République Algérienne Démocratique et Populaire

Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

Université Yahia Fares Médéa

Faculté de la technologie

Département de Génie mécanique

Mémoire de fin d'étude pour l'obtention du diplôme Master

Filière : Génie mécanique

Spécialité : Construction mécanique

Surveillance conditionnelle des machines tournantes dans la centrale électrique de LARBAA

Présenté par

Mr. Kheireddine BENGHALIA

Mr. Oussama MESBAIAH

Proposé et dirigé par

Dr. Mouloud BOUMAHDI

Juin 2022

Remerciements

Nous remercions le BON DIEU le tout puissant de nous avoir accordé la santé et le courage d'arriver à terme de ce travail.

Nos vifs remerciements s'étendent également à notre promoteur Dr Mouloud Boumahdi, déjà d'avoir accepté de nous encadrer mais surtout d'avoir proposé cette thématique, pour ses consignes qui nous ont été d'un support important.

Nous tenons à remercier aux membres de jury pour nous avoir fait l'honneur d'examiner et de juger notre travail.

Nous remercions Monsieur Bendaace yacine Le Directeur de la centrale électrique de

LARBAA pour son accueil et son professionnalisme et d'avoir nous accepter au stage.

Nous remercions également les maîtres de stages Monsieur Benneceur Mohamed et Monsieur Bourahla krimo chef service production de nous avoir aidé à accomplir ce travail dans les meilleures conditions. Aussi je tiens à remercier Monsieur Mansouri Farid pour les orientations positives afin de réaliser ce travail

En fin un spécial remerciement à toute les l'équipes du quarts de production de LARBAA qui ont eu la générosité de partager avec nous leur savoir-faire ainsi que leur expertise, leur accompagnement à contribuer efficacement à la réussite de notre stage. Que ce travail soit un témoignage de notre gratitude et profond respect.

Dédicace

A mes très chère parents qui mon soutenues

Pendant toute mon existence, qui sont ma

fierté et mon exemple.

A mon frère et ma sœur.

A toute ma famille.

A mon binôme Benghalia Kheireddine.

A mes amis et mes collègues

Mesbaiah Oussama

Dédicace

A ma femme qui ma soutenues

Pendant toutes mes études, A mes enfants

A mes frères et mes sœurs

A toute ma famille.

A mon binôme Mesbaiah Oussama.

A toutes mes amis.

Benghalia Kheireddine

الملخص

يوفر التحليل الدوري لاهتزازات الآلات الدوارة أداة حقيقية لرصد حالات الفشل. في هذا المشروع، تم التركيز على مراقبة حالة الآلات الدوارة لمحطة الأربعاء لتوليد الكهرباء. يتضمن الإجراء الواجب اتباعه الخطوات التالية: (1) تحديد أنواع ماكينات للمؤسسة، (2) اختيار آلة دوارة للدراسة، (3) مراقبة وتحليل الحالة الصحية لهذا الآلة باستخدام تقنيات تحليل الاهتزاز. سمحت هذه الدراسة بتحديد استراتيجية المراقبة المطبقة على مستوى المؤسسة ومدى فعاليتها مقارنة بالتقنيات الأخرى.

الكلمات المفتاحية: مراقبة الحالة ، تحليل الاهتزازات ، الآلات الدوارة

Résumé

L'analyse périodique des vibrations des machines tournantes fournit un véritable outil de surveillance des défaillances. Dans ce projet, on s'intéresse à la surveillance conditionnelle des machines tournantes de la centrale électrique de LARBAA. La démarche à suivre comporte les étapes suivantes : (i) lancer une enquête sur le parc des machines de l'entreprise, (ii) sélectionner une machine tournante, (iii) surveiller et analyser l'état de santé de cette machine par les techniques de l'analyse vibratoire.

L'étude a permis d'identifier la stratégie de surveillance appliquée au niveau de la centrale et son efficacité par rapport à d'autres techniques.

Mots clés : surveillance conditionnelle, analyse vibratoire, machines tournantes

Abstract

The periodic analysis of the vibrations of rotating machinery provides a real tool for monitoring failures. In this project, we are interested in the condition monitoring of the rotating machines of the LARBAA power plant. The procedure to be followed includes the following steps: (i) launch a survey of the company's machine park, (ii) select a rotating machine, (iii) monitor and analyze the state of health of this machine using techniques vibration analysis.

The study allows identifying the monitoring strategy applied at the power plant and its effectiveness compared to other techniques.

Keywords: condition monitoring, vibration analysis, rotating machinery.

TABLE

DES

MATIERS

Table des matières

Notations **10**
Liste des figures **11**
Liste des tableaux **14**
Introduction générale **15**

Chapitre 1 : notions générales sur la surveillance conditionnelle des machines tournantes

1.1 Introduction 18
1.2 Définition de la maintenance 18
1.2.1 Définition 18
1.2.2 Objectifs de la maintenance 19
1.2.3 Types de la maintenance 19
1.2.4 Maintenance corrective 20
1.2.5 Maintenance préventive 20
1.2.6 Maintenance préventive systématique 21
1.2.7 Maintenance préventive conditionnelle 21
1.2.7.1 Les objectifs de la maintenance préventive conditionnelle 22
1.2.7.2 Principe de la maintenance préventive conditionnelle 24
1.2.7.3 Technique de la maintenance préventive conditionnelle 25
1.2.7.4 Les étapes de la maintenance préventive conditionnelle 27
1.2.8 Comparaison des types de maintenance 28
1.3 Maintenance conditionnelle par l'analyse vibratoire 29
1.3.1 Notions de seuils 30
1.3.2 Indicateurs 30
1.3.3 Méthodologie de mise en œuvre 31

1.4 Types de surveillance des machines 32
1.5 Technologies de l'analyse vibratoire 35
1.5.1 Capteurs 35
1.5.2 Types des capteurs de vibration 36
1.5.2.1 Capteurs de déplacement 36
1.5.2.2 Capteurs de vitesse (vélocimètre) 39
1.5.2.3 Capteurs d'accélération (accéléromètre) 40
1.5.2.4 Comparaison des types de capteurs (vibration) 42
1.6 Conclusion 44

Chapitre 2 : La centrale électrique de L'ARBAA

2.1 Introduction 46
2.2 Présentation de la société SONELGAZ 46
2.3 Description de la central de L'ARBAA 46
2.3.1 Situation géographique 46
2.3.2 Superficie 47
2.3.3 Principales caractéristiques de la centrale 48
2.3.4 Evacuation de l'Energie Electrique 48
2.3.5 Principales caractéristiques techniques de la centrale 49
2.4 Description sommaire de l'ensemble d'une unité 50
2.4.1 Principe de fonctionnement du procès de production d'énergie électrique 51
2.4.2 Cycle thermodynamique de la turbine à gaz 52
2.4.3 Caractéristiques de fonctionnement de la turbine à gaz de L'ARBAA 54
2.5 Conclusion 73

Chapitre 3 : Surveillance de la centrale électrique de l'ARBAA

3.1 Introduction…….. 75

3.2 Stratégies de maintenance …….. 75

3.3 Les machines tournantes de la centrale …….. 78

3.3.1 Les organes principaux de la turbine à gaz …….. 78

3.3.2 Les organes auxiliaires de la centrale …….. 79

3.4 Surveillance des machines tournantes …….. 84

3.4.1 Surveillance en ligne …….. 84

3.4.2 Surveillance Hors ligne …….. 85

3.4.3 Les capteurs de vibration …….. 85

3.5 conclusion ……..103

Conclusion Générale …….. 105

Bibliographie …….. 106

Annexes …….. 108

Notation

Ipc : Intervention préventive conditionnelle.

Ic : Intervention corrective.

EAC : Exploitations agricoles communes.

Em : énergie mécanique.

Ec : Energie chimique du combustible.

Ek : Energie calorifique de gaz de fumée sortie chambre de combustion.

Ee : Energie électrique.

IGV : Intel Guide Vane (Aube de guidage d'entrée).

PGP : power generation portal.

GTA : Groupe Turbo Alternateur.

p-alt-c-ecxi : palier alternateur cote alteranateur

p-alt-c-omp : palier alternateur cote compresseur

p-comp : palier compresseur

p-tur : palier turbine

Liste des figures

Figure 1.1 : Organigramme de politique de maintenance 19
Figure 1.2 : Maintenance corrective 20
Figure 1.3 : Maintenance préventive systématique 21
Figure 1.4 : Maintenance préventive conditionnelle 22
Figure 1.5 : Principe de la maintenance conditionnelle 24
Figure 1.6 : Images thermographiques 26
Figure 1.7 : Différents types de maintenances conditionnelles 27
Figure 1.8 : Suivi de l'évolution d'un indicateur 31
Figure 1.9 : Méthodologie de mise œuvre 32
Figure 1.10 : Surveillance On-line 33
Figure 1.11 : Surveillance offline 34
Figure 1.12 : Investissement et mise en œuvre des deux types de surveillance ... 34
Figure 1.13 : Différents types des capteurs de vibration 36
Figure 1.14 : Principe du capteur à courants de Foucault 37
Figure 1.15 : Positionnement des capteurs de déplacement 38
Figure 1.16 : Schéma de principe d'un vélocimétre 40
Figure 1.17 : Schéma de principe d'un accéléromètre 41
Figure 1.18 : Positionnement des capteurs d'accélération 42
Figure 1.19 : Comparaison des plages de fréquences et gamme dynamique des Trois types de Capteur 44

.

Figure 2.1 : Situation de LARBAA 47
Figure 2.2 : Superficie de la centrale 47
Figure 2.3 : Emplacement Géographique 49
Figure 2.4 : Centrale turbines à Gaz de L'Arbâa (4 X 140M) 50
Figure 2.5 : Principe de fonctionnement général d'un groupe de turbine à gaz ... 51
Figure 2.6 : Transformation énergétique 52
Figure 2.7 : Cycle idéal d'une turbine à gaz 53
Figure 2.8 : Cycle réel d'une turbine à gaz 53

Figure 2.9 : Schéma descriptif d'un groupe de turbine à gaz 54
Figure 2.10 : Station de gaz 55
Figure 2.11 : Interface PGP 56
Figure 2.12 : Les réservoirs fuel 57
Figure 2.13 : Skid final fuel 58
Figure 2.14 : Interface PGP 59
Figure 2.15 : Rotor 61
Figure 2.16 : Stator 61
Figure 2.17 : system de filtration d'air 62
Figure 2.18 : Chambre de combustion 62
Figure 2.19 : Bruleurs 63
Figure 2.20 : Schéma descriptif d'un bruleur hybride 64
Figure 2.21 : Bruleur hybride réel 64
Figure 2.22 : Interface PGP 65
Figure 2.23 : Flammes diffusion et prémix 65
Figure 2.24 : Interface PGP 68
Figure 2.25 : Générateur 70
Figure 2.26 : Circuit de refroidissement de l'alternateur 72
Figure 2.27 : Plaque signalétique de l'alternateur 73

Figure 3.1 : Stratégie de maintenance..... 76
Figure 3.2 : Choix d'une stratégie de maintenance..... 77
Figure 3.3 : Les techniques de la maintenance conditionnelle..... 77
Figure 3.4 : Maintenance conditionnelle par l'analyse des vibrations..... 78
Figure 3.5 : Turbine à gaz..... 79
Figure 3.6 : Pompes de réfrigération (noria)..... 80
Figure 3.7 : Pompe de graissage.....80
Figure 3.8 : Pompe hydraulique.....81
Figure 3.9 : Aéroréfrigérant.....81
Figure 3.10 : Circuit eau de refroidissement 82
Figure 3.11 : Circuit de graissage 82
Figure 3.12 : Circuit huile hydraulique 83
Figure 3.13 : Ventilation de capotage..... 84

Figure 3.14 : Points de mesure des vibrations en ligne 84
Figure 3.15 : Vibro-meter VM600 86
Figure 3.16 : SHENCK VT60 86
Figure 3.17 : Accéléromètre CA 202 86
Figure 3.18 ; Capteurs de proximité TQ 402 et TQ 412 87
Figure 3.19 : Surveillance On-line 88
Figure 3.20 : vibration absolu TG01 90
Figure 3.21 : vibration relative TG01 90
Figure 3.22 : vibration absolu TG02 91
Figure 3.23 : vibration relative TG02 91
Figure 3.24 : vibration absolu TG03 92
Figure 3.25 : vibration relative TG03 93
Figure 3.26 : vibration absolu TG04 94
Figure 3.27 : vibration relative TG04 94
Figure 3.28 : (a) signal temporel, (b) spectre fréquentiel échelle linéaire
(c) spectre fréquentiel échelle logarithmique 95
Figure 3.29 : (a) signal temporel, (b) spectre fréquentiel échelle linéaire
(c) spectre fréquentiel échelle logarithmique 96
Figure 3.30 : (a) signal temporel, (b) spectre fréquentiel échelle linéaire
(c) spectre fréquentiel échelle logarithmique 97
Figure 3.31 : (a) signal temporel, (b) spectre fréquentiel échelle linéaire
(c) spectre fréquentiel échelle logarithmique 98
Figure 3.32 : (a) signal temporel, (b) spectre fréquentiel échelle linéaire
(c) spectre fréquentiel échelle logarithmique 99
Figure 3.33 : (a) signal temporel, (b) spectre fréquentiel échelle linéaire
(c) spectre fréquentiel échelle logarithmique 100
Figure 3.34 : (a) signal temporel, (b) spectre fréquentiel échelle linéaire
(c) spectre fréquentiel échelle logarithmique 101
Figure 3.35 : (a) signal temporel, (b) spectre fréquentiel échelle linéaire
(c) spectre fréquentiel échelle logarithmique 102
Figure 3.36 : (a) signal temporel, (b) spectre fréquentiel échelle linéaire
(c) spectre fréquentiel échelle logarithmique 103

Liste des tableaux

Tableau 1.1 : Différents types de maintenances 28
Tableau 1.2 : Comparaison entre les types de surveillance 34
Tableau 1.3 : Exemples sur les capteurs proximités 39
Tableau 1.4 : Exemples sur les capteurs d'accélération 42
Tableau 1.5 : Comparaison entre les capteurs de vibration 43

Tableau 2.1 : Caractéristiques de la centrale 49

Tableau 3.1 : Historique des données vibratoires 89

Introduction Générale

La maintenance optimale des machines tournantes en fonctionnement a une importance vitale pour assurer une production permanente et augmenter la durée de vie de ces machines. Les méthodes de surveillances traditionnelles se contentent de laisser la machine jusqu'à sa défaillance totale pour enfin envisager la réparation. C'est ce qui cause des pertes économiques considérables. Pour éviter ce genre de problèmes, les chaînes de production doivent être équipées de systèmes de diagnostic fiables qui consiste à intervenir de façon permanente de détecter tout défaut ou changement dans l'état de fonctionnement avant les défaillances total.

L'analyse vibratoire est la technique la plus utilisée pour réaliser une surveillance et un diagnostic fiable et pour détecter l'apparition et l'évolution de la plupart des défauts de différentes origines. Le principe de l'analyse vibratoire est basé sur l'idée que les machines tournantes (moteurs électriques, pompes, compresseurs, turbines…) en fonctionnement engendrent des vibrations, celles–ci sont dues à des défauts qui engendrent des vibrations. Celles-ci donnent des signaux vibratoires très compliqués. Pour analyser ces signaux, ceux-ci sont captés par des capteurs placés sur les paliers de la machine, le plus proche possible de la source du défaut. Ils subissent une série de traitements tels que des analyses spectrale, castrale, temporelle, et temps fréquence ou temps-échelle, qui nous permettent d'identifier et de localiser le défaut.

L'objectif de notre travail est de surveiller l'état des machines tournantes de la centrale électrique de L'ARBAA et de déterminer dans quelle mesure les outils de maintenance par l'analyse vibratoire sont appliqués pour le diagnostic des défauts afin de maintenir la santé des machines tournantes et de continuer à travailler le plus longtemps possible sans défauts et sans arrêts.

Le mémoire est structuré en trois chapitres, suivis d'une conclusion générale.

Le premier chapitre présente des notions générales sur la surveillance conditionnelle des machines tournantes. Il présente une étude théorique sur la maintenance et leurs types et surtout la maintenance conditionnelle.

Le deuxième chapitre présente une description sur les équipements de la centrale électrique de LARBAA.

Le troisième chapitre présente la stratégie de surveillance appliquée au niveau de la centrale électrique de l'ARABA et la stratégie proposée pour améliorer la surveillance.

Enfin, ce mémoire se termine par une conclusion générale ainsi nous présentons notre humble avis sur cette étude.

CHAPITRE 1 :

Notions générales sur

La surveillance

Conditionnelle des machines tournantes.

Chapitre 1 :
Notions générales sur la surveillance conditionnelle des machines tournantes

1.1 Introduction

Dans le monde industriel, il existe des machines tournantes de plus en plus complexes. Afin d'assurer la production désirée et la sûreté de fonctionnement de ces machines, il est nécessaire de penser à une stratégie de maintenance efficace.

Dans ce chapitre, nous allons présenter quelques notions qui portent sur le domaine de la maintenance des machines tournantes.

1.2 Définition de la maintenance

1.2.1 Définition

La maintenance est l'ensemble de tous ce qui permet de maintenir ou de rétablir un système en état de fonctionnement. D'après l'Association AFNOR X60-010-1994 : la maintenance est l'ensemble des activités destinées à maintenir ou à rétablir un bien dans un état ou dans des conditions données de sûreté de fonctionnement, pour accomplir une fonction requise. Ces activités sont une combinaison d'activités techniques, administratives et de management [1].

La maintenance regroupe ainsi les actions de dépannage et de réparation, de réglage, de révision, de contrôle et de vérification des équipements matériels (machines, véhicules, objets manufacturés, etc..) ou même des équipements immatériels (logiciels). Un service de maintenance peut également être amené à participer à des études d'amélioration du processus industriel, et doit, comme d'autres services de l'entreprise, prendre en considération de nombreuses contraintes comme la qualité, la sécurité, l'environnement, le coût, etc… [1]

1.2.2 Objectifs de la maintenance

Les objectifs de la maintenance peuvent être classés en deux types

Objectifs financiers [2]

- Réduire au minimum les dépenses de maintenance.
- Assurer le service de maintenance dans les limites d'un budget.

