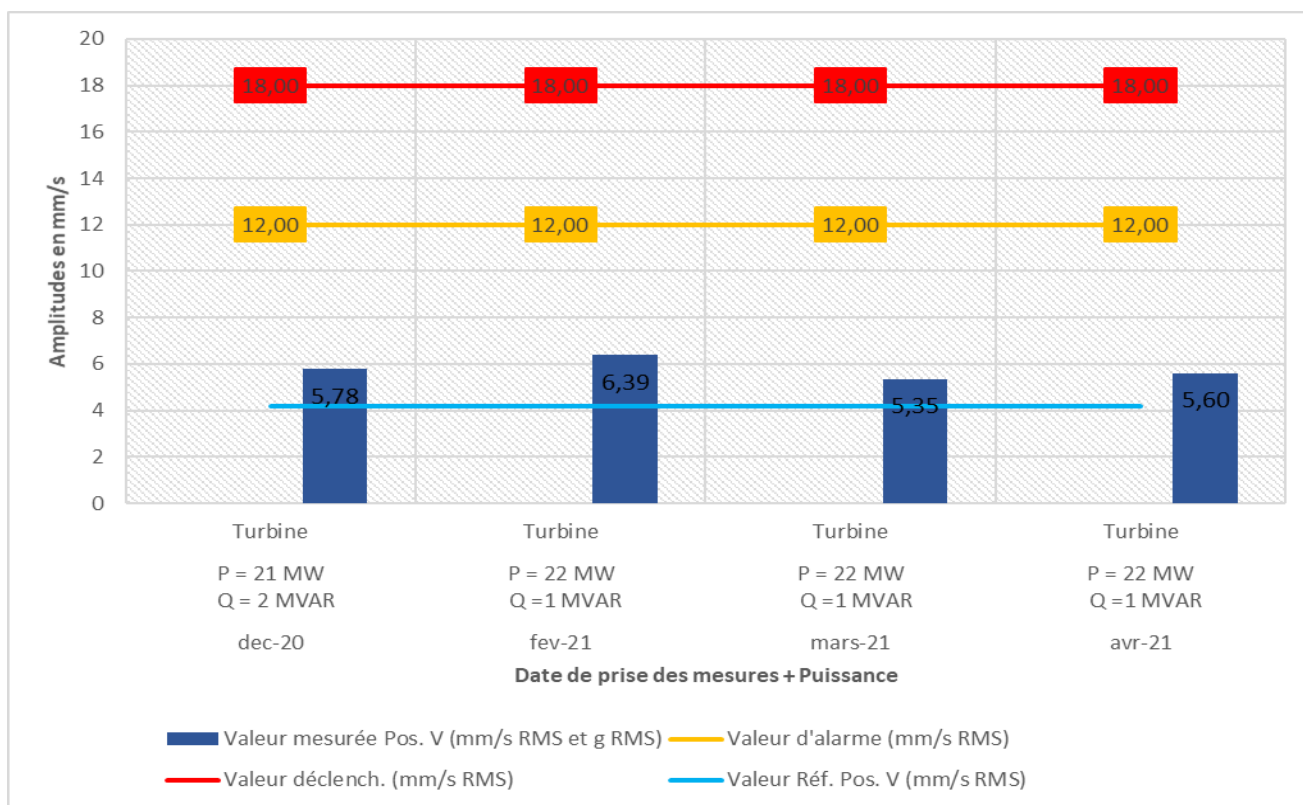


Figure III.8 : Mesures de vibration au G04. Turbine - Palier 1.

### Chap. 3 : Etude de cas.

D'après les résultats ci-dessus, on remarque que les amplitudes de vitesse des vibrations pour les 4 mois sont un peu élevées par rapport à la valeur de référence de position verticale. Alors que celle du mois de Février est la plus élevée.

#### IV.3.2. Au niveau du palier 02

Pour le compresseur on a trois types de mesure : Axiale ; verticale et horizontale.

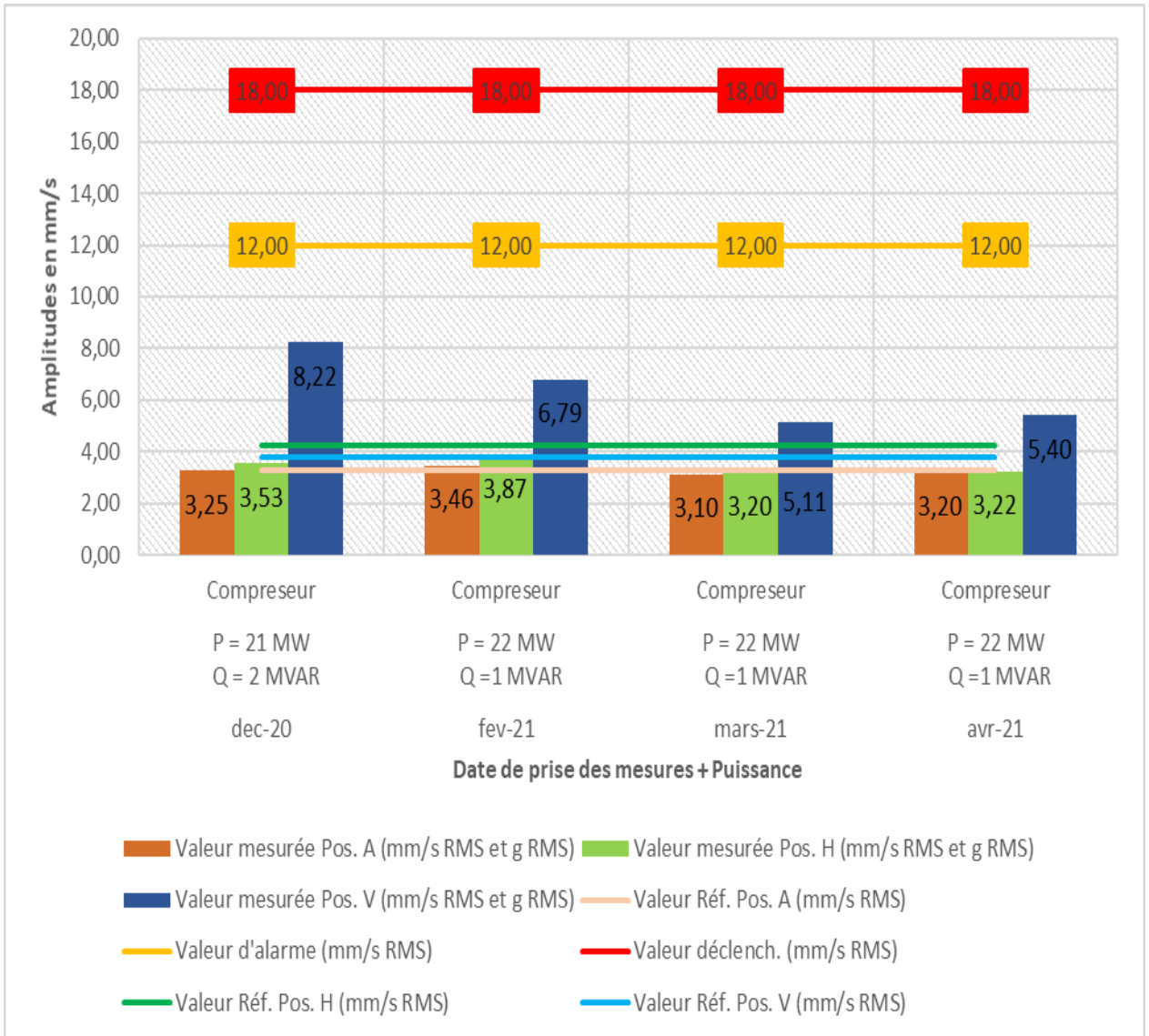


Figure III.9 : Mesures de vibration au G04. Compresseur Palier 2.

D'après les résultats schématisés ci-dessus, on remarque que les amplitudes de vitesse des vibrations aux positions axiales et horizontales sont parfaites et même relativement proches pendant les 4 mois de mesures. Par contre aux valeurs verticales on remarque que les valeurs dépassent la limite de référence à chaque mois de mesure. Tandis qu'elle s'élève plus en mois de décembre.

IV.3.3. Au niveau des paliers 04 et 06

Pour le réducteur on effectue même type de mesure que pour le compresseur, sur les deux paliers 04 et 06. On représente les résultats graphiques pour chaque palier comme suit :