Objectifs opérationnels [2]

- Maintenir l'équipement dans les meilleures conditions possibles.
- Assurer la disponibilité maximale de l'équipement à un prix minimum.
- Augmenter la durée de vie des équipements.
- Entretenir les installations avec le minimum d'économie et les remplacer à des
- Périodes prédéterminées.
- Assurer un fonctionnement sûr et efficace à tout moment.
- Eliminer les pannes à tout moment et au meilleur coût.
- Garder au bien une présentation suffisamment satisfaisante.

1.2.3 Types de la maintenance

La figure 1.1 représente les différents types de la maintenance.

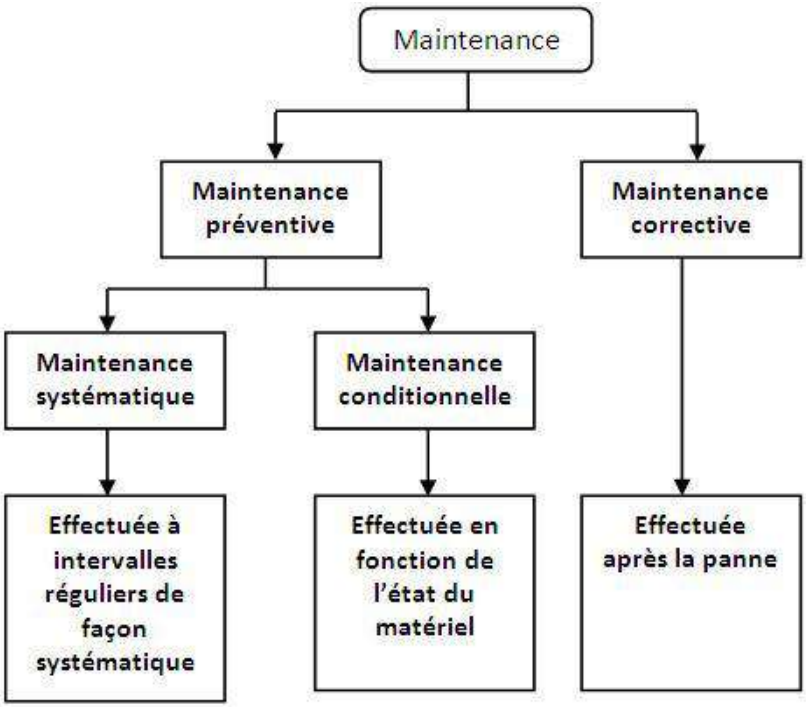


Figure 1.1 : Organigramme de politique de maintenance

1.2.4 Maintenance corrective

Selon la norme NF EN 13306, la maintenance corrective signifie : « Exécutée après détection d'une panne est destinée à remettre un bien dans un état dans lequel il peut accomplir une fonction requise ». C'est une forme de maintenance dont l'attitude consiste à attendre la panne pour procéder à une intervention. **[3]**

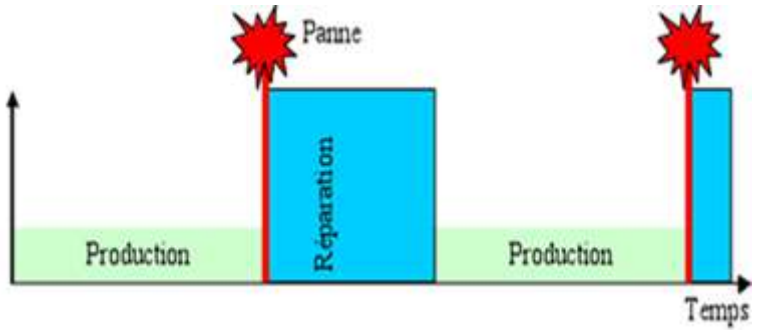


Figure 1.2 : Maintenance corrective

Les avantages :

- Pas d'investissement en contrôle.

Les inconvénients :

- Dommages conséquents.
- Coût de réparation élevé.
- Pas de planification.
- Pertes de production si la machine est critique. **[4]**

1.2.5 Maintenance préventive [5]

La maintenance préventive consiste à intervenir sur les équipements avant que la panne ne survienne. Elle est effectuée à des intervalles de temps déterminés selon des critères prescrits et destinés à réduire la probabilité de défaillance ou la dégradation du fonctionnement d'une machine.

La périodicité des visites s'établit par l'étude des lois statistiques de la durée de vie. Des gammes d'entretien sont élaborées de façon à préciser le travail à exécuter et de garder la traçabilité des entretiens.

Cette politique de maintenance s'applique aux éléments provoquant une perte de production ou des coûts d'arrêts imprévisibles, mais importants. Les équipements concernés par ce type de maintenance sont ceux dont l'impact de la panne est désastreux

pour la production. Il existe deux types de maintenance préventive : la systématique et la conditionnelle

1.2.6 Maintenance préventive systématique [5]

Selon la norme NF-X60-010, la maintenance préventive systématique est effectuée suivant un échéancier établi selon le temps ou le nombre d'unités d'usages. Généralement la maintenance préventive systématique s'adresse aux éléments dont le coût de réparation en cas de panne est très onéreux. Entre autre nous pouvons citer le changement systématique d'huile, le changement de la courroie de synchronisation, etc.

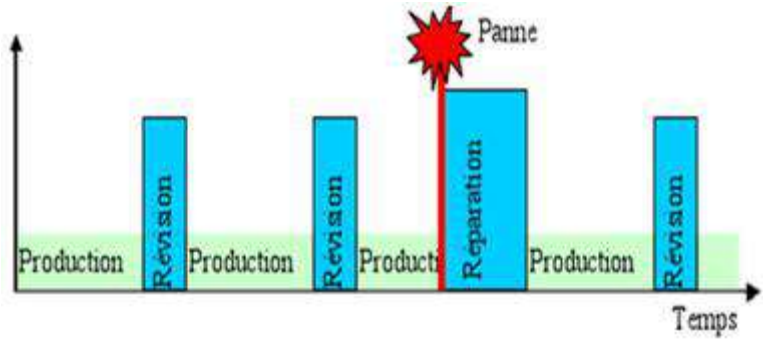


Figure 1.3 : Maintenance préventive systématique

Les avantages

- La planification des arrêts d'entretien,
- L'optimisation de l'intervention (préparation),
- Limitation des risques de pannes.

Les inconvénients

- Coût de maintenance élevé ?
- Risque induit par une intervention parfois non nécessaire.

1.2.7 Maintenance préventive conditionnelle [5]

Selon la norme NF-X60-010, la maintenance préventive conditionnelle est définie comme une maintenance subordonnée à un type d'évènement prédéterminé (auto diagnostic, information d'un capteur, mesure d'une usure, révélateur de l'état de dégradation d'un équipement)

Les avantages

- L'optimisation de la durée de fonctionnement,
- L'optimisation de l'intervention (préparation),
- L'évaluation réelle de l'état de la machine,
- Evite les pertes de production.

Les inconvénients

- Le coût élevé de l'investissement et l'astreinte à un programme de suivi.
- La surveillance est assurée en relevant périodiquement un indicateur d'état de dégradation ou de performance.

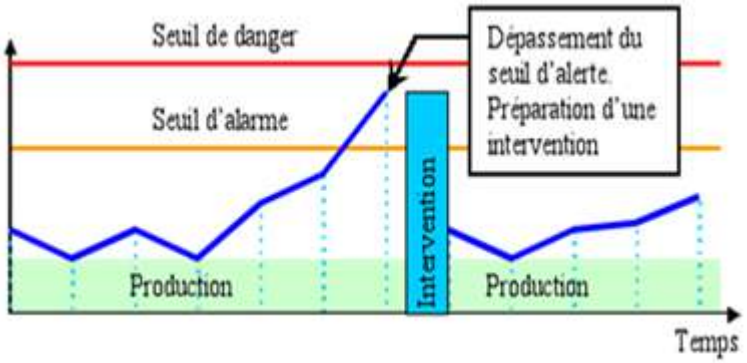


Figure 1.4 : Maintenance préventive conditionnelle

1.2.7.1 Les objectifs de la maintenance préventive conditionnelle [6]

Un nombre important des objectifs sont réalisés avec l'application de la maintenance préventive conditionnelle qu'on peut résumer comme suit.

Amélioration de la fiabilité des éléments du système [6]

L'application de la maintenance préventive conditionnelle nécessite des analyses techniques du comportement du système. Cela permet d'éliminer un nombre de défauts et adopter une maintenance préventive optimale.

Assurer la qualité des produits [6]

La surveillance habituelle facilite la détection des défaillances. On ajuste les paramètres toute en respectant le fonctionnement des systèmes électromécaniques. Dans ce cas, la qualité des produits est assurée et le rendement est élevé.

Améliorer l'organisation des tâches [6]

La surveillance continue des machines de production assure la réduction de risque d'avarie grave et la garantie de fonctionnement sans arrêt. Cela nécessite une bonne coordination entre les services de production et de maintenance pour la planification des interventions et le respect du programme de maintenance.

Garantir la sûreté de fonctionnement [6]

L'assurance de la sécurité humaine et la sûreté de fonctionnement sont basés sur les interventions de la maintenance préventive et les critères de la sécurité pour éviter les risques dangereux.

Amélioration de la gestion des stocks [6]

Le fonctionnement d'organe et éléments d'un système au maximum de leur durée de vie nécessite une surveillance très rapprochée. Le besoin en pièce de rechange peut être limité, avec la provision des pièces de rechange selon les nécessités réelles. Une amélioration de la gestion des stocks est nécessaire pour réduire les coûts des pièces de rechange.

Moderniser le climat de relation humaine [6]

L'intervention rapide par les opérations de la maintenance minimise le temps d'arrêt et évite la perte de production. Certaines difficultés, tel que l'absence de pièces de rechange, entraînent un arrêt de la machine pendant un temps important, ce qui provoque un déséquilibre entre la production et la maintenance. La maintenance préventive conditionnelle nécessite un personnel qualifié et expérimenté surtout pour les interventions ciblées et organisées.

Minimisation du coût global de la maintenance [6]

L'amélioration et renforcement de la disponibilité des équipements est le but principal de la maintenance préventive conditionnelle. Ce type de maintenance minimise les arrêts systématiques et permet d'élever le rendement du système. Le cout total de la maintenance est réduit car la surveillance permet de découvrir les petits défauts de la conception ou du fonctionnement, et aussi le control de l'évolution d'une dégradation évite la rupture d'organes. Cela permet d'éloigner le risque de rupture importante de la machine, ce qui conduit à la prolongation de la durée de vie de l'installation.

1.2.7.2 Principe de la maintenance préventive conditionnelle [7]

La figure 1.5 illustre le principe de la maintenance conditionnelle. Elle se rapporte au suivi par mesures périodiques d'une dégradation jusqu'au seuil d'alarme qui déclenche une intervention préventive conditionnelle (notée Ipc).

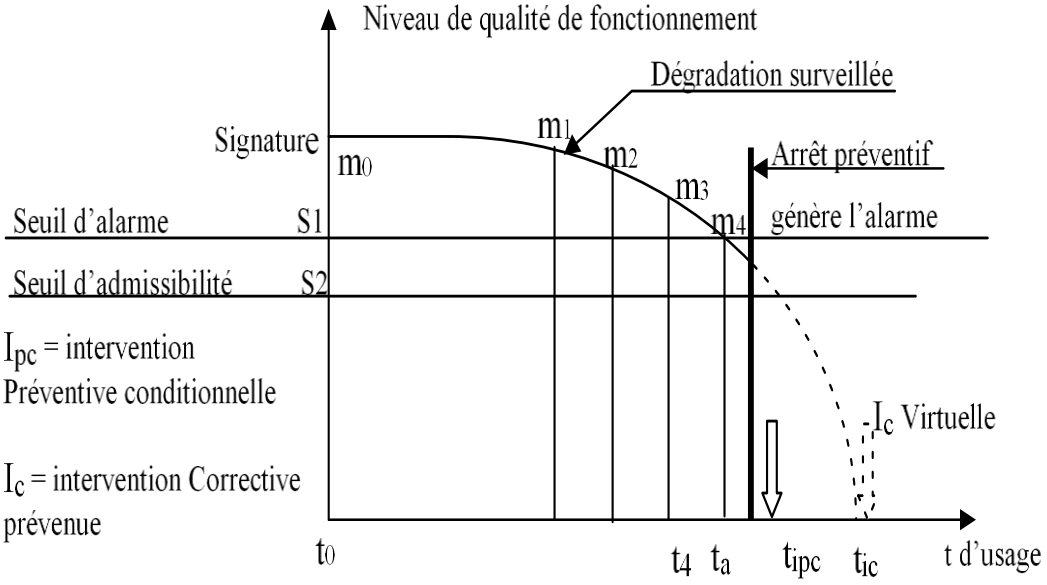


Figure 1.5 : Principe de la maintenance conditionnelle

La « signature » est une prise de référence de l'état de « bon fonctionnement » à l'origine. Les mesures peuvent être de simples observations visuelles, des images (spectre…). Elles peuvent être remplacées par des alarmes préréglées, ou des inspections, espacées de Δt de telle manière que la dégradation à prévenir ne puisse échapper à la surveillance : Δt < t admissibilité – t alarme

Les mesures peuvent ne pas commencer à t_0 (sauf signature) si l'on connaît la loi de dégradation. Les mesures peuvent être collectées par rondes ou « monitorisées » au central de surveillance.

- L'arrêt sera généré automatiquement par l'alarme, ou différé par décision volontaire jusqu'à l'I_{pc} programmée et organisée.
- L'intervention I_{pc} sera programmée à partir de l'alarme, suivant un temps de « réaction » du service maintenance à prédéterminer. Son coût direct C_{Ipc} sera par nature (choix de la dégradation à prévenir) très inférieur au coût (direct + indirect) de la défaillance évitée : CIpc << Cic.

1.2.7.3 Techniques de la maintenance préventive conditionnelle.

Les méthodes ou techniques de la maintenance préventive conditionnelle sont utilisées pour suivre et surveiller les installations industrielles, parmi ces techniques on peut citer ce qui suit :

L'analyse vibratoire [6]

La surveillance par l'analyse vibratoire des installations industrielles est l'outil préventif de la maintenance. Cette méthode est habituellement utilisée dans la plupart des installations. Elle détecte pratiquement toutes les anomalies qui peuvent apparaître dans les machines tournantes. Un défaut causé par un roulement, un jeu usé ou un défaut d'alignement, se manifeste par un changement des efforts internes que subit la machine, cela provoque une variation dans son comportement vibratoire.

Généralement, on surveille l'état d'un équipement par la fixation des capteurs de vibration (accéléromètres) aux endroits où les efforts sont transmis (sur les paliers des machines).

L'avantage principal de l'analyse vibratoire est la facilité de prendre les mesures, la détection des défauts à un stade précoce et la possibilité de réaliser un diagnostic détaillé pour déterminer l'origine du défaut.

Cette méthode est celle qui sera qui sera développée dans le cadre de ce mémoire.

L'analyse d'huiles.

Un autre outil de surveillance, l'analyse des lubrifiants, comme son nom l'indique, c'est une technique d'analyse qui détermine l'état d'huile ou de graisse utilisée dans l'appareillage électrique mécanique, appliquée à toutes les machines pourvu qu'elles contiennent un fluide (huile ou graisse) que l'on peut prélever. La méthode consiste à "faire parler" les particules d'usure drainées par le lubrifiant, en analysant un échantillon de quelques dizaines de millilitres d'huile (prélevé à l'aide de petites seringues ou lors d'une vidange), afin d'en déduire l'état de l'équipement. **[3]**

L'analyse d'huile permet de suivre dans le temps les caractéristiques physico-chimiques du lubrifiant. Cela permet d'apprécier son état de dégradation et donc son aptitude à remplir sa fonction dans la machine. Les résultats de l'analyse permettent de déceler des anomalies telles que :

- La contamination par des particules internes de l'équipement

- La pollution par des agents extérieurs
- L'usure par abrasion

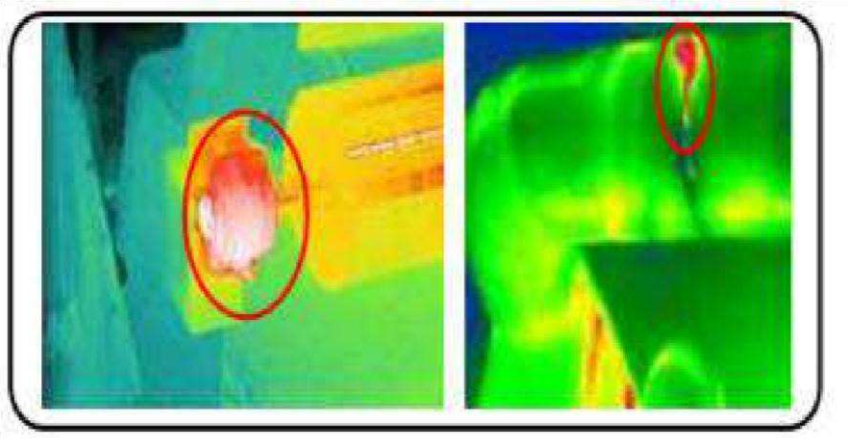
Cependant, l'emploi de cette technique dans un programme de maintenance préventive conditionnelle, est associée à trois limitations principales : le coût d'équipement, le prélèvement précis des échantillons d'huile, et enfin l'interprétation des données. **[2]**

La thermographie infrarouge [6]

La thermographie infrarouge est une technique importante employée dans le domaine de la maintenance industrielle. Elle est utilisée pour le contrôle d'installations électriques et la surveillance des machines tournantes. Pour déterminer la condition de fonctionnement, elle emploie l'instrumentation conçue pour surveiller l'émission de l'énergie infrarouge (température de surface). En repérant des anomalies thermiques (les endroits qui sont plus chauds ou plus froids), un expert peut identifier et expliquer les problèmes de l'installation.

Les éléments de base d'un appareil infrarouge industriel sont le système optique, les capteurs de rayonnement, et d'autre forme d'indicateur. Le système optique collecte l'énergie sur un capteur et la transformer ensuite en signal électrique, puis un dispositif électronique amplifie le signal de sortie et le transforme en mode affichable.

La thermographie permet de réaliser des mesures à distances, et assurer instantanément une représentation thermique de la zone contrôlée.



a. Défaut sur un palier b-.Fuite sur une canalisation

Figure 1.6 : Images thermographiques

L'analyse acoustique [6]

L'analyse acoustique est une technique de la maintenance préventive conditionnelle qui permet de détecter les défauts par l'étude des ondes et des vibrations sonores acoustiques générés par les systèmes électromécaniques. La mesure de son ou de bruit effectuée à l'aide d'un sonomètre qui évalue le niveau de pression acoustique. Ce dernier est ainsi transformé en un signal électrique, comparable en amplitude et en fréquence au phénomène acoustique. Le signal électrique peut être conditionné, échantillonné et traité de manière à caractériser le bruit mesuré. On peut ainsi par exemple déterminer des valeurs acoustiques exprimées en dB(A), effectuer des analyses fréquentielles, des analyses statistiques, et intégrer le signal sur une durée déterminée.