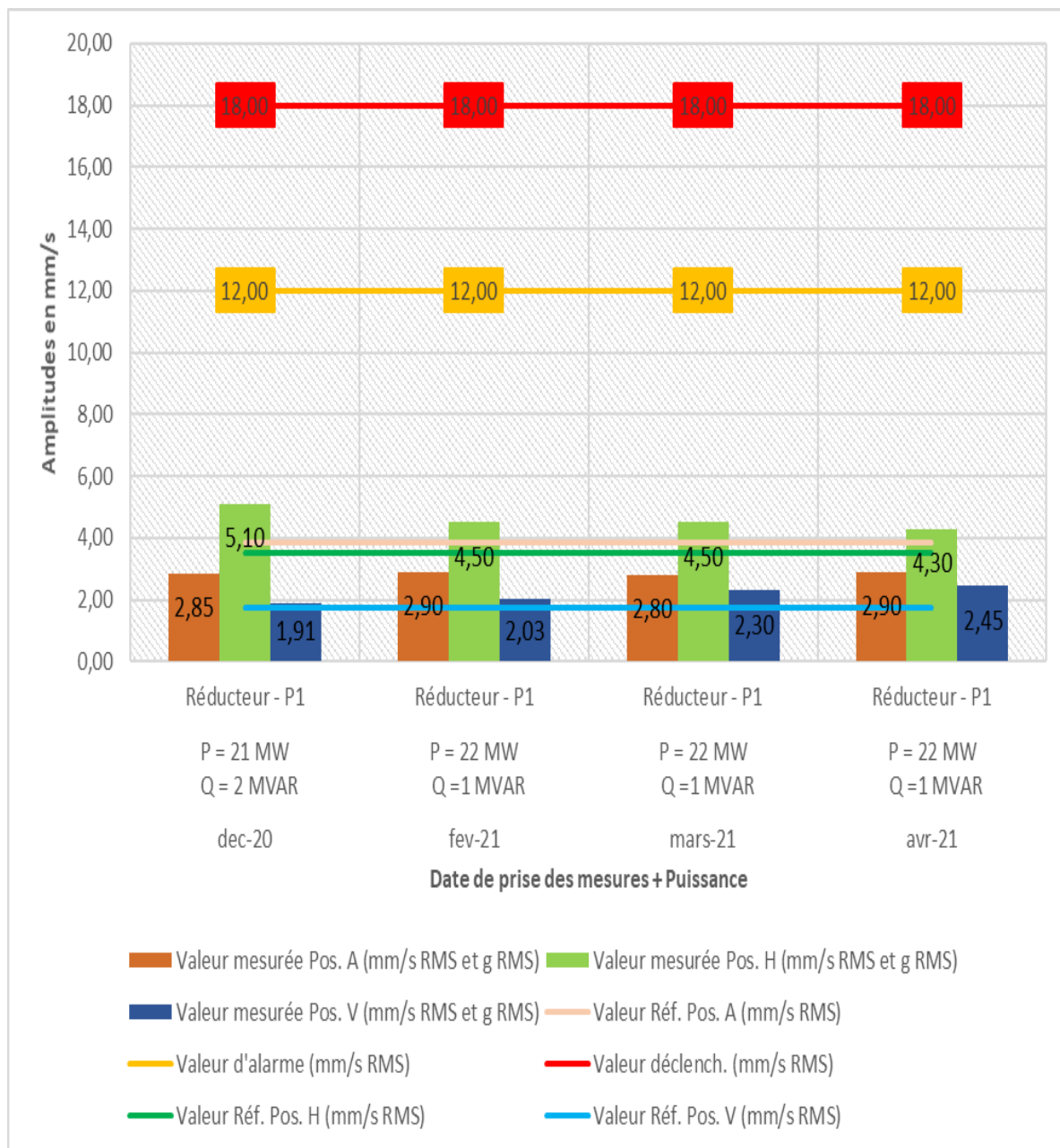


Figure III.10 : Mesures de vibration au G04. Réducteur - Palie 4.

D'après les résultats obtenus, on remarque que les amplitudes de vitesse des vibrations aux positions axiales et verticales sont parfaites et relativement proches pendant les 4 mois. Par contre les valeurs horizontales dépassent la valeur de référence avec une valeur maximale en mois de décembre.

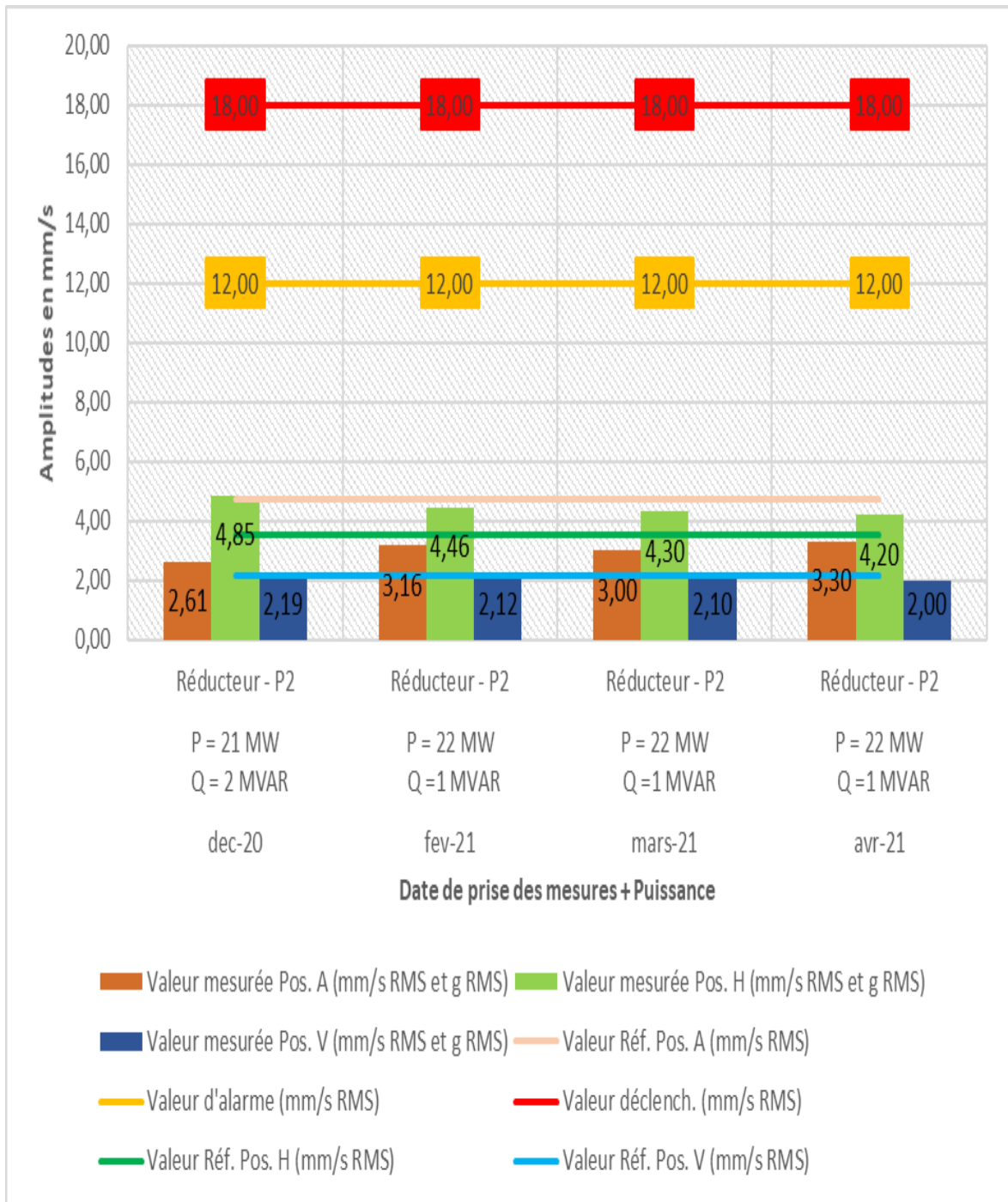


Figure III.11 : Mesures de vibration au G04. Réducteur - Palie 6.