Cette technique est aussi employée pour déterminer la profondeur des défauts internes d'un matériau.

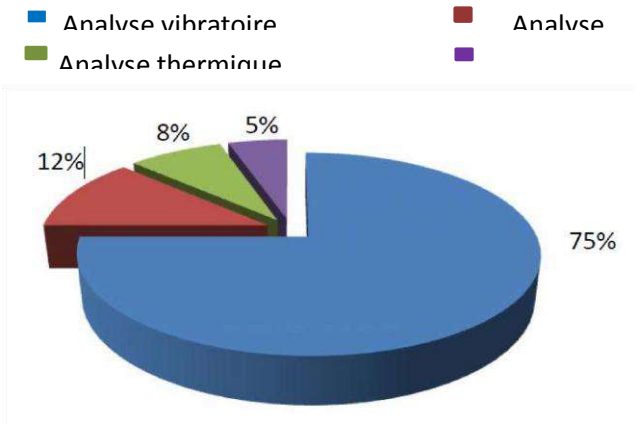


Figure 1.7 : Différents types de maintenances conditionnelles

1.2.7.4. Les étapes de la maintenance conditionnelle [8]

Dans la maintenance, on a deux étapes d'intervention :

• 1ère étape : **la surveillance**, qui utilise des indicateurs pour mettre en évidence l'apparition d'un ou de plusieurs défauts, ou défaillances.

• 2 ème étape : **le diagnostic**, qui sert à localiser plus précisément la nature et le lieu de ces défauts ou défaillances.

La surveillance [8]

La surveillance est une tache continue, en temps réel, dont le but est de caractériser le mode de fonctionnement du système physique.

L'objectif consiste à détecter et classer d'éventuelles défaillances en observant l'évolution du système, à localiser les éléments défaillants et à identifier les causes.

Le principe général de la surveillance est basé sur la comparaison de certains indicateurs avec des niveaux de seuils qui représentent les limites entre les différents états possibles de la machine.

Le diagnostic [8]

Si un défaut est détecté lors de la surveillance, on fait appel à un programme de diagnostic pour pouvoir l'identifier et le localiser.

Un diagnostic est une identification de la cause probable des défaillances à l'aide d'un raisonnement logique fondé sur un ensemble d'informations provenant d'une inspection, d'un contrôle ou d'un test.

C'est un état expliqué d'un système physique compatible avec les informations disponibles sur le comportement réel du système et avec le modèle de comportement de référence. La fonction de diagnostic est de déterminer les composants ou organes défaillants d'un système physique.

1.2.8. Comparaison des types de maintenance [5]

La comparaison des types de la maintenance est présentée dans le tableau :

Tableau 1.1 : Différents types de maintenances

Type de maintenance	Description	Avantages	Inconvénients
Corrective	intervention sur l'équipement défectueux après que la panne soit survenue	Aucun investissement dans la surveillance de l'état des équipements	Arrêt de la production pendant un temps indéterminé, coût de réparations élevé selon la gravité de la panne
Systématique	Maintenance régulière des machines suivant	Planification des interventions, maitrise de la dépense liée aux actions à mener,	Remplacement des équipements ou des huiles qui ne sont pas encore usés, dépenses ne

	une périodicité bien définie	intervention lorsque la production est arrêtée	garantissant pas la non manifestation d'une panne
Conditionnelle	Des actions sont menées lorsque les indicateurs de défaillance dépassent un seuil	Réduire les coûts liés aux arrêts de production, réparer les machines lorsque la nécessité s'impose, anticiper la maintenance	Coût élevé du matériel de surveillance de l'état des équipements, risques liés aux erreurs de mesure des capteurs utilisés

1.3. Maintenance conditionnelle par l'analyse vibratoire

L'analyse vibratoire est un des moyens utilisés pour suivre la santé des machines tournantes en fonctionnement. Est la plus connue et là plus largement utilisée car adaptée aux des composants mécaniques et aux machines industrielles en fonctionnement. Elle permet de détecter la majorité des défauts susceptibles d'apparaître dans les machines tournantes.

Les objectifs

- Réduire le nombre d'arrêts sur casse.
- Fiabiliser l'outil de production.
- Augmenter son taux de disponibilité.
- Mieux gérer le stock de pièces détachées, etc. [9]

À partir des vibrations régulièrement recueillies sur une machine tournante, l'analyse vibratoire consiste à détecter d'éventuels dysfonctionnements et à suivre leur évolution dans le but de planifier ou reporter une intervention mécanique.

Les avantages [2]

- Détection de défauts à un stade précoce.
- Possibilités de réaliser un diagnostic approfondi.
- Autorise une surveillance continue.
- Permet de surveiller l'équipement à distance.

Les inconvénients [2]

- Spectres parfois difficiles interpréter.
- Dans le cas de la surveillance continue, installations relativement coûteuses.

1.3.1. Notions de seuils [8]

Le concept de seuil associé à un indicateur est un des points clés de la surveillance et de la maintenance conditionnelle.

La vibration dépend des conditions de fonctionnement de l'équipement. Le signal vibratoire contient des informations sur les efforts engendrés par le fonctionnement de la machine, mais aussi sur l'état mécanique des structures. Il permet par conséquent d'avoir une image des contraintes internes et de diagnostiquer un certain nombre de défauts de fonctionnement.

Tant que la valeur d'un indicateur n'excède pas une valeur prédéfinie, ou seuil, l'installation est considérée en bon état :

- Une valeur trop basse, entraîne des alarmes non justifiées.
- Une valeur trop élevée rend la détection d'un défaut impossible et une panne peut se produire sans alarme préalable.

Le seuil, associé à chaque indicateur, sera déterminé par l'expérience, par référence à une norme ou à la spécification d'un constructeur ou bien, plus généralement, par comparaison.

Avec le niveau qu'avait l'indicateur lorsque la machine était jugée en bon état de fonctionnement.

Les systèmes de surveillance offrent la possibilité de définir au moins deux seuils hiérarchisés

Seuil d'alarme, son dépassement déclenche une procédure de diagnostic afin de localiser et déterminer l'origine exacte de l'anomalie. Et selon la nature et la gravité du défaut identifié, les modalités de surveillance seront modifiées pour mieux suivre son évolution ou un arrêt pour remise en état sera programmé.

Seuil de danger, son dépassement nécessite de procéder à un diagnostic immédiat de l'état de l'installation pour une urgence d'arrêt et une action corrective.

On peut également définir des seuils intermédiaires afin d'être plus précis dans notre analyse.

1.3.2. Indicateurs [5]

Les indicateurs sont utilisés en analyse vibratoire selon deux niveaux différents à savoir : la surveillance et le diagnostic des machines.

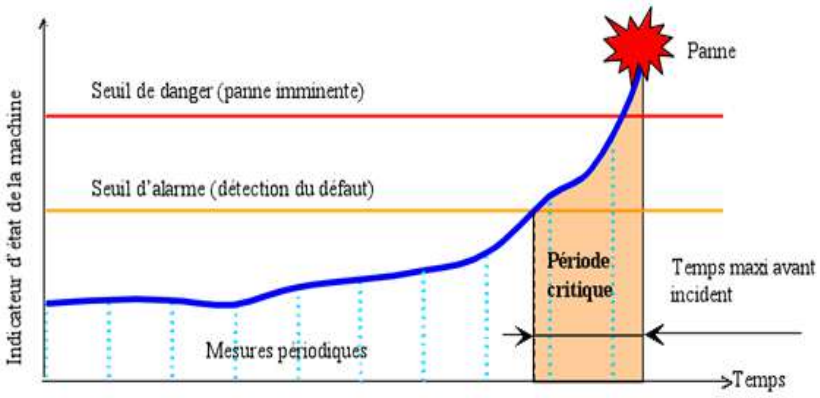


Figure 1.8 : Suivi de l'évolution d'un indicateur.

La surveillance

Le but de la surveillance d'une machine est de suivre l'évolution, par comparaison de relevés successifs de ses vibrations. Une tendance à la hausse ou à la baisse de certains indicateurs par rapports aux valeurs de référence constituant la signature alerte généralement d'un dysfonctionnement probable. Cette valeur de référence est établie lors de la première campagne de mesure sur une machine neuve ou révisée.

Le diagnostic

Le diagnostic met en œuvre des outils mathématiques élaborés. Il permet de désigner l'élément défectueux suite à une évolution anormale découlant de la surveillance. Le diagnostic n'est réalisé que lorsque la surveillance a permis de détecter une anomalie ou une évolution dangereuse du signal vibratoire.

1.3.3. Méthodologie de mise en œuvre

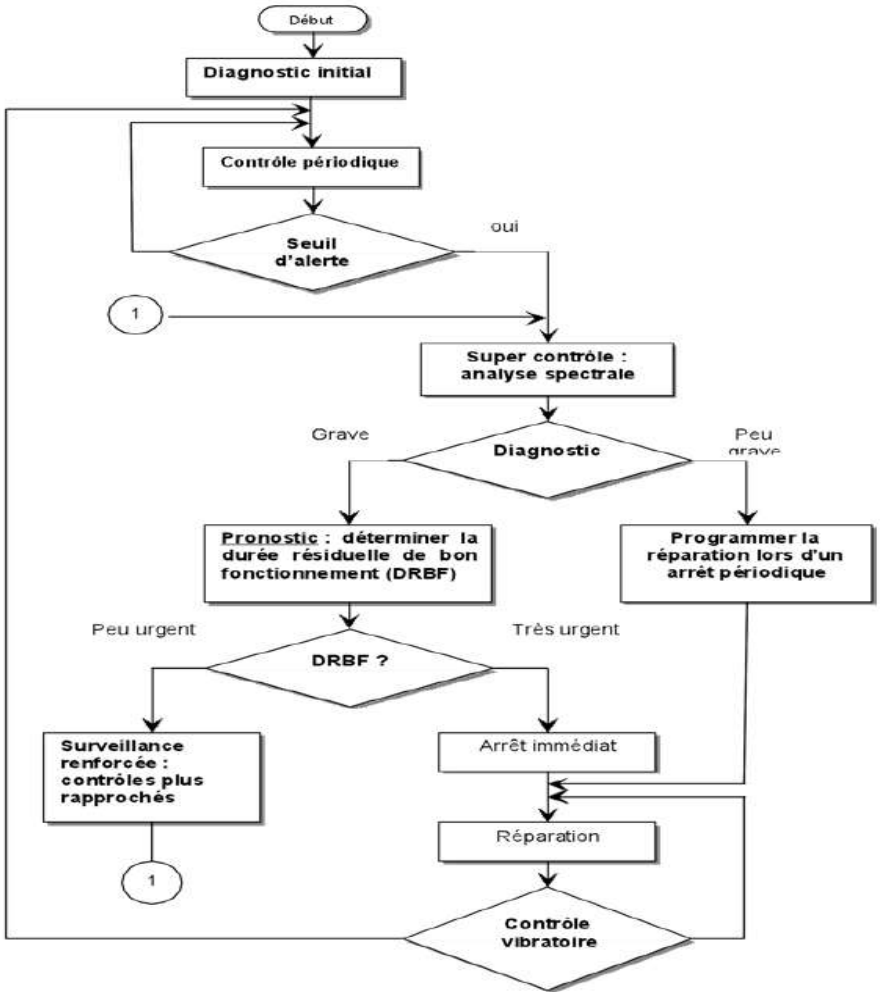


Figure 1.9 : Méthodologie de mise œuvre

1.4. Types de surveillance des machines [3]

Il existe deux types de surveillance :

La surveillance On-line [3]

Dans le cas de machines très stratégiques, ou, dont on sait qu'elles connaissent des défaillances assez fréquentes, on choisira des systèmes de surveillance à poste fixe. Le suivi continu se justifie aussi par des raisons de sécurité. Tout dépend de la criticité des machines. Certaines d'entre elles (des turboalternateurs, de gros compresseurs…) doivent pouvoir être automatiquement arrêtées dès que leurs niveaux vibratoires dépassent un certain seuil.

Ce type de surveillance est utilisé en permanence sur des machines spécifiques et surveille constamment leurs états, ainsi il joue un rôle important dans l'efficacité de la conduite de l'entreprise. La surveillance On-line est utilisée essentiellement pour pouvoir

donner l'alerte immédiate en cas de changement soudain de l'état des machines, déclenchant ainsi l'alerte ou produisant des signaux d'alarmes dans la salle de contrôle. Pour que des mesures appropriées puissent être prises avant la catastrophe

Les premières qualités exigées de tous les systèmes de surveillance permanente sont : une bonne fiabilité, une stabilité à long terme, une insensibilité à un environnement défavorable et aux régularités pouvant provoquer de fausses alarmes. Une conception mécanique robuste capable d'assurer un bon fonctionnement dans un environnement humide, poussiéreux et inhospitalier tel que défini par les normes, ont permis de satisfaire à ces exigences du matériel spécialement « renforcé » (accéléromètres, câbles, boites de jonction…) pouvant aussi fonctionner à haute température, est disponible pour ces applications.

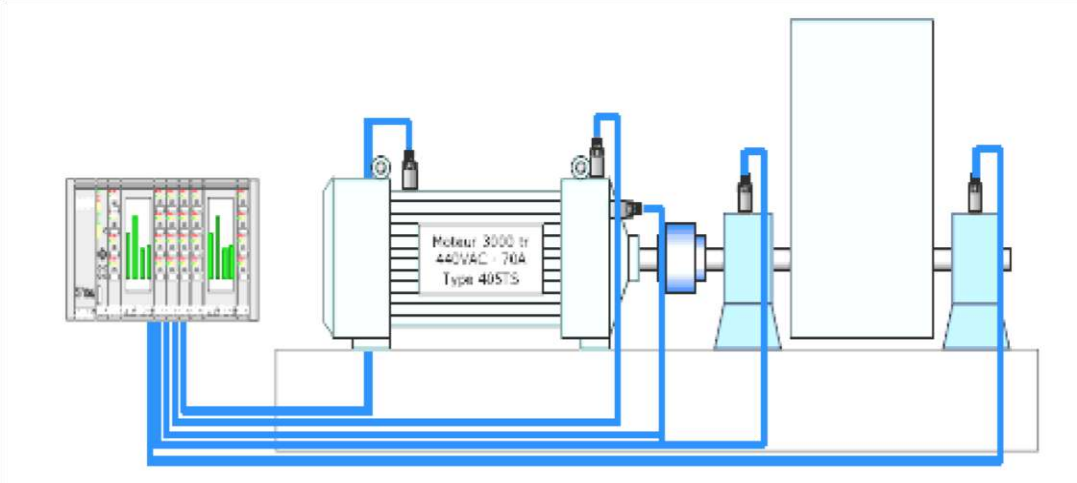


Fig. 1.10 : Surveillance On-line

La surveillance Off-line [3]

C'est un suivi périodique (off line) de l'évolution des paramètres Dans ce suivi, la mesure est effectuée à échéance programmée par un opérateur équipé d'un collecteur de données portable de plus en plus fréquemment informatisé, exemple le schenck vibrotest v160.

Le suivi périodique permet à un opérateur de suivre les indicateurs désirés d'un grand nombre de machines par exemple (les pompes et les aéro réfrigérant) pour un faible coût, puisque l'investissement en capteurs est réduit (un seul capteur portatif est généralement suffisant).

A l'inverse du suivi continu, on utilise un suivi périodique pour des machines qui tombent rarement en panne, pour des dégradations qui n'évoluent pas vite, et pour les cas où l'on pense qu'un contrôle tous les mois, ou tous les deux mois, suffira. Cela suppose donc que

l'on ait fait, dès le départ, une analyse de criticité des défauts. Reste ensuite à adapter la fréquence

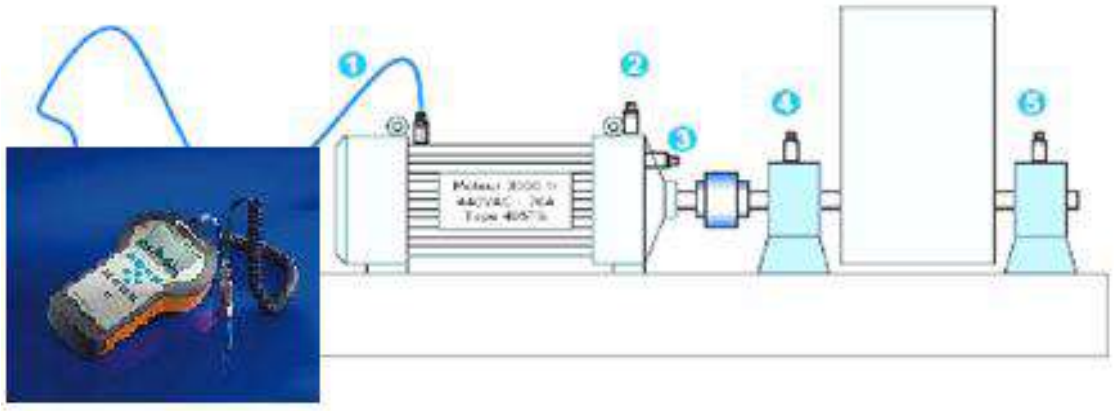


Figure 1.11 : Surveillance offline

Investissement mise en œuvre des deux types de surveillance

On-line : Coûts d'investissement élevés et Coûts de mise en œuvre faibles.

Off-line : Coûts d'investissement faibles et Coûts de mise en œuvre élevés.

Tableau 1.2 : les différents types de surveillance

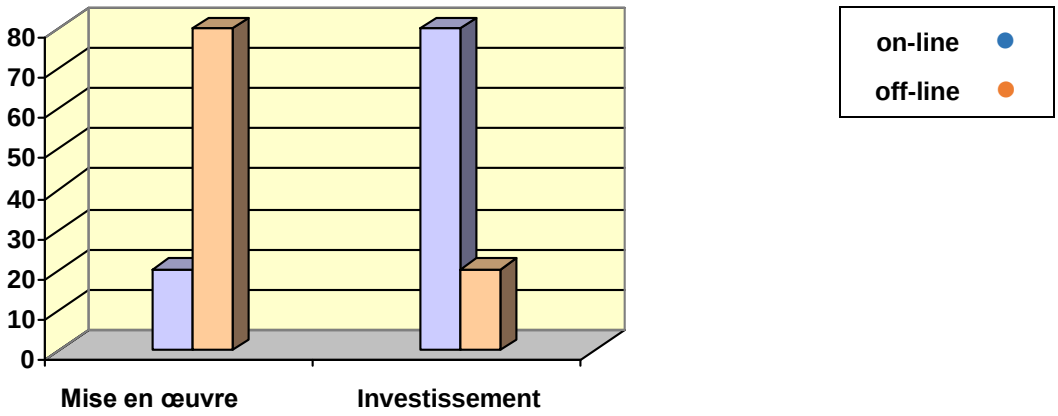


Figure 1.12 : Investissement et mise en œuvre des deux types de surveillance.