On remarque que contrairement au palier 4, les amplitudes de vitesse des vibrations sont plus faibles. Et même elles sont parfaites et relativement proches pendant les 4 mois aux positions axiales et horizontales. Mais les valeurs verticales dépassent légèrement la valeur de référence.

IV.3.4. Au niveau des paliers 07 et 08

De même que les autres sous-systèmes, on aboutis à une mesure des vitesses de vibration au niveau de l'alternateur. Ce qui donne les résultats graphiques qui schématisent les niveaux des vitesses à chaque palier.

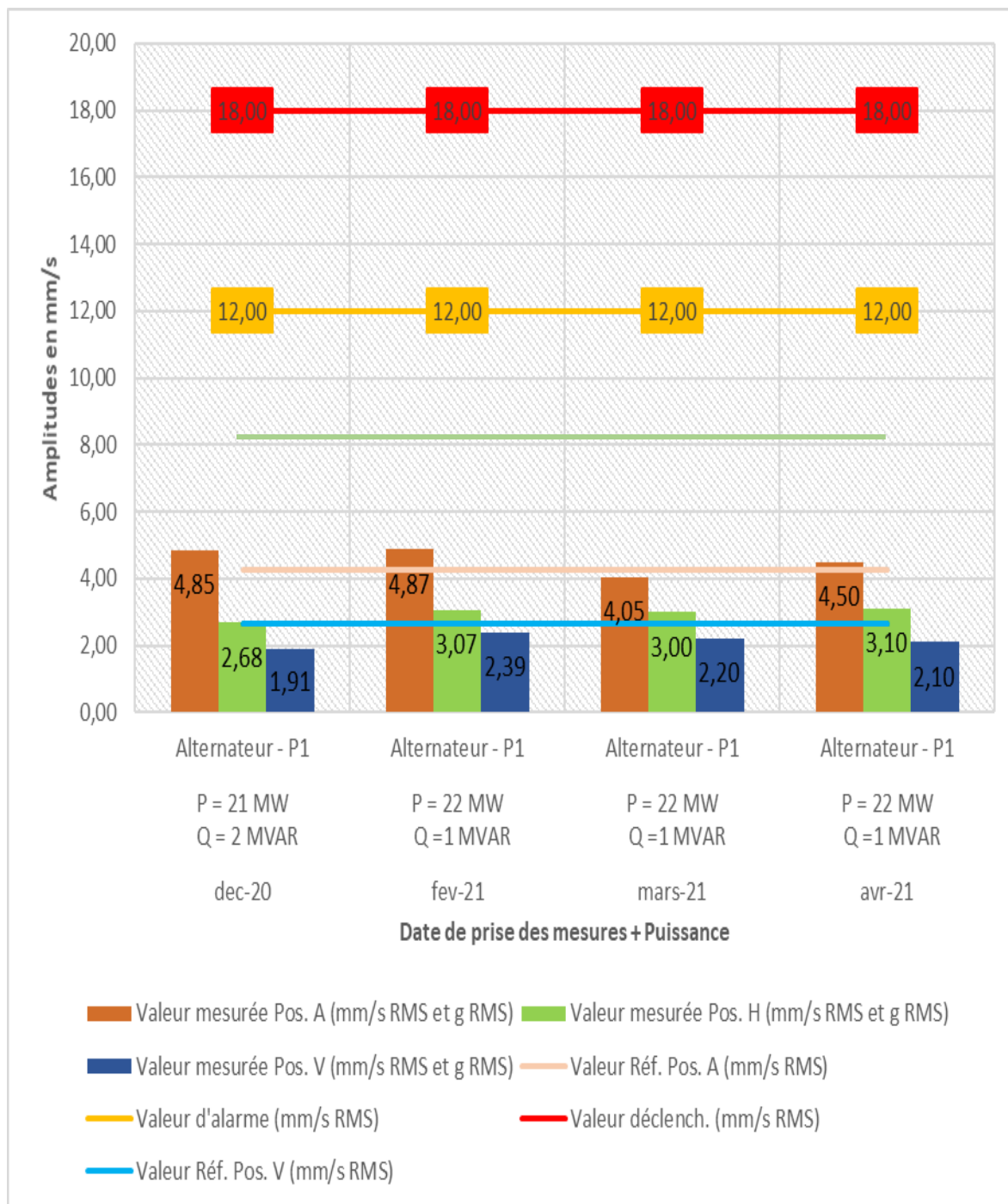
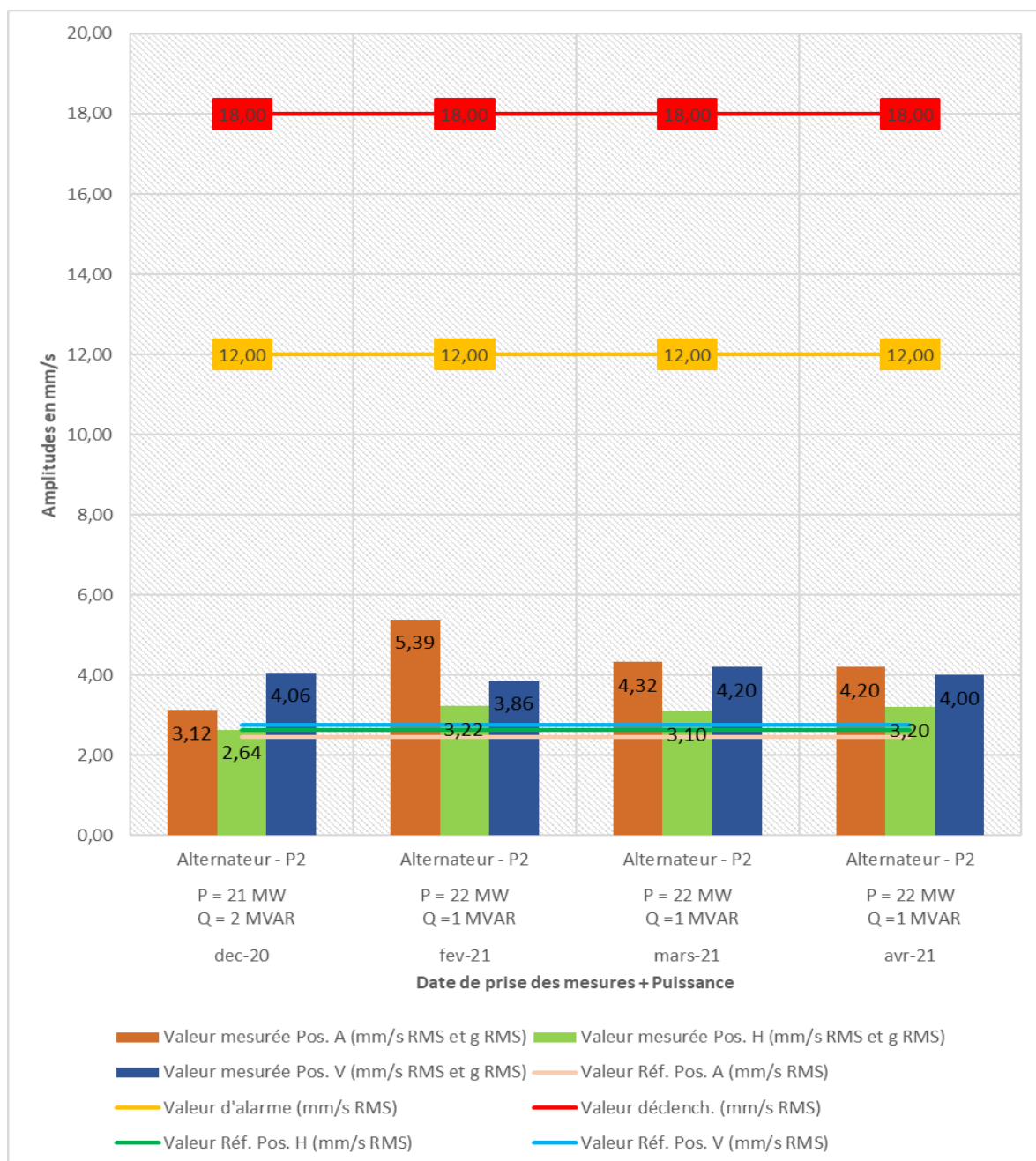


Figure III.12 : Mesure de vibration au G04. Alternateur - Palier 7.

### Chap. 3 : Etude de cas.

On remarque que les amplitudes de vitesse des vibrations aux positions verticales et horizontales sont parfaites et relativement proches pendant les 4 mois. Par ailleurs les valeurs axiales dépassent la valeur de référence.



**Figure III.13 : Mesure de vibration au G04. Alternateur - Palier 8.**

Pour ce palier, et contrairement au palier 7, les résultats obtenus montre que toutes les amplitudes de vitesse des vibrations dépassent les valeurs de référence durant les quatre mois.

IV.3.5. Au niveau des paliers 09

Les mesures des vitesses vibratoire au niveau de l'excitatrice, seront faites au niveau du palier 9, selon les position verticale, horizontale et axiale.

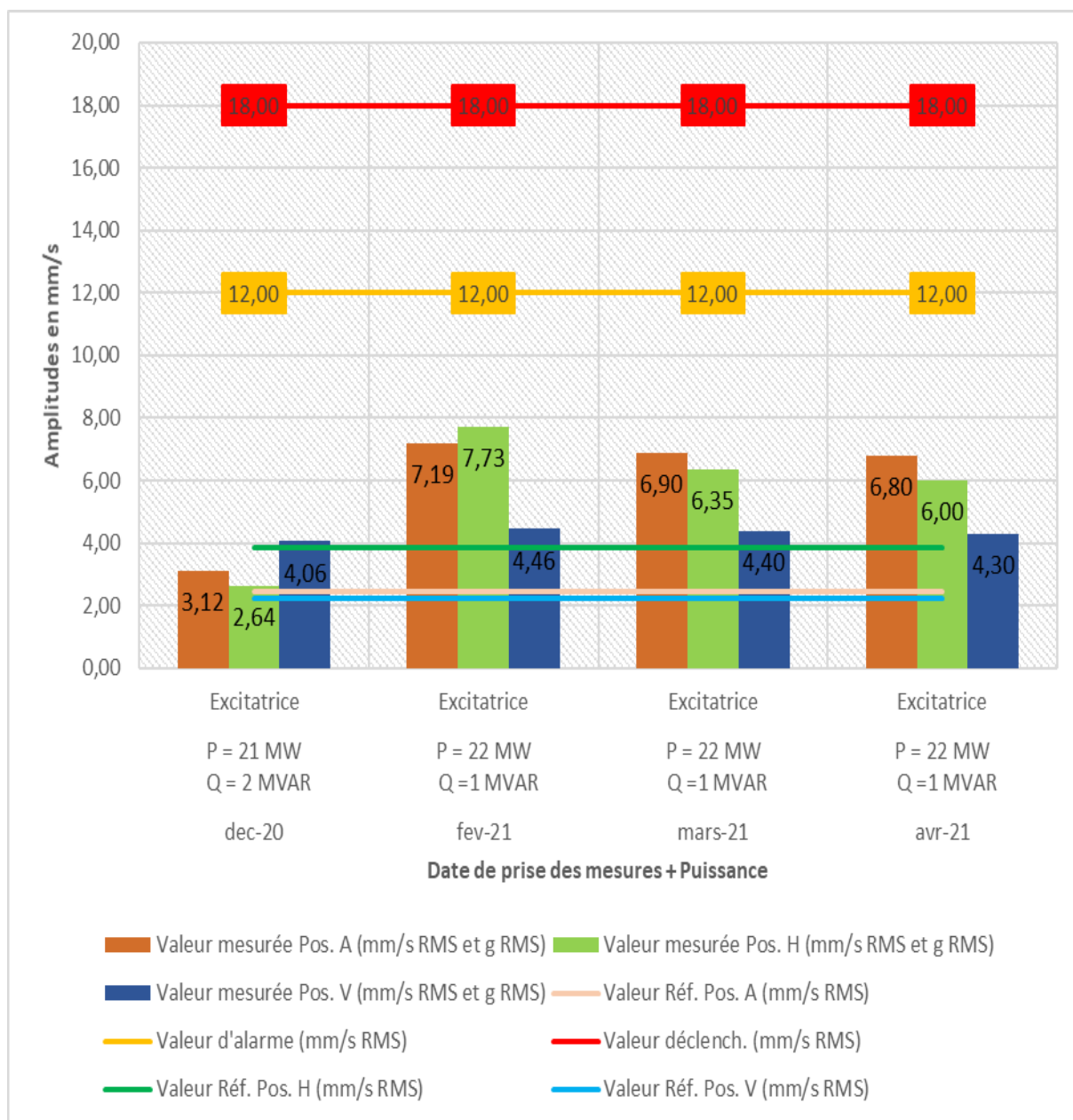


Figure III.14 : Mesure de vibration au G04. Excitatrice - Palier 9.

D'après les résultats obtenus pour ce dernier palier. On constate que toutes les amplitudes de vitesse des vibrations dépassent les valeurs de référence durant les quatre mois. Avec des valeurs assez remarquables, surtout pour les deux positions axiale et horizontale.



# Conclusion Générale

## Conclusion Générale

---

Comme toutes les méthodes employées pour garantir la durabilité de fonctionnement d'un système technique stratégique de production, la maintenance prédictive joue son rôle primordial de diminuer le nombre d'arrêts non planifiés en augmentant la disponibilité d'équipement et d'éviter les détériorations des organes composants les ensembles techniques et systèmes de production en assurant la continuité des activités des différents équipements sans négliger la qualité du produit réalisé.

Alors que l'objectif fixé lors de la préparation de ce mémoire de fin d'étude, est de bien saisir l'importance de la maintenance prédictive dans le continuum des activités de telle entreprise stratégique, que la SPE de Tiaret. On vous donne dans quelques lignes les principaux résultats obtenus de ce travail.

On commence par le fait que notre passage en entreprise nous a permis d'acquérir de façon plus concrète les connaissances théoriques qu'on a assimilés pendant tout notre parcours universitaire. Sans négliger les connaissances qu'on a eues l'occasion de les avoir, pour ce qui concerne l'environnement industriel et la courtoisie du milieu professionnel. Ainsi que les informations qu'on a eues pour ce qui concerne la production de l'énergie électrique et le principe de fonctionnement des machines thermiques impliquées dans ce processus de fabrication de l'énergie.

Dans la logique industrielle actuelle dominée par la recherche permanente de l'amélioration des systèmes de production. La maintenance de manière générale et la maintenance prédictive de façon précise par son pronostique a pu également dégager son intérêt dans la mise en place de sa politique adéquate dans la garantie du produit et sa qualité.

On a pu aussi voir de manière vraie et réelle l'importance de la maintenance et son rôle dans la survie des installations techniques. Ainsi que, la surveillance des machines par l'analyse vibratoire permet de prédire toutes anomalies avant qu'elles ne surgissent et prévoir de manière efficace les décisions à prendre pour garantir la sécurité des biens et éviter tout arrêt indésirable de la production.

La mise en place de la maintenance prédictive par la technique d'analyse vibratoire globale a amélioré l'outil de maintenance de façon impressionnante. Mais également, elle a donné une intégration plus forte de la gestion de la maintenance dans la gestion de la production.