Tableau 1.2 : Comparaison entre les types de surveillance.

	Investissement Initial	Coût de mise en œuvre	Adaptation aux variations	Accès à tous les points	Diagnostic On-line	Fermeture Automatique
Off-line	Faible	Fort				
On-line	Fort	Faible	√	√	√	√

1.5. Technologies de l'analyse vibratoire [9]

Il existe deux technologies permettant de réaliser une surveillance vibratoire :

Par mesure directe du déplacement des parties tournantes (arbres de machines) : Réalisées à l'aide de capteurs à courants de Foucault, ces mesures, leur interprétation et leurs applications ne sont pas traitées ici. La technologie mise en œuvre est lourde. Une application courante est la surveillance des machines à paliers hydrauliques (à coin d'huile). Cette surveillance est presque toujours réalisée on line c'est-à-dire en temps réel. Les capteurs mesurent en permanence les déplacements des arbres et autorisent ainsi le déclenchement immédiat d'alarmes en cas de dysfonctionnement.

Par mesure de l'accélération subie par les parties fixes de la machine (carters) : Les moyens mis en œuvre sont, dans ce cas, beaucoup plus accessibles aux petites structures. À l'aide d'un accéléromètre relié à un collecteur de données, le technicien recueille les vibrations subies par les carters des machines. Cette technique se prête aussi bien à la surveillance on line qu'à la surveillance périodique effectuée lors de rondes selon un calendrier préétabli.

1.5.1. Capteurs

Le capteur, quelle que soit la nature du signal qu'il délivre (accélération, vitesse, déplacement...) constitue le premier maillon de la chaîne de mesure. Sa fonction est de transformer le mouvement vibratoire en un signal électrique.

Un capteur se caractérise principalement par :

- Sa sensibilité.
- Sa dynamique.
- Sa bande passante.
- Sa tenue en température.
- Ses grandeurs d'inRuence.
- Sa masse et ses dimensions. [10]

1.5.2. Types des capteurs de vibration [ ]

Les capteurs de vibrations utilisés actuellement en industrie pour la maintenance conditionnelle (analyse vibratoire) sont les capteurs de déplacement, les capteurs de vitesse et les capteurs d'accélérations.

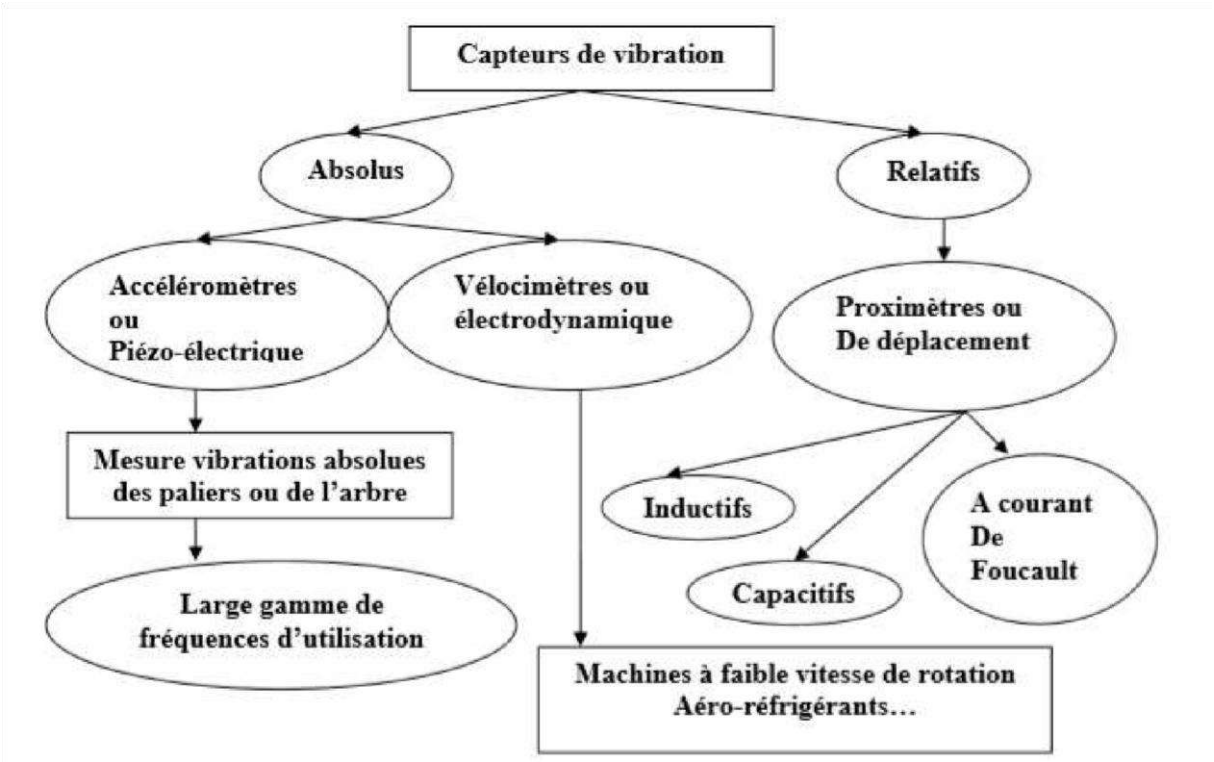


Figure 1.13 : Différents types des capteurs de vibration

1.5.2.1 Capteurs de déplacement [8]

Les capteurs de proximités appelé aussi capteurs sans contact ou de déplacement permet de mesurer les vibrations relatives de l'arbre d'une machine tournante.

Il est également utilisé pour mesurer la distance ou le déplacement et il existe en effet trois types :

- **Capteurs de déplacement capacitifs :**

Ces capteurs de petite dimension sont libres de tout contact. Ils sont sensibles aux déplacements vibratoires relatifs à une grande sensibilité sur une large gamme fréquentielle. Ce type de capteur est difficile à calibrer, il faut appliquer une différence de potentiel entre le capteur et la pièce en mouvement.

• Potentiomètre de position :

Ce capteur est capable de mesurer les déplacements statiques. Cependant, la gamme fréquentielle est très limitée et le capteur a une courte durée de vie et une faible résolution.

• Capteurs de déplacement à courant de Foucault :

Dans un environnement industriel hostile, on utilise principalement le capteur a courants de Foucault car il aune excellent tenue à la température et ses mesures restent fiables même en présence d'huile, de vapeur et de poussières.

Principe de mesure (capteur à courant de Foucault) [11]

La tête du capteur contient une bobine protégée par un capuchon en matière synthétique (toron). Cette bobine et parcourue par un courent haute fréquence (1 à 2 MHZ) provenant du conditionneur de signaux. Des courants de Foucault génères sont alors induits dans la cible, qui doit être une matière métallique.

Le signal oscillant est redresse puis linéarise par le conditionneur pour donner une tension continue proportionnelle à la distance capteur-cible. L'ensemble capteur conditionneur délivre une tension proportionnelle à la distance entre la tête du capteur et de cible. La courbe de réponse dépendra des caractéristiques de la cible.

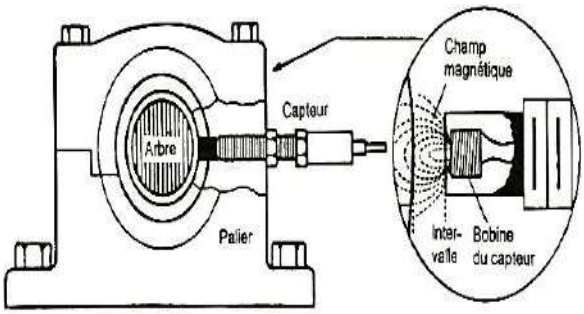


Figure 1.14 : Principe du capteur à courants de Foucault

Intérêts et limites d'utilisation des capteurs proximités [10]

L'utilisation privilégiée de ces capteurs est la surveillance des machines à paliers à film d'huile, soit pour surveiller le déplacement axial de l'arbre, soit pour mesurer son mouvement radial relatif et déterminer la position de son axe de rotation par rapport au centre du palier. D'autre part, à partir de la connaissance des jeux radiaux réels d'un palier ou des jeux axiaux rotor-stator, il est beaucoup plus facile de déterminer des seuils d'alerte et de déclenchement en terme de déplacement relatif d'arbres qu'en terme de déplacement, vitesse ou accélération absolus de paliers. C'est pourquoi ce type de capteur

a été initialement utilisé et continue de l'être, non seulement pour détecter l'apparition de défauts à un stade précoce dans le cadre d'une maintenance conditionnelle des installations mises sous surveillance, mais surtout pour en assurer la sécurité. Quelle qu'en soit l'utilisation, ces capteurs mesurent le déplacement et leur emploi est de ce fait limité à la surveillance des défauts se manifestant aux basses fréquences, c'est-à-dire dont la fréquence des composantes vibratoires induites n'excède généralement pas l'ordre 4 de la fréquence de rotation. Ces capteurs sont généralement soit placés axialement en bout d'arbre pour mesurer le déplacement latéral de cet arbre (dû par exemple à une dilatation thermique), soit montés par paires, placés à 90° (figure II.15) sur les paliers de façon à pouvoir déterminer l'orbite de déplacement de l'arbre dans son palier.

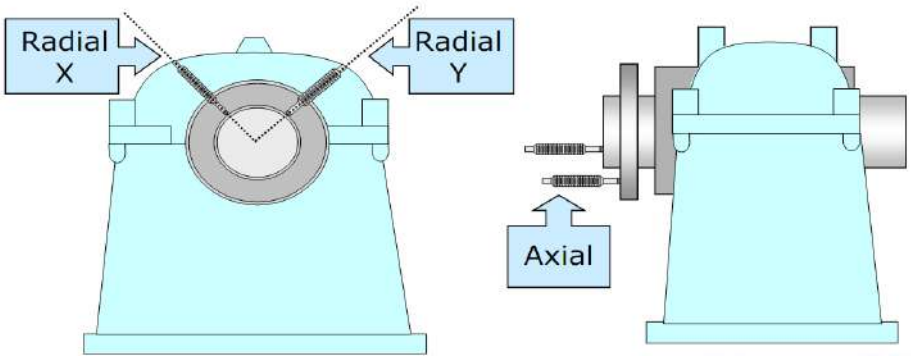


Figure 1.15 : Positionnement des capteurs de déplacement

Caractéristiques des capteurs proximités [11]

Les principaux critères de sélection d'un capteur de proximité sont :

- La sensibilité, s'il s'agit d'une mesure de la vibration.
- La distance de mesure, s'il s'agit d'une mesure de position.

La gamme de fréquence ainsi que la température sont fixées est ne sont donc pas des critères de sélection. Exemple pour la série TQ 400 :

- Gamme de fréquence : 0 à 20 KHz.
- Gamme de température : -40 à 180 c avec une dérive inferieur a 5%.
  -180 a 220 c avec une dérive supérieure a 5%.

Tableau 1.3 : Exemples sur les capteurs proximités.

Type de capteur	TQ 401	TQ 402/412	TQ 403	TQ 407/417
Plage de mesure	2mm	4mm	12mm	2mm
Diamètre de la tète	5mm	8,2mm	18mm	8,2mm
Longueur du câble entre le capteur et son conditionneur	-5m	-5m -10m	-5m -10m	-5m
Sensibilité	8mV / µm	4mV / µm	1,33mV / µm	8mV / µm

1.5.2.2. Capteurs de vitesse (vélocimètre).

Les vélocimétries permettent de mesurer les vibrations absolues de palier d'une machine tournante, il se compose d'un aiment permanent solidaire du boîtier qui génère une induction magnétique et d'une bobine mobile liée au boîtier par deux ressorts plans .Sous l'effet de la vibration, la bobine se déplace dans le champ magnétique de l'aimant .Une tension apparaît aux deux extrémités du fil de la bobine, proportionnelle à la vitesse de vibration. [11]

Ce type de capteur présente l'avantage de ne nécessiter ni source d'alimentation ni préamplificateur.

La fréquence de résonance de ce type de capteur se situe généralement entre 8 et 15 Hz et la gamme dynamique s'étend de 10-20 Hz à 2000 Hz environ, bien qu'il soit cependant possible d'abaisser à 1 Hz la fréquence de coupure inférieure du capteur, en insérant dans l'unité de mesure un circuit de linéarisation. Tend aujourd'hui à disparaître au profit des accéléromètres piézoélectriques qui, moins encombrants et plus fiables, présentent une bande passante et une Dynamique de mesure beaucoup plus étendue. [10]

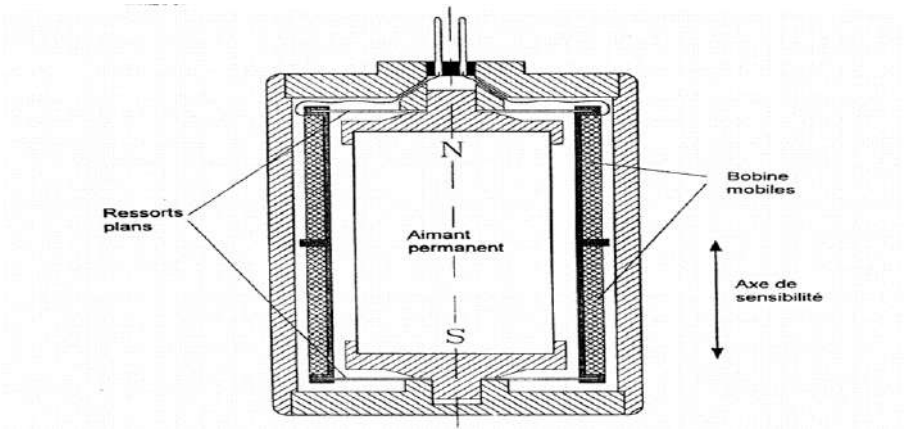


Figure 1.16 : Schéma de principe d'un vélocimétre.

1.5.2.3. Capteurs d'accélération (accéléromètre).

Les accéléromètres piézoélectriques c'est les meilleurs capteurs disponibles pour la mesure de vibrations absolues et les plus utilisés pour la surveillance des machines tournantes. Parce qu'ils ont Utilisables sur de très grandes gammes fréquentielles, ils possèdent une excellente linéarité sur une très grande (typiquement 140 dB) et Le signal d'accélération peut être intègre électroniquement pour donner le déplacement et la vitesse.

Principe de mesure [11]

L'accéléromètre permet de mesurer les vibrations absolues des paliers d'une machine tournante .Le capteur d'accélération piézo-électrique est composée d'une masse sismique agissant sur un cristal de céramique .Lorsque le capteur est soumis à des vibrations, la masse sismique transmet sa force d'inertie aux cellules piézo-électriques placées entre la base du capteur et la masse, de par l'effet piézo-électriques, une charge électrique proportionnelle à la force donc à l'accélération , apparait à la surface des cellules sensibles.

Les cellules piézo-électriques sont composées de cristal ou le céramique de synthèse pour des températures allant jusqu'à 250 c permet d'obtenir de hautes sensibilités, une seule cellule peut suffire pour la construction d'un accéléromètre. Par contre, si la céramique et soumise à une température supérieure à 250 c, elle perd définitivement ses propriétés piézo-électriques.

Selon la direction de travail de l'élément piézoélectrique à l'intérieur du capteur, on parlera de capteur à compression ou de capteur à cisaillement, plus sensible aux forces multidirectionnelles susceptibles de l'actionner.

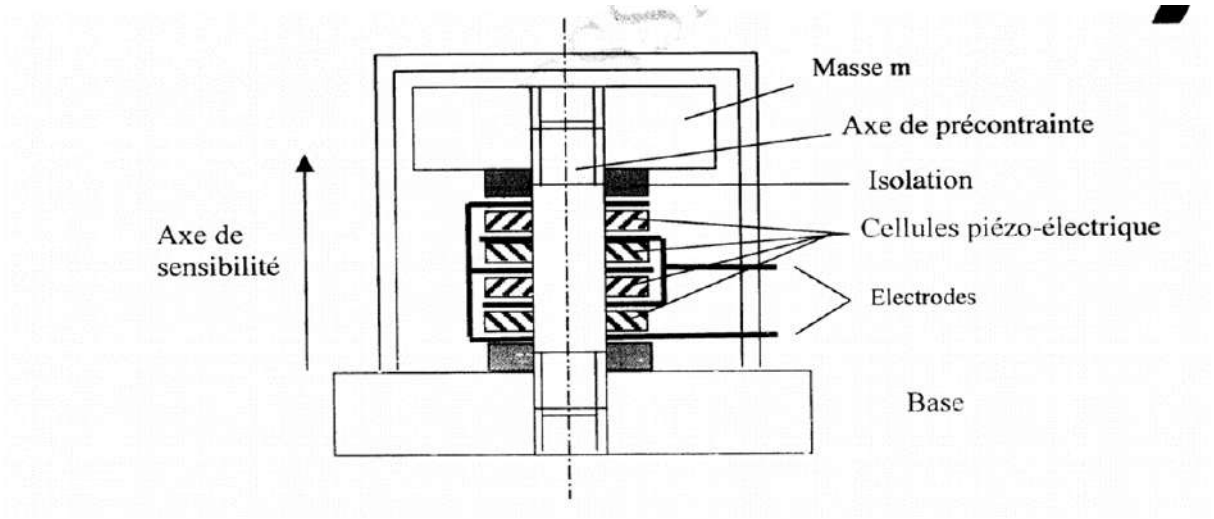


Figure 1.17 : Schéma de principe d'un accéléromètre

Point de mesure [12]

L'implantation de l'accéléromètre sur les machines est, elle aussi, très importante. Chaque campagne de mesures doit être effectuée en des points précis et toujours les mêmes.

On essaiera toujours de rapprocher le plus possible les points de mesure des paliers.

Pour avoir une image complète des vibrations (en trois dimensions), il faut prendre les mesures selon trois directions perpendiculaires sur chaque palier de la machine surveillée : deux directions radiales (horizontale et verticale) et une direction axiale.

En pratique on se contentera d'une seule mesure axiale par machine. Celle-ci sera faite de préférence proche du palier servant de butée.

Les directions horizontale et verticale peuvent, si nécessaire, être remplacées par deux directions obliques à 90°.

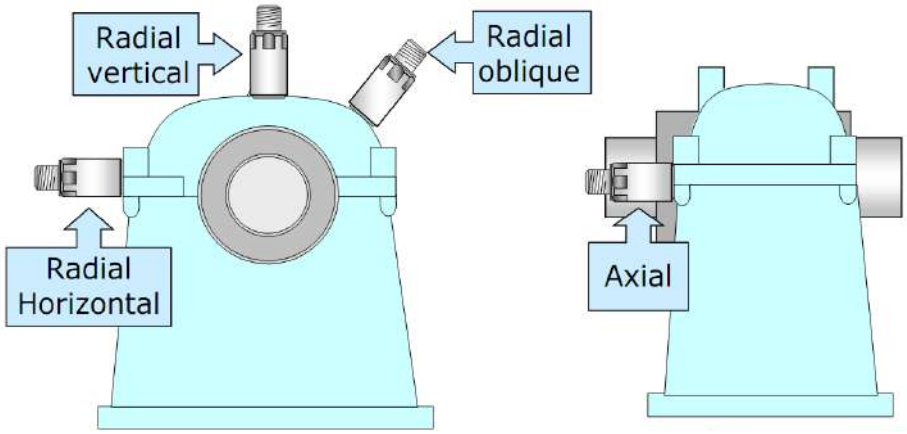


Figure 1.18 : Positionnement des capteurs d'accélération

Caractéristiques des capteurs d'accélération [11]

Les principaux critères de sélection d'un accéléromètre sont :

- La gamme de fréquence
- La sensibilité
- La température

La sensibilité est liée à la fréquence : pour mesurer les hautes fréquences, la sensibilité doit être faible et pour mesurer les basses fréquences, la sensibilité dit être importante.

Fréquence de résonance

La plage de fréquence d'un accéléromètre est normalement définie par la plage présentent une erreur de sensibilité inferieur a 5%. En voici quelques.

Tableau 1.4 : Exemples sur les capteurs d'accélération.

Paramètre	CA 201	CA 134	CA 136
Technologie	cisaillement	compression	compression
Sensibilité	100pC/g	10pC/g	100pC/g
Fréquence de résonance	11KHz	14KHz	35KHz
Réponse en fréquence	5 à 3000 Hz	5 à 3000 Hz	5 à 6000 Hz

1.5.2.4. Comparaison des types de capteurs (vibration) [11] [10]

Vous trouvez dans le tableau ci-après les avantages et les inconvénients des différents types de capteurs de vibrations (voir Tableau 1.5.).

Tableau 1.5 : Comparaison entre les capteurs de vibration.

Capteur	Propriétés et avantages	Désavantages
Capteur de déplacement	• Sortie proportionnelle au déplacement. • Mesure relative : pour un palier lisse, on mesure la distance entre le coussinet et l'axe, on peut donc déterminer les paliers, si l'axe et coussinet se touchent. • Ce capteur mesure déplacements statistiques et dynamiques.	• Construction peut robuste, bobine très fragile. • L'alimentation de la bobine en courant alternatif s'effectue avec une alimentation externe. • La sortie de ce capteur influencée par différents : rayures ou irrégularités sur la surface cible, magnétisme…. • Gamme de fréquence limitée (maximum jusqu'à 10KHz). • La sensibilité est dépendante du matériau cible employée. • Une calibration est donc nécessaire.
Capteur de vitesse	• Sortie proportionnelle à la vitesse de vibrations. • Aucune alimentation externe exigée pour alimenter la bobine. L'aimant suffit à une tension. • Les capteurs de vitesse sont fabriqués de manières robustes. Une chute ne changera même pas sa sensibilité.	• Le capteur est grand et lourd, il peut être fragile. • Gamme de fréquence limitée : ils sont inutilisable en dessous • 10 Hz et au-dessous de 1000 Hz. • La sortie peut être influencée par des champs magnétiques. • La direction de la mesure influence la sensibilité (position horizontale ou verticale). • Prix élevée
Capteur d'accélération	• Sortie proportionnelle à l'accélération des vibrations. • Leger et de volume réduit. • Bon marche. • Très large gamme de fréquence (1 Hz-100 KHz).	• Les mesures statistiques ne sont pas possible.

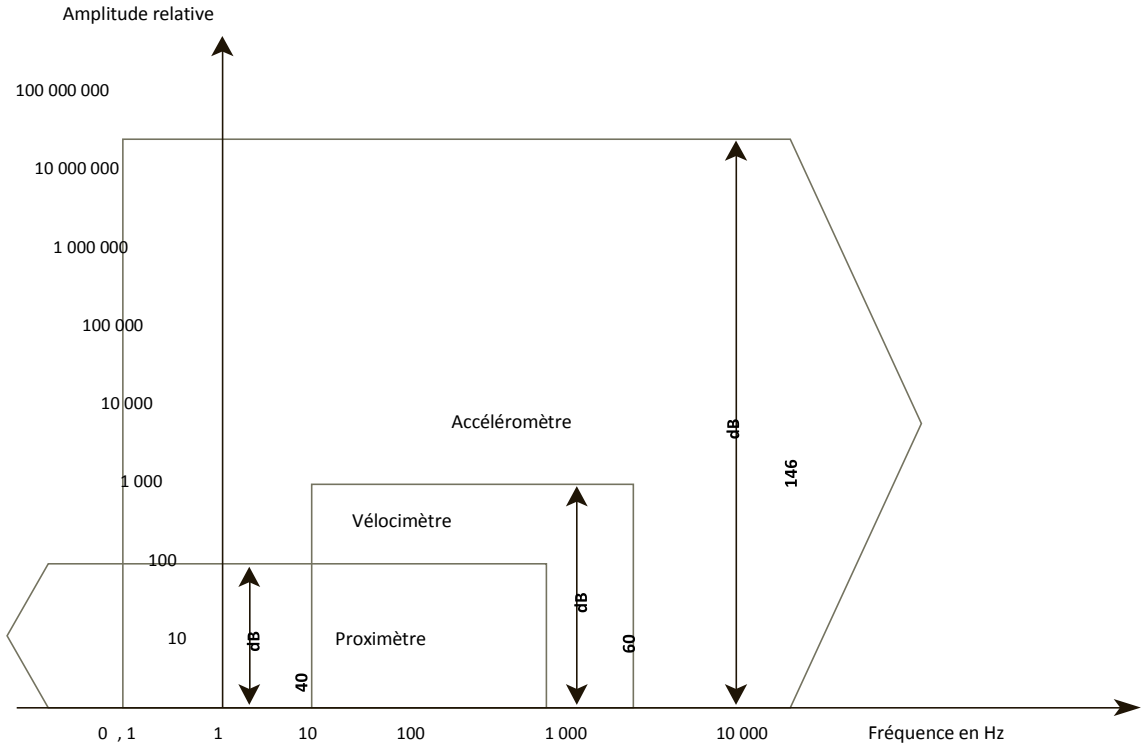


Figure 1.19 : Comparaison des plages de fréquences et gamme dynamique des trois types de capteurs

1.6. Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons brièvement présenté les notions spécifiques au domaine de la maintenance. Aussi, nous avons présenté quelques détails sur les techniques et le matériel utilisé dans la stratégie de la maintenance conditionnelle par l'analyse des vibrations afin de mieux cerner son apport dans la surveillance des machines tournantes.

Chapitre 2 :

La centrale électrique

De LARBAA.

Chapitre 2 :
La centrale électrique de LARBAA

2.1. Introduction

La centrale électrique de LARBAA est une unité de production de l'électricité par une turbine à gaz. Pour assurer la continuité de la production, le service de maintenance est soucieux de surveiller l'état de la turbine à la fois en-ligne et hors-ligne.
Dans ce chapitre, nous allons présenter les caractéristiques et le système de production afin de comprendre le système de production et la stratégie de la surveillance appliquée au niveau de la centrale.

2.2. Présentation de la société SONELGAZ

La Société Nationale SONELGAZ est le monopole de gestion de l'énergie électrique dans notre pays. Elle est née de l'ancienne Société Publique de l'Electricité et du Gaz d'Algérie en 1968.
Actuellement, la SONELGAZ assure la production, le transport, la distribution, l'engineering et des travaux de réalisation de certains projets d'électricité et de gaz sur le territoire national tout en visant à répondre de manière régulière, sûre et permanente aux besoins réclamés par l'immense clientèle.

2.3. Description de la centrale de L'ARBAA

2.3.1. Situation géographique

La centrale turbines à gaz de L'ARBAA est implantée dans la localité de BELOUADI à environ 4 kilomètres au Nord du chef-lieu de la daïra de L'ARBAA, wilaya de Blida et à 8 kilomètres au sud de la commune des Eucalyptus, Wilaya d'Alger. (Figure 2.1)

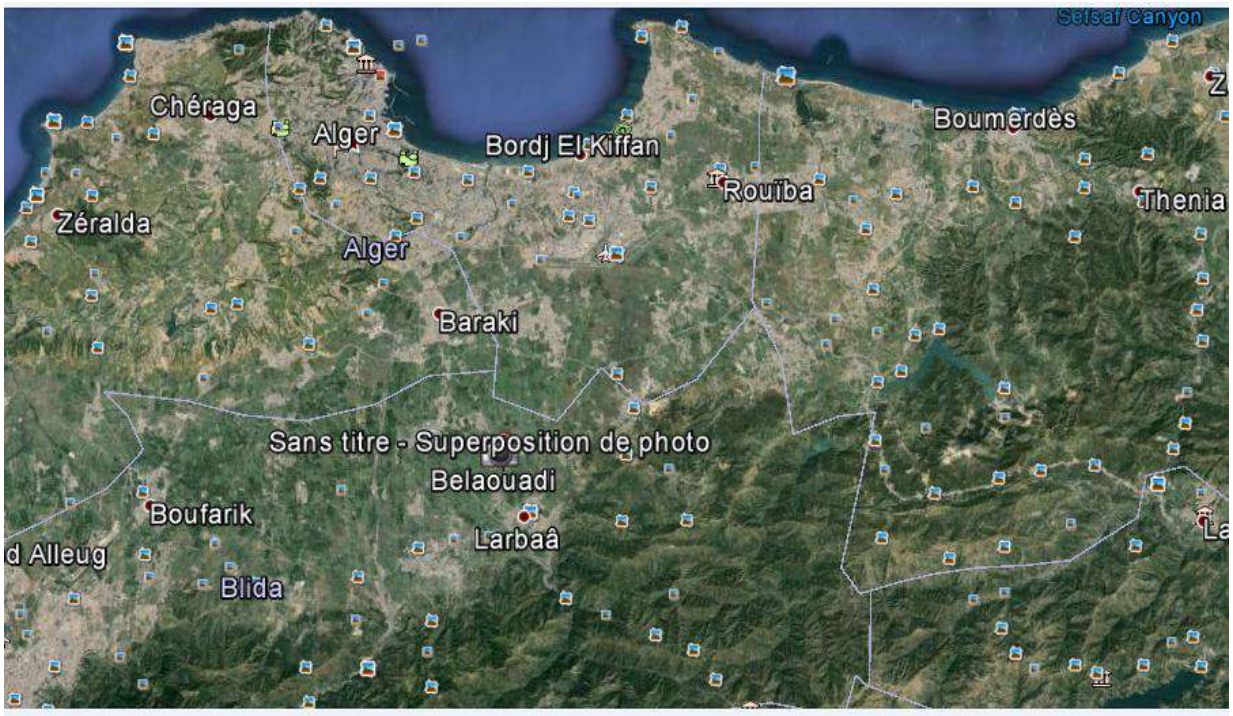


Figure 2.1 : Situation de LARBAA

2.3.2 Superficie

- La superficie du terrain servant d'assiette pour l'implantation de la centrale est de 5.4 hectares dont 04 hectares sont acquise auprès des EAC (Exploitations agricoles communes) et 1.4 hectares fait partie de l'assiette du poste 220/60 KV.
- Ce site a été choisi en raison de sa proximité à la fois du poste d'évacuation d'énergie électrique et du gazoduc SONATRACH alimentant la capitale et ses environs, passant près de la ville des Eucalyptus. (Figure 2.2)



Figure 2.2 : Superficie de la centrale

2.3.3 Principales caractéristiques de la centrale

Tableau 2.1 : Caractéristiques de la centrale

Localisation du site	L'arbaa Wilaya de Blida
Superficie du site	6 hectares environ
Type de central	Cycle ouvert-turbine à gaz
Nombre de groups	Quatre
Puissance totale	560MW aux conditions du site
Combustible principal	Gaz naturel
Combustible de secours	Gasoil
Constructeur	Ansaldo Energia (Italie)
Date de mise en vigueur du contrat	30 mai 2007
Délais de réalisation globale	environ 30 mois
Montant total du projet (centrale électrique et évacuation)	253 850,00 K EURO 6 613 433,00 K DA

2.3.4 Evacuation de l'Energie Electrique

La centrale est destinée à faire face :

- A la demande d'énergie résultant de l'implantation dans la région de divers aménagements industriels et domestiques.
- A assurer un appoint au réseau général interconnecté.

Le poste d'évacuation de l'énergie électrique est de type extérieur, il est constitué de quatre (04) travées entièrement équipées, aboutissant sur 2 jeux de barres 220KV.

Il est constitué de :

- 4 arrivées groupes.
- 5 départs 220kv (Alger Est 1, Alger Est 2, Metal Sider, Béni Merad, Hamr El Ain).
- 1 coupleur de barres.

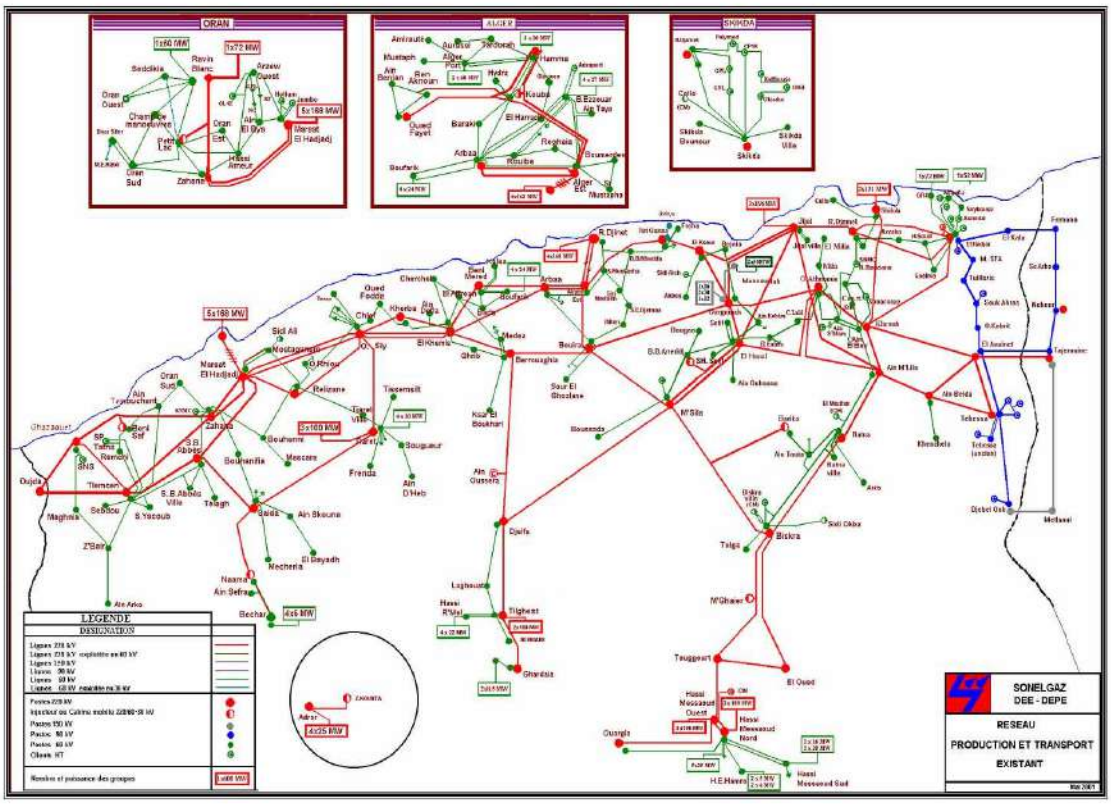


Figure 2.1 : Emplacement Géographique

2.3.5 Principales caractéristiques techniques de la centrale

La central de l'ARBAA d'une puissance de 560 MW bornes usine (4 x 140) MW conditions site) est constituée de quatre groupes turbines à gaz type V94.2 ANSALDO. Ces groupes sont installés à l'intérieur d'une salle des machines ventilée et insonorisée. La turbine est du type mono arbre à cycle simple tournant à 3000tr/min, fonctionnant au gaz naturel comme combustible principal et au gasoil comme combustible de secours, avec la possibilité de passage d'un combustible à l'autre en mode automatique. La centrale est dotée de moyens technologiques lui permettant de fonctionner dans le respect des normes en matière de préservation de l'environnement.



Figure 2.4 : Centrale turbines à Gaz de L'Arbâa (4 X 140M)

2.4. Description sommaire de l'ensemble d'une unité

Thermoélectrique turbine à gaz

La central thermoélectrique à turbine à gaz se compose principalement des équipements suivants :

- Compresseur de 16 étages : qui génère l'air sous pression et en quantité nécessaire et suffisante pour la combustion du volume de gaz combustible.
- 2 chambres de combustion a cornes**:** où s'effectue la combustion du mélange combustible – air, elle est donc le siège de transformation de l'énergie chimique en énergie calorifique. Elle est de type à cornes équipée de 2×8 bruleurs.
- Turbine de 04 étages : qui transforme l'énergie thermique des gaz de fumés résultant de la combustion en énergie mécanique.
- Générateur électrique : accouplé à la turbine et excité par un système de régulation statique de tension, il transforme l'énergie mécanique en énergie électrique.

- Diffuseur d'échappement : permet d'évacuer les gaz de fumés à l'atmosphère par l'intermédiaire de la cheminée, il est équipé d'une mesure de température par 6 thermocouples.