Enfin, d'un point de vue économique, connaître ou prédire la défaillance avant qu'elle ne se produise, permet de prolonger la durée de vie des machines de production et maintenir

## Conclusion Générale

---

l'inventaire et le profit financier. Ce que recherchent les industries, pour augmenter leurs chiffres d'affaires et satisfaire leurs clientèles.

Une analyse financière, peut avoir lieu, pour tirer un bilan économique et avoir une idée de l'intérêt de l'application de la maintenance prédictive sur le rendement de l'entreprise.

Les mesures des vibrations sont acceptables selon les normes de la Méthode de niveau global.

Les résultats obtenus montrent l'importance de la maintenance prédictive pour la déduction des anomalies qui peuvent causer des défaillances.

Aucune intervention ne serait programmée, vu le niveau vibratoire constaté.

La mise en place de la maintenance prédictive a assuré la disponibilité de la machine et la continuité de la production.

# Liste de références

## Liste de références

---

- [1] Driss Bouami, "Le Grand Livre de la Maintenance", Dominique Cohen , 2019.
- [2] R.k.Mobley, "An Introduction to predictive maintenance, second edition",  
Handbook,USA,2002.
- [3] Rachid Noureddine, "Implémentation de la maintenance prédictive dans les systèmes de production ", University of Oran 2 Mohamed Ben Ahmed 2008.
- [4] KABOUCHE.A, "Techniques de Maintenance Prédictive pour l'Amélioration de la disponibilité des Installations" Thèse de doctorat de l'université Badji Mokhtar de ANNABA 2009.
- [5] Cousinard O. "Contribution à l'étude et au développement d'un système intégré de suivi de l'endommagement des composants mécaniques sur les machines tournantes : Application au développement et au choix des outils d'analyse et de mesure vibratoire " Thèse de doctorat de l'Université de Reims 2002.
- [6] Alberto Jimenez-Cortadi et al , applied sciences , 14, Predictive Maintenance on the Machining Process and Machine Tool ,2019.
- [7] C. Scheffer ; Practical Machinery Vibration Analysis and Predictive Maintenance ; 2004.
- [8] Chapelot M. (EMS) et Richard A., consultants au CETIM «surveillance des machines tournantes», guide d'achat Mesures N° 757, septembre 2003.
- [9] Bolaers F., Dron J.P., Rasolofondraibe L. "Prédiction et suivi de l'évolution d'un écaillage de fatigue de roulement par analyse vibratoire". XVIème Congrès Français de mécanique, Nice, référence 649, 2003.
- [10] Augeix D., "Analyse vibratoire des machines tournantes", Techniques de l'ingénieur, BM5 -145, 2001.
- [11] P. Tavner, L. Ran, J. Penman, H. Sedding, "Condition Monitoring of Rotating Electrical Machines", IET Power and energy series 56, © The Institution of Engineering and Technology 2008.
- [12] Paresh Girdhar, "Practical Machinery Vibration Analysis and Predictive Maintenance", Book of IDC technologies, Newnes an imprint of Elsevier, 2004.
- [13] A. Boulenger, C. Pachaud, Surveillance des machines par analyse des vibrations, du dépistage au diagnostic », AFNOR, Paris, 2ème tirage, 1998.

## Liste de références

---

[14] A. BOULENGER, C. PACHAUD :« Diagnostic vibratoire en maintenance préventive » (Dunod, Paris, octobre 1999).

[15] <http://www.vibraconseil.com/normes/norme%20ISO%202372.htm>

[16] Omar DJEBILI ; « Contribution à la maintenance prédictive par analyse vibratoire des composants mécaniques tournants. Application aux butées à billes soumises à la fatigue de contact de roulement ». Thèse de doctorat, Université De Reims Champagne Ardenne ,2013.

[17] Augeix D., Techniques de l'ingénieur BM5 – 145, «bruit et vibrations», 2007.

[18] Chevalier R., «Etat de l'art de la surveillance et du diagnostic des machines tournantes à EDF», RFM, 2001.

[19] Morel J., «surveillance vibratoire et maintenance prédictive», Techniques de l'ingénieur R 6 100, 2007.

[20] Boulenger A., «Maintenance conditionnelle par analyse des vibrations», Techniques de l'ingénieur, MT 9 285, 2007.

[21] Chevalier R., «Etat de l'art de la surveillance et du diagnostic des machines tournantes à EDF»,RFM, (2001).