2.4.1. Principe de fonctionnement du procès de production d'énergie électrique par turbine a gaz : (Figure 2.5)

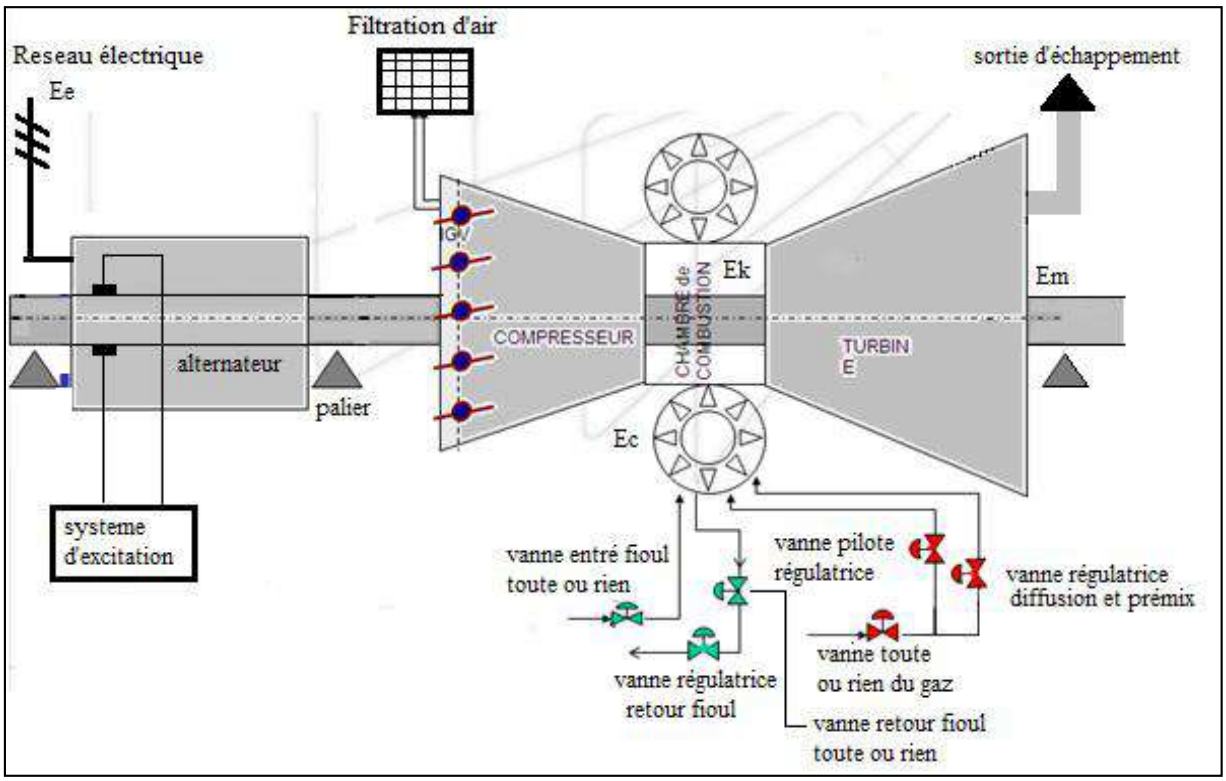
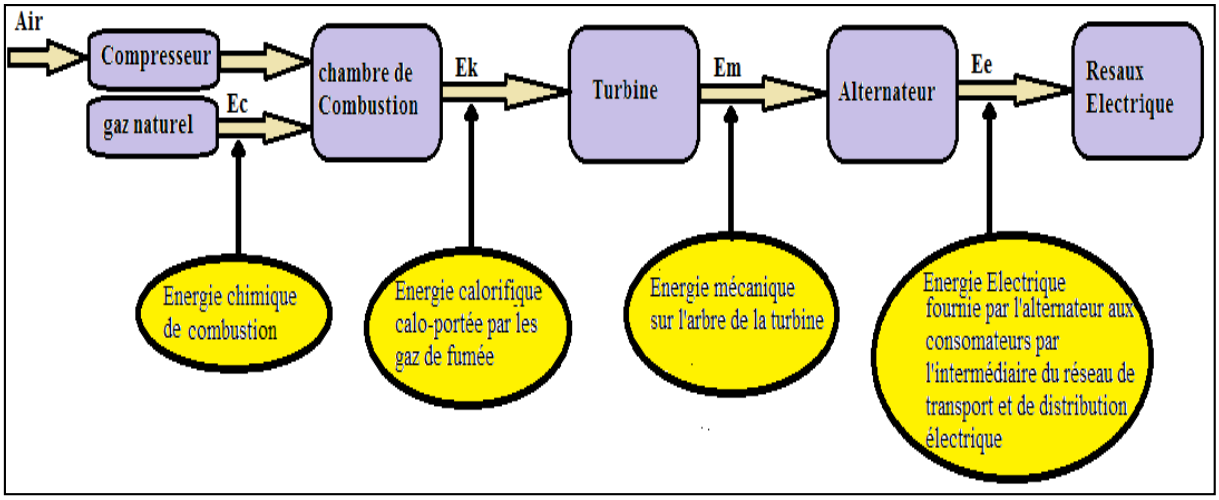


Figure 2.5 : Principe de fonctionnement général d'un groupe de turbine à gaz

La chambre de combustion est équipée d'un certain nombre de bruleurs siège de la réaction chimique de combustion du gaz naturel (combustible) et de l'oxygène de l'air (comburant) qui fournit une énergie calorifique (résultante de la réaction de combustion).

L'énergie calorifique sortie chambre de combustion est calo-portée par les gaz de fumée sur les aubes de la turbine ou ils subissent une détente transformant cette énergie en une énergie mécanique de rotation de l'arbre. Cette énergie mécanique « Em » recueillie sur l'arbre de l'alternateur accouplé à la turbine et excité par une source électrique courant continu par son inducteur (rotor) est transformé en énergie électrique. (Figure 2.6).



Energie chemique ⇨ Energie callorifique ⇨ Energie mecanique ⇨ Energie electrique

EC ↓	EK ↓	Em ↓	Ee ↓
Gaz naturel	Combustion	Turbine	Alternateur

Figure 2.6 : Transformation énergétique

Ec : Energie chimique du combustible.

Ek : Energie calorifique de gaz de fumée sortie chambre de combustion (chaleur dégagée par la combustion).

Em : Energie mécanique sur l'arbre turbine.

Ee : Energie électrique fournie par l'alternateur a ses bornes au réseau.

2.4.2. Cycle thermodynamique de la turbine a gaz

La détente que subit la turbine en transformant l'énergie thermique calo-portée par les gaz de fumée en énergie mécanique de rotation fonctionne selon le cycle de BRAYTON. De façon générale, une turbine à gaz peut être considérée comme un convertisseur d'énergie. Le cycle BRAYTON dépeint le modèle d'un cycle d'énergie de turbine à gaz. Dans les diagrammes P V (pression-volume) et T S (Température-entropie) indiqués ci-dessous, (Figure 2.7) les quatre étapes du cycle sont :

- **(1-2)** Compression isentropique dans le compresseur en augmentant la pression de l'air de l'état 1 à l'état 2.

- **(2-3)** Ajout de chaleur à pression constante résultant de la réaction chimique de combustion dans la chambre de combustion.
- **(3-4)** Détente isentropique dans la turbine.
- **(4-1)** Rejet de chaleur à pression constante dans l'atmosphère à travers le canal d'échappement

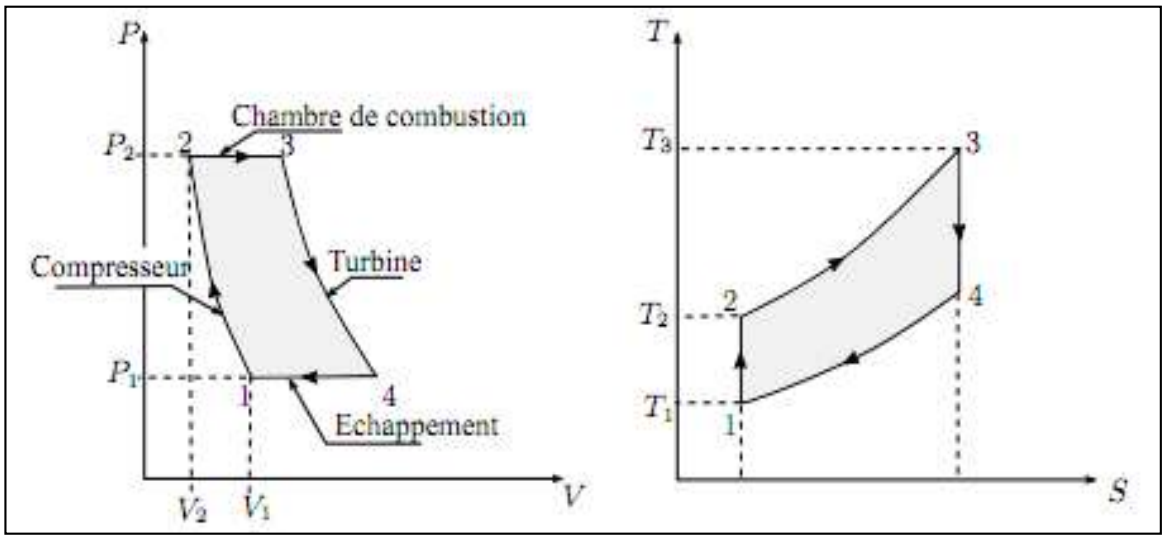


Figure 2.7 : Cycle idéal d'une turbine à gaz

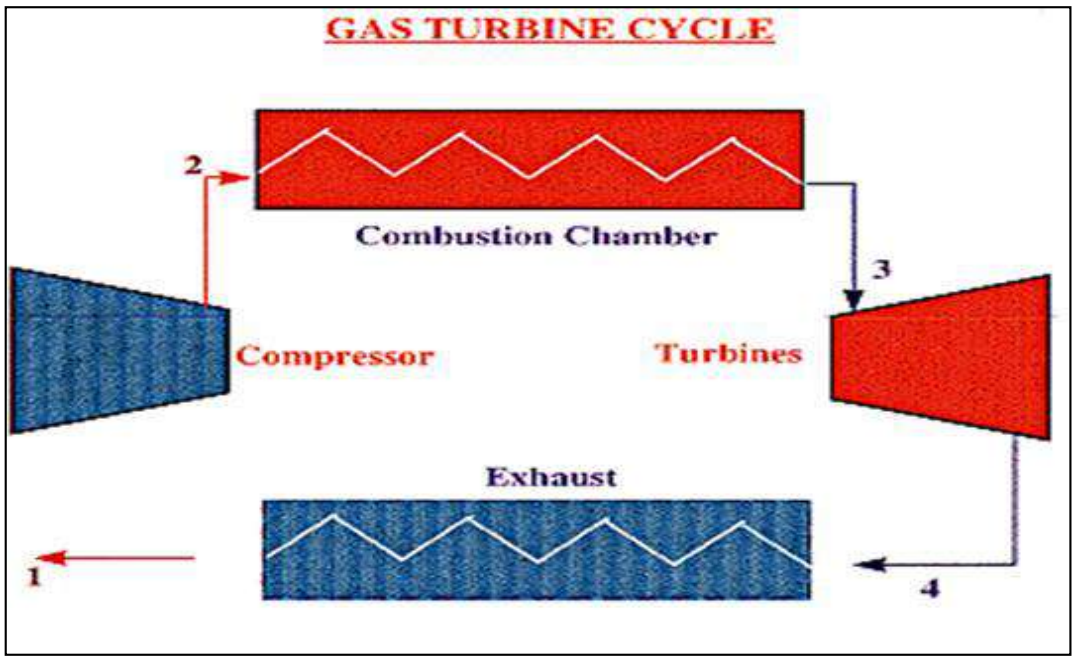


Figure 2.8 : Cycle réel d'une turbine à gaz

2.4.3. Caractéristiques de fonctionnement de la turbine à gaz de LARBAA

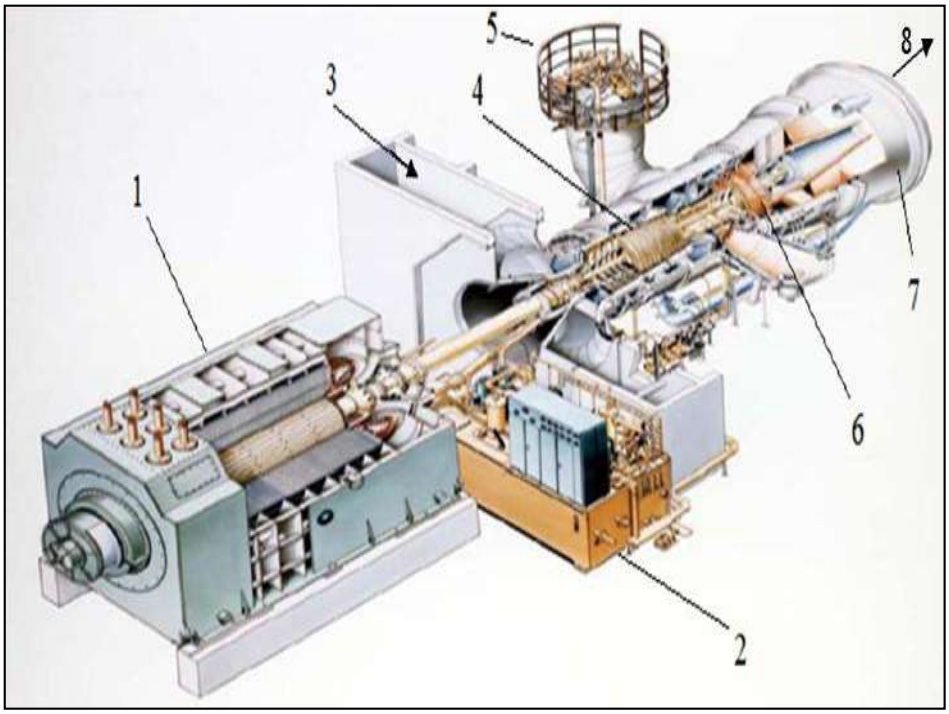


Figure 2.9 : Schéma descriptif d'un groupe de turbine a gaz

1. Générateur.
2. Réservoir d'huile avec montage.
3. Structure d'admission d'air.
4. Compresseur.
5. Chambre de combustion.
6. Turbine.
7. Diffuseur d'échappement.
8. Echappement des fumées vers la cheminée.

Les stations de L'Arbaa sont composées principalement des équipements suivants

- Station de gaz ;
- Station de fuel ;
- Section compresseur avec système de filtrage d'air ;
- Chambre de combustion ;
- Section turbine ;
- Système d'huile de graissage ;
- Générateur

a. Station de Gaz

Le gaz naturel est livré sur site à une pression d'environ 70 Bars. Le poste gaz a pour rôle le traitement et la détente. Le traitement consiste à la filtration du gaz et a l'extraction des condensats qu'il contient par un séparateur. La détente consiste à un préchauffage préalable suivi d'une réduction de pression de 70 bars a 23 bar par des détendeurs.(figure 2.10)



Figure 2.10 : Station de gaz

Elle est composée de :

- 02 Vannes d'entrée à commande pneumatique avec By-pass.
- 02 Skids filtration composées de 02 filtres chacun.
- 01 Skid réservoir de récupération de condensat.
- 02 manchettes pour le comptage gaz.
- 04 Réchauffeurs gaz type ''Bain marie'' destinés à amener la température du gaz supérieure à 15 C° a prés détente.
- 08 Lignes de détente gaz pour réduire la pression à 23 Bars, dont 04 lignes sont destinées pour Groupe 1 et 2 et 04 lignes pour Groupe 3 et 4.

b. Station fuel combustible

La fonction du système est de recevoir le gasoil de la station de dépotage et de le transférer aux réservoirs principaux, des turbines à gaz, des groupes électrogènes et la motopompe diesel anti-incendie. (Figure 2.11).

Description fonctionnelle sommaire de la station pompage et transfert fuel combustible

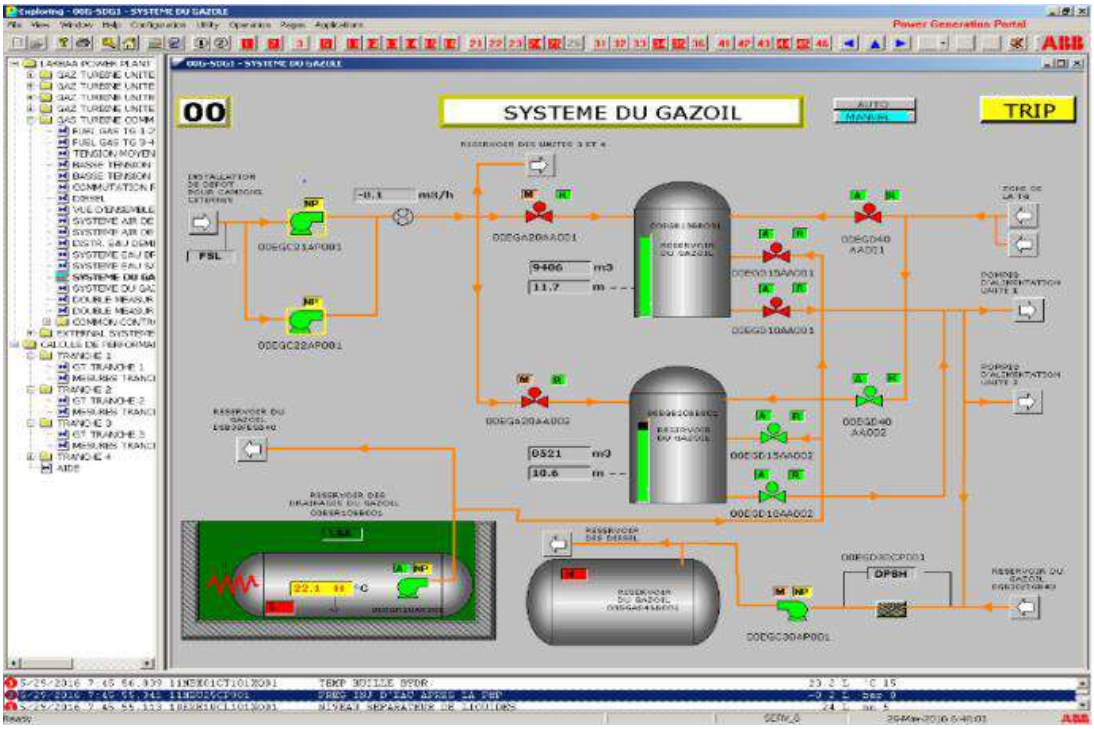


Figure 2.11 : Interface PGP.

Le système est composé de

- 02 Pompes de dépotage (2x100%) de 100 m^3/h chacune, équipées de filtres sur la tuyauterie d'aspiration.
- 04 Réservoirs de stockage de capacité de 9 000m^3 chacun.
- 02 Pompes d'alimentation (2x100%) de 70m^3/h pour chaque
- 02 Accumulateurs pneumatiques pour chaque groupe.
- 01 Pompe d'alimentation pour les réservoirs des groupes électrogènes 10m^3/h.
- 01 Réservoir de drainage du gasoil avec une capacité de 4m^3.
- 01 Pompe de drainage du gasoil.



Figure 2.12 : Les réservoirs fuel

Carburant final local (Local final fuel)

La turbine est conçue pour fonctionner au fuel comme combustible de secours en cas d'avarie du combustible principale (Gaz naturel).

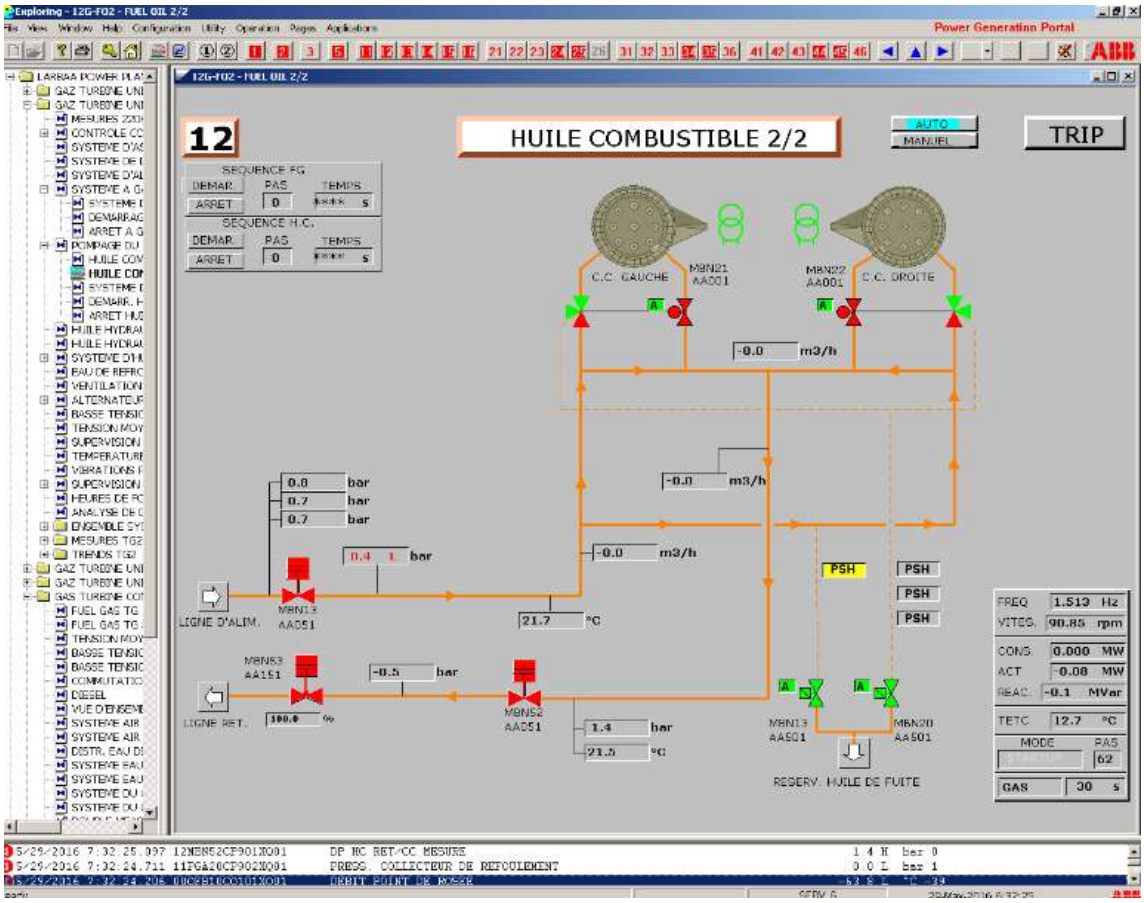
Le skid est composé de :

- 01 Pompe d'injection fuel entrainée par un moteur électrique de 6 KV 390 MW, pression d'aspiration : 7 Bars, refoulement max : 120Bars.
- 02 Accumulateurs à chambre à air.
- 02 Filtres gasoil.
- 02 Réservoirs de drainage 1m^3.
- 01 Soupape d'arrêt d'urgence.
- 01 Soupape de contrôle retour fuel.
- 01 Soupape d'arrêt retour fuel

- 02 compteurs de débit fuel (l'un pour l'alimentation, l'autre pour le retour fuel).



Figure 2.13 : Skid final fuel



Description fonctionnelle sommaire de la station injection fuel

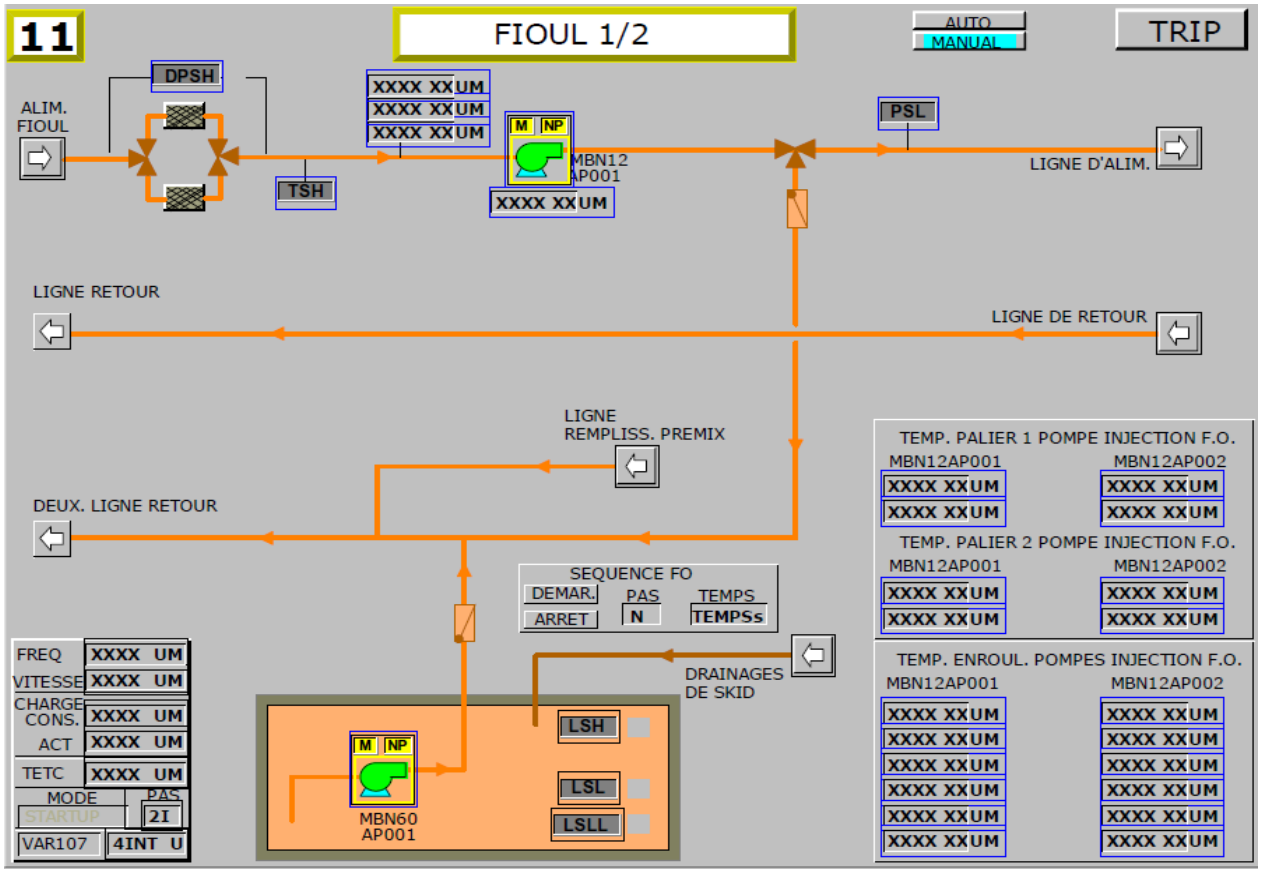


Figure 2.14 : Interface PGP

C. Section compresseur avec système de filtrage d'air

Section compresseur

Description et principe de fonctionnement

L'air froid insufflé de l'extérieur en condition du site est comprimé et chauffé en traversant la section du compresseur. Les ailettes du stator et du rotor du compresseur transforment le fonctionnement mécanique (rotor en rotation) en un flux d'énergie.

Les ailettes du rotor sont donc exposées à une tension par des forces dues au débit. En plus de cela, le débit lui-même peut donner lieu à une augmentation de forces supplémentaires, ce qui signifie que les ailettes du compresseur sont parmi les éléments d'une turbine à gaz qui sont exposées à un stress majeur.

L'air défluant à travers le compresseur de la turbine à gaz est accéléré alternativement par un étage d'ailettes du rotor et alors renversé (retardé) par un étage de ailettes du

Stator (Figure 2.15). Sa pression et sa température augmentent progressivement tandis que son volume Spécifique décroit. Un appareil stator supplémentaire, situé en aval du dernier étage d'ailettes du stator, provoque à l'air comprimé un débit quasi constant dans la chambre de combustion.

Les étanchéités sont fournies pour éviter que l'air, dont la pression soit augmentée étape par étape, ne reflue à un niveau de pression plus bas voisin. Le comportement opérationnel du compresseur à vitesses basses peut être défavorable, entrainant un stress excessif sur les ailettes. Spécialement durant l'allumage de la turbine à gaz, le compresseur marche dans une série de conditions instables de débit. Donc, le compresseur est équipé de deux vannes anti pompages qui sont situées au 5ém étage et une vanne située au 10ém afin de minimiser les vibrations pendant l'allumage et l'éteignage de la turbine à gaz.

Ces vannes anti-pompage évitent aux ailettes une charge excessive durant ces conditions opérationnelles. Le compresseur est équipé par des ailettes stator réglables (IGV) à l'entrée du compresseur pour laisser passer un certain débit d'air nécessaire pour la combustion. Si de l'air impropre est aspiré, des dépôts peuvent se former sur les ailettes du compresseur ou les tuyaux de refroidissement pour la turbine peuvent se bloquer, tous les deux provoquant une efficacité réduite. De plus, l'air contaminé peut causer l'érosion des ailettes du compresseur ou les ailettes de la turbine. Une quantité d'air est utilisée pour refroidir les ailettes turbine exposées à des hautes températures afin éviter cette corrosion. Donc l'air introduit est en général filtré. De plus, des procédés sont développés tels qu'ils permettent le nettoyage du compresseur sans démontage de la turbine à gaz. Le compresseur et la turbine sont installés sur un arbre et de ce fait, ils forment une unité unique. Le compresseur fonctionne en plusieurs étages (16 étages) chaque étage consistant en une série d'ailettes rotor et stator. (Figure 2.15 et 2.16).

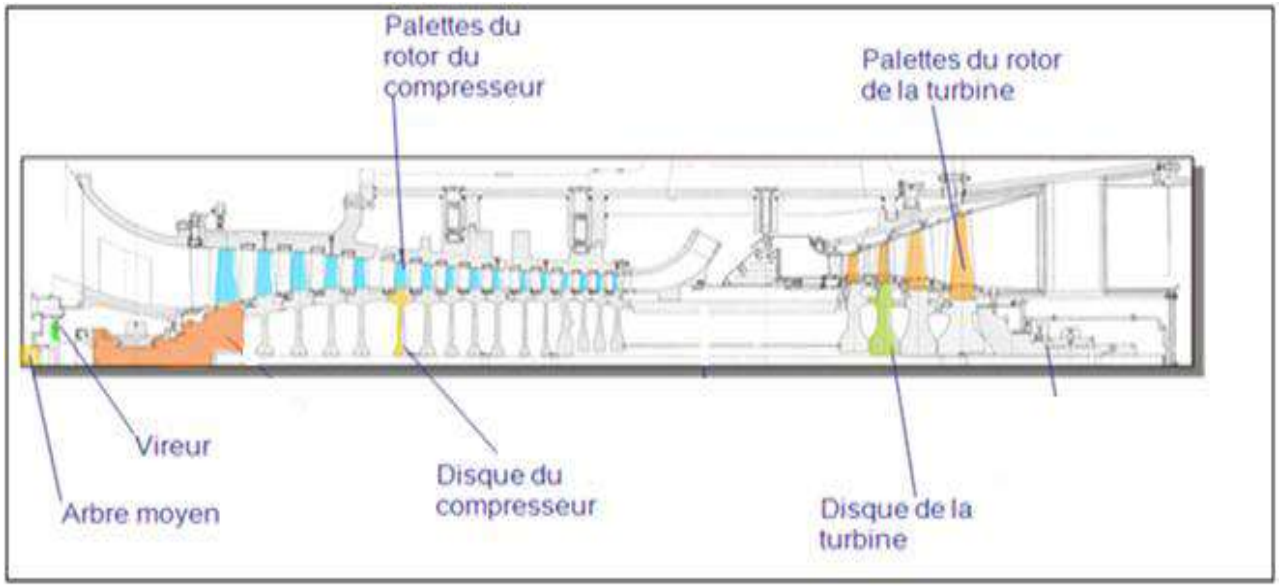


Figure 2.15 : Rotor

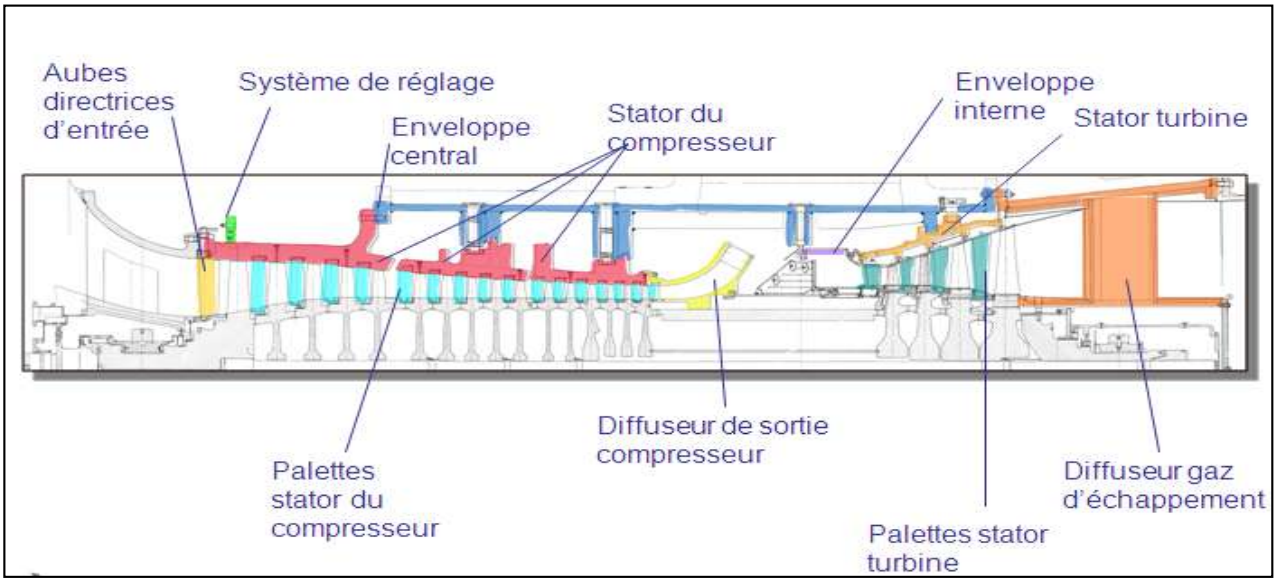


Figure 2.16 : Stator

Système de filtration d'air

La filtration d'air a pour rôle de retenir les impuretés contenues dans l'air atmosphérique afin de préserver les ailettes de compresseur et de la turbine contre l'encrassement et l'érosion. (Figure 2.17).



Figure 2.17 : système de filtration d'air

d. Chambre de combustion

Description et principe de fonctionnement

La turbine à gaz V94.2 est équipée de deux chambres de combustion, montées verticalement sur les côtés de la turbine à gaz et connectées aux brides latérales de l'enveloppe extérieure de la turbine à gaz. Cette structure de la chambre de combustion offre une bonne accessibilité de toutes les composantes pour les inspections et si nécessaire, montage et démontage facile. Le débit principal passant du compresseur à la chambre de combustion se déverse dans les brûleurs en tant qu'air primaire et participe à la combustion. Dans les chambres de combustion, la réaction chimique entre l'air et le combustible produit une augmentation importante de température à une pression constante. Dans cette section la valeur calorifère du combustible se transforme en une énergie thermique pour les gaz.



Figure 2.18 : Chambre de combustion

Chaque chambre de combustion contient huit bruleurs qui sont capable de fonctionner avec le gaz naturel en modalité de diffusion et de pré mix (brûleur à deux mode pour le fonctionnement à NOx sec bas) et avec huile combustible (fioul) légère en modalité de diffusion (NOx bas avec ajout d'eau, si prévu). Les brûleurs à gaz naturel assurent que le gaz naturel entre dans la zone de combustion de façon à former un mélange efficace avec l'air et à brûler complètement dans la chambre de combustion. Tous les brûleurs sont égaux et la distribution du gaz naturel aux brûleurs individuels est donc uniforme. Avec l'emploi de brûleurs à diffusion dans les turbines projetés pour haute température à l'entrée, il n'est plus possible de respecter les valeurs de l'émission d'oxyde de Nitrogène prévues par la loi. Pour permettre l'emploi continu de brûleurs à diffusion de ce type, il faut réduire la température de la flamme. Car elle est la responsable principale de la formation désoxydes de Nitrogène.



Figure 2.19 : Bruleurs

Le brûleur à diffusion peut être opéré à un bas rapport moyen (combustible /air) donnant localement lieu à la formation de zones de composition stœchiométrique dans la flamme. Il y a une forte tendance vers la formation d'oxyde de Nitrogène dans ces zones. La formation de ses zones de composition stœchiométrique peut être empêchée quand le combustible et l'air participant dans la réaction sont mélangés de façon homogène avant d'entrer dans la zone de réaction. Ce découplage du processus de mélange (et d'injection d'eau dans le cas de fioul) de la réaction de combustion est une caractéristique du brûleur de mélange.