# Annexes

## Annexe

Date de la mesure	Puissances (Charge de base) P & Q	Paliers	Valeurs de réf. (mm/s)			Valeur d'alarme (mm/s)	Valeur déclench- ment (mm/s)	Valeurs mesurées (mm/s)		
			V	H	A			V	H	A
Dec-20	P = 21 MW Q = 2 MVAR	Turbine (P1)	4,19			12,00	18,00	<b>5,78</b>		
Fev-21	P = 22 MW Q = 1 MVAR	Turbine (P1)	4,19			12,00	18,00	<b>6,39</b>		
Mars-21	P = 22 MW Q = 1 MVAR	Turbine (P1)	4,19			12,00	18,00	<b>5,35</b>		
Avr-21	P = 22 MW Q = 1 MVAR	Turbine (P1)	4,19			12,00	18,00	<b>5,60</b>		
Dec-20	P = 21 MW Q = 2 MVAR	Compresseur (P2)	3,76	4,21	3,28	12,00	18,00	<b>8,22</b>	<b>3,53</b>	<b>3,25</b>
Fev-21	P = 22 MW Q = 1 MVAR	Compresseur (P2)	3,76	4,21	3,28	12,00	18,00	<b>6,79</b>	<b>3,87</b>	<b>3,46</b>
Mars-21	P = 22 MW Q = 1 MVAR	Compresseur (P2)	3,76	4,21	3,28	12,00	18,00	<b>5,11</b>	<b>3,20</b>	<b>3,10</b>
Avr-21	P = 22 MW Q = 1 MVAR	Compresseur (P2)	3,76	4,21	3,28	12,00	18,00	<b>5,40</b>	<b>3,22</b>	<b>3,20</b>
Dec-20	P = 21 MW Q = 2 MVAR	Réducteur (P4)	1,75	3,50	3,87	12,00	18,00	<b>1,91</b>	<b>5,10</b>	<b>2,85</b>
Fev-21	P = 22 MW Q = 1 MVAR	Réducteur (P4)	1,75	3,50	3,87	12,00	18,00	<b>2,03</b>	<b>4,50</b>	<b>2,90</b>
Mars-21	P = 22 MW Q = 1 MVAR	Réducteur (P4)	1,75	3,50	3,87	12,00	18,00	<b>2,30</b>	<b>4,50</b>	<b>2,80</b>
Avr-21	P = 22 MW Q = 1 MVAR	Réducteur (P4)	1,75	3,50	3,87	12,00	18,00	<b>2,45</b>	<b>4,30</b>	<b>2,90</b>



## Annexe

Date de la mesure	Puissances (Charge de base) P & Q	Paliers	Valeurs de réf. (mm/s)			Valeur d'alarme (mm/s)	Valeur déclench- ment (mm/s)	Valeurs mesurées (mm/s)		
			V	H	A			V	H	A
Dec-20	P = 21 MW Q = 2 MVAR	Réducteur (P6)	2,17	3,50	4,72	12,00	18,00	<b>2,19</b>	<b>4,85</b>	<b>2,61</b>
Fev-21	P = 22 MW Q = 1 MVAR	Réducteur (P6)	2,17	3,50	4,72	12,00	18,00	<b>2,12</b>	<b>4,46</b>	<b>3,16</b>
Mars-21	P = 22 MW Q = 1 MVAR	Réducteur (P6)	2,17	3,50	4,72	12,00	18,00	<b>2,10</b>	<b>4,30</b>	<b>3,00</b>
Avr-21	P = 22 MW Q = 1 MVAR	Réducteur (P6)	2,17	3,50	4,72	12,00	18,00	<b>2,00</b>	<b>4,20</b>	<b>3,30</b>
Dec-20	P = 21 MW Q = 2 MVAR	Alternateur (P7)	2,64	2,64	4,28	12,00	18,00	<b>1,91</b>	<b>2,68</b>	<b>4,85</b>
Fev-21	P = 22 MW Q = 1 MVAR	Alternateur (P7)	2,64	2,64	4,28	12,00	18,00	<b>2,39</b>	<b>3,07</b>	<b>4,87</b>
Mars-21	P = 22 MW Q = 1 MVAR	Alternateur (P7)	2,64	2,64	4,28	12,00	18,00	<b>2,20</b>	<b>3,00</b>	<b>4,05</b>
Avr-21	P = 22 MW Q = 1 MVAR	Alternateur (P7)	2,64	2,64	4,28	12,00	18,00	<b>2,10</b>	<b>3,10</b>	<b>4,50</b>
Dec-20	P = 21 MW Q = 2 MVAR	Alternateur (P8)	2,76	2,63	2,45	12,00	18,00	<b>4,06</b>	<b>2,64</b>	<b>3,12</b>
Fev-21	P = 22 MW Q = 1 MVAR	Alternateur (P8)	2,76	2,63	2,45	12,00	18,00	<b>3,86</b>	<b>3,22</b>	<b>5,39</b>
Mars-21	P = 22 MW Q = 1 MVAR	Alternateur (P8)	2,76	2,63	2,45	12,00	18,00	<b>4,20</b>	<b>3,10</b>	<b>4,32</b>
Avr-21	P = 22 MW Q = 1 MVAR	Alternateur (P8)	2,76	2,63	2,45	12,00	18,00	<b>4,00</b>	<b>3,20</b>	<b>4,20</b>

## Annexe

Date de la mesure	Puissances (Charge de base) P & Q	Paliers	Valeurs de réf. (mm/s)			Valeur d'alarme (mm/s)	Valeur déclench- ment (mm/s)	Valeurs mesurées (mm/s)		
			V	H	A			V	H	A
Dec-20	P = 21 MW Q = 2 MVAR	Excitatrice (P9)	2,23	3,86	2,45	12,00	18,00	<b>4,06</b>	<b>2,64</b>	<b>3,12</b>
Fev-21	P = 22 MW Q = 1 MVAR	Excitatrice (P9)	2,23	3,86	2,45	12,00	18,00	<b>4,46</b>	<b>7,73</b>	<b>7,19</b>
Mars-21	P = 22 MW Q = 1 MVAR	Excitatrice (P9)	2,23	3,86	2,45	12,00	18,00	<b>4,40</b>	<b>6,35</b>	<b>6,90</b>
Avr-21	P = 22 MW Q = 1 MVAR	Excitatrice (P9)	2,23	3,86	2,45	12,00	18,00	<b>4,30</b>	<b>6,00</b>	<b>6,80</b>