Pour être utilisé dans les turbines à gaz, la plage étroite d'exploitation (rapport d'air) du brûleur de mélange a besoin d'une conception complètement différente du contrôle

à boucle ouverte et fermé complètement différente du système de contrôle du brûleur à diffusion.

Le brûleur hybride (figures 2.20- 2.21) avait été réalisé pour tenir tous les brûleurs en service continu avec des émissions de Nox et CO extrêmement basses et une puissance de sortie très élevée. Il se diffère d'un brûleur à diffusion pure par l'incorporation d'un système d'alimentation de fioul supplémentaire permettant, à partir d'un débit spécifique de fioul, de mélanger le fioul avec l'air de combustion en aval du tour billonneur diagonal et est mélangé de façon homogène avec cet air en route vers la zone de combustion. Jusqu'à présent, cette simple méthode de mélange a été réalisée seulement pour le fuel.

Description fonctionnelle sommaire de la chambre de combustion

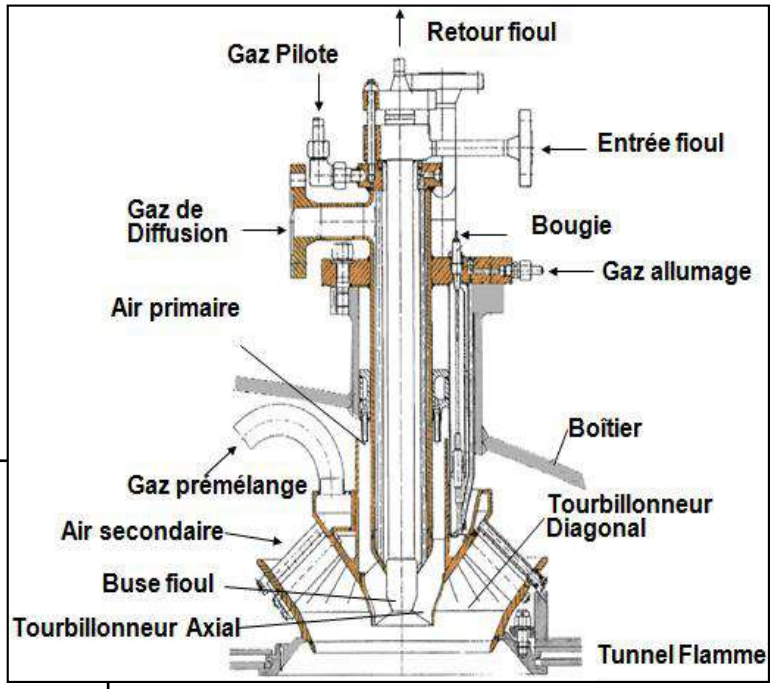


Figure 2.20 : Schéma descriptif d'un bruleur hybride

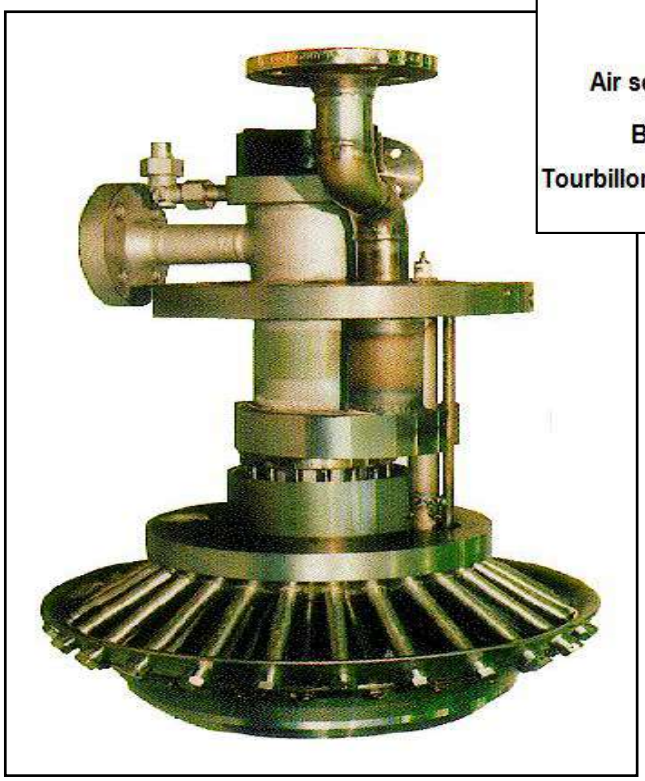


Figure 2.21 : Bruleur hybride réel

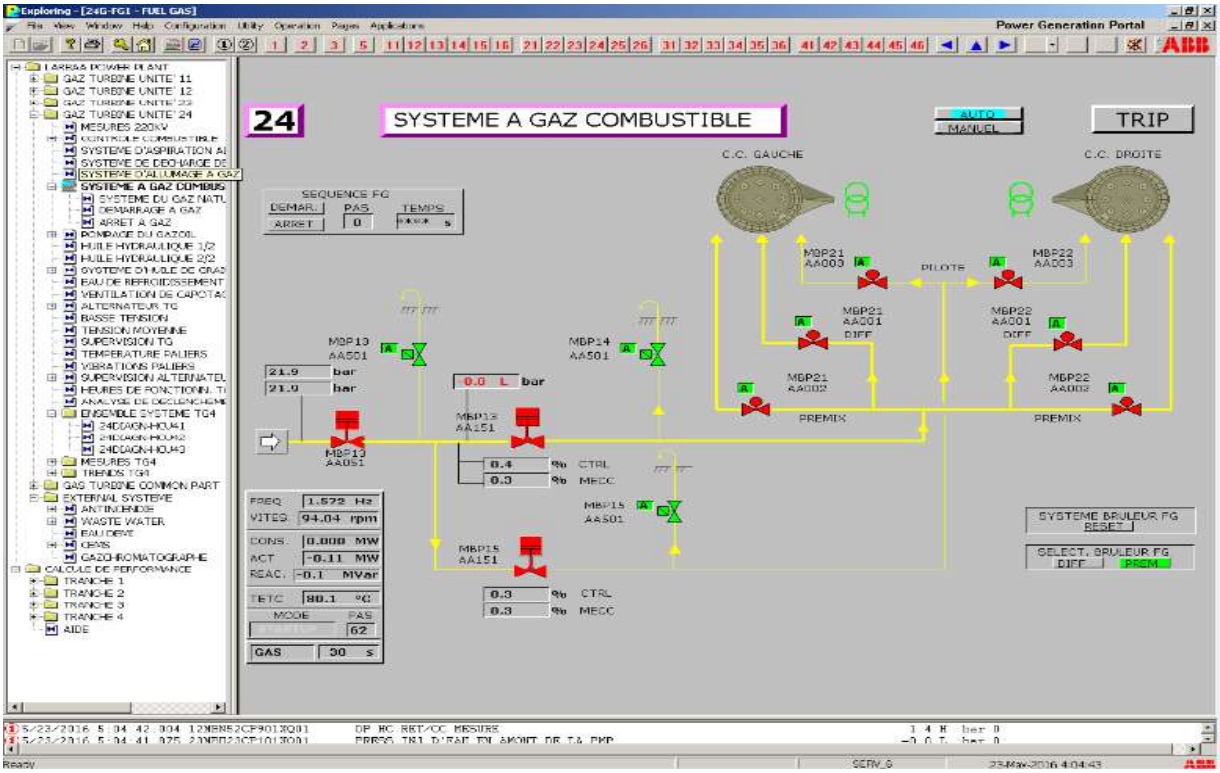


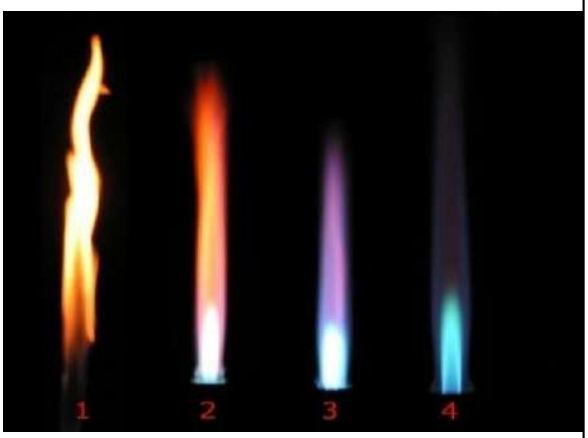
Figure 2.22 : Interface PGP

Flamme de Diffusion

Caractérisée par Bas rapport de dilution,

Haute température de la flamme,

Haute production de NOx.



Flamme de

Pré-mélange

Caractérisée par Haut rapport de dilution,

Basse température de la flamme,

Basse production de NOx

Figure 2.23 : Flammes diffusion et prémix

Définition de la combustion

C'est l'ensemble des réactions chimiques qui se produisent dans certaines conditions de concentration (mélange), de pression et de température en dégageant de la chaleur lors de la mise en contact d'un combustible avec un comburant .les éléments actifs du

combustible (carbone ,hydrogène ,soufre se combinent aux éléments actifs du comburant (oxygène) pour donner naissance à des réactions chimiques exothermiques.

- Les éléments actifs des combustibles sont le carbone, l'hydrogène, et le souffre .Le souffre est considère comme impureté dans le combustible car il est nuisible pour les installations (corrosion), sa concentration dans le combustible est inferieur à 4%.
- Les éléments inertes du combustible qui ne se combinent pas avec le comburant et qu'on retrouvera dans les résidus de la combustion sont l'eau, l'azote, et les cendres.
- Dans l'industrie on utilise l'air atmosphérique comme comburant.
- L'air atmosphérique est composé de 21% d'oxygène (élément actif) et 79% d'azote (gaz inerte). Lorsqu'on a besoin de 1 m^3 d'oxygène pour la combustion il est introduit dans le foyer 3,8m^3 d'azote simultanément.

Réglage de la quantité d'air comburant

Pour assurer une combustion complète de combustible dans une chambre de combustion il faut une quantité d'air suffisante pour bruler en totalité le combustible. Pour cela un excès d'air est absolument nécessaire pour permettre une combustion complété sans imbrulé de gaz. Cet excès d'air est défini compte tenu du type de combustible (liquide, solide, gaz) et de la conception du bruleur qui assure le mélange. Le taux d'oxygène dans les fumées doit être de l'ordre de 4 à 5 % pour le combustible liquide et de l'ordre de 1,5% pour le gaz naturel. L'air doit être introduit aux bons endroits sur le parcours du combustible pour permettre un mélange optimal (Excès d'air λ=quantité d'air réel /quantité d'air théorique).

E. Section Turbine

Dans la section turbine , L'énergie calorifique sortie chaudière est calo-portée par les gaz de fumée sur les aubes de la turbine ou ils subissent une détente transformant cette énergie en une énergie mécanique de rotation de l'arbre partiellement demandé par le compresseur en grande partie 60% et de 40% vers le réseau à travers le générateur. La turbine est constituée de quatre étages chaque étage se présente en une série d'ailettes statoriques et d'ailettes de rotoriques. Les ailettes du stator et du rotor de la turbine sont des parties qui sont exposées à un stress mécanique et thermique intense.

C'est pourquoi elles doivent être fabriquées par un matériau très résistant à la chaleur Approximativement à 1190°C.

En raison des contraintes thermiques et mécaniques importantes auxquelles elles sont soumises, les aubes de la turbine sont réalisées à partir d'alliage résistant aux hautes températures. Les aubes des trois premiers étages sont dotées d'un revêtement de protection contre la corrosion à haute température.

Les quatre étages d'aubes fixes et les trois premiers étages d'aubes mobiles sont refroidis à l'air. L'air de refroidissement destiné à la turbine est prélevé aux étages appropriés du compresseur. Des conduites dirigent l'air du compresseur à l'enveloppe de la turbine. De là, il pénètre dans les aubes directrices par des orifices percés dans le port d'aubes. Les aubes mobiles sont refroidies par de l'air soutiré en aval du compresseur. Cet air pénètre dans les pieds des aubes par des orifices percé dans les disques du rotor et dans le tube répartiteur d'air puis ressort par le sommet des pales.

f. Système d'huile de Graissage du turbo-alternateur

- **Rôle du graissage**

- Assurer la lubrification des coussinets, des paliers, et des divers mécanismes du palier afin de minimiser la friction.
- Assurer le refroidissement des paliers et des diverses pièces à lubrifier
- La quantité de chaleur à évacuer nécessite un certain débit d'huile suffisamment élevé pour maintenir la température des paliers dans les limites admissibles (70°c - 80°c).

Description du circuit d'huile de graissage

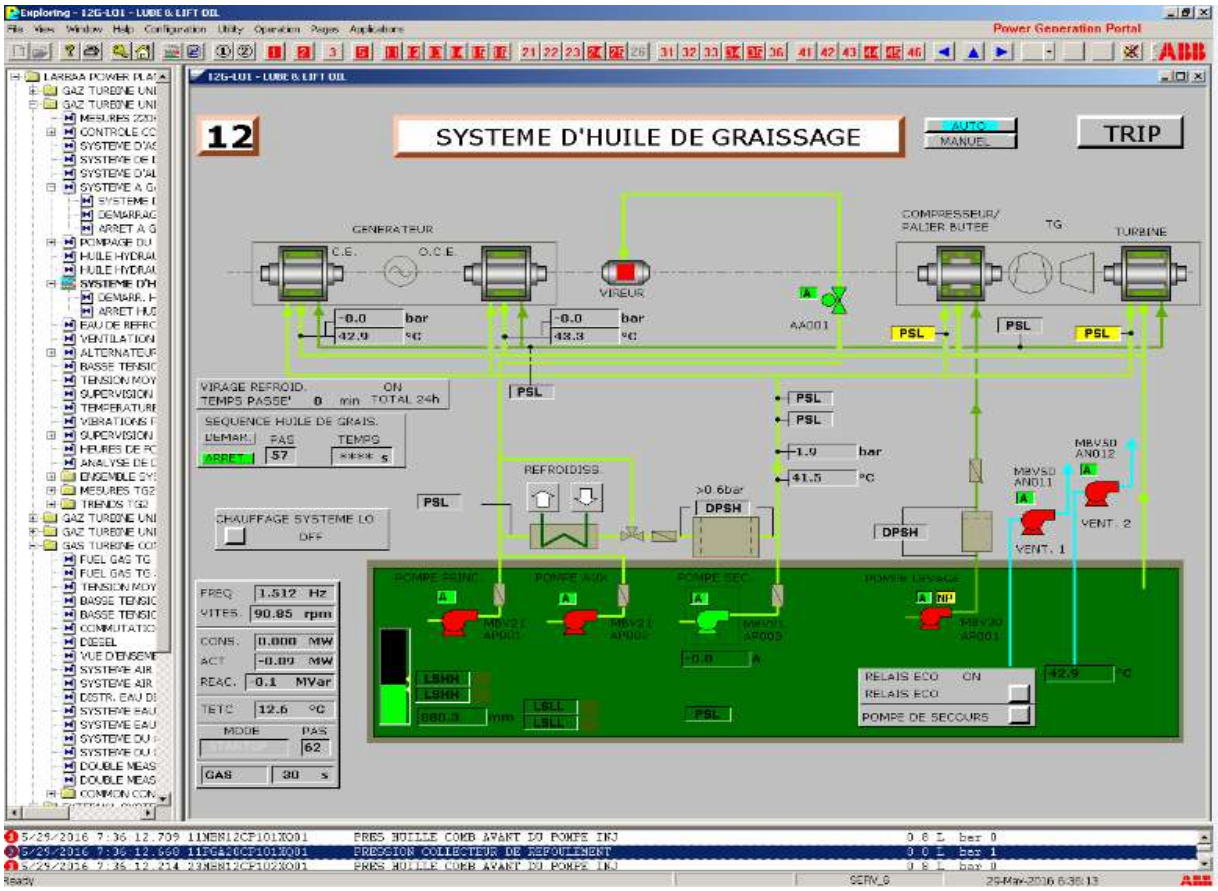


Figure 2.24 : Interface PGP

Le circuit d'huile de graissage (figure 2.24) se compose d'une cuve a huile placée a proximité de la turbine sur laquelle sont installés les composants suivants :

- Une motopompe principale a courant alternatif.
- Une motopompe à courant alternatif auxiliaire ayant un débit d'huile nécessaire à fonctionnement normal.
- Une motopompe à courant continu de secours.
- 02 ventilateurs d'aspiration des buées qui évacuent à l'extérieur les vapeurs se trouvant à la partie supérieur de la cuve.
- Un indicateur de niveau.
- Huile refoulé par les pompes traverse est refroidie a travers des réfrigérants d'huile muni d'un système de régulation de température d'huile.

- **Fonctionnement**

En service normal : l'huile est aspirée par la pompe principale a travers un réfrigérant d'huile et alimente l'ensemble des paliers du GTA.

Au démarrage la pompe principale et la pompe auxiliaire à courant alternatif sont mises en service pendant la montée en vitesse à une pression de 2.6 bars. La pompe auxiliaire se déconnecte automatiquement à la vitesse de 120 tr/min. La pompe principale elle seule assure le graissage pendant le fonctionnement.

En cas d'incident : en cas de baisse de pression d'huile de graissage jusqu'à un seuil s1, la pompe auxiliaire à courant alternatif se met en service et si pour une raison de mal fonctionnement de cette pompe la pression continue à chuter jusqu'à un seuil s2 qui fait démarrer la pompe à courant continue.

- **Vireur et soulèvement turbine**

✓ **Pompe de soulèvement de la turbine**

Pour supprimer le frottement arbre-coussinet à la mise en service du vireur on utilise une pompe de soulèvement, elle assure individuellement, à partir de la cuve à huile, l'alimentation de chacun des paliers. Ces pompes ont une pression de refoulement élevé (70 à 200bar), elles injectent l'huile à la génératrice inferieure de chaque coussinet, et créent un coin d'huile celle-ci artificiel en attendent qu'il se forme naturellement par la vitesse.

✓ **Vireur**

Le vireur est destiné a entrainé l'arbre de la turbine à faible vitesse pendant les périodes de refroidissement en cours d'arrêt ou de réchauffage de la turbine en cours de son démarrage pour empêcher la déformation de l'arbre.

Lors de la montée en vitesse de la turbine le vireur étant encore enclenché, il s'arrête automatiquement lorsque la vitesse dépasse la valeur de 120tr/min.

✓ **Fonctionnement**

A l'arrêt de la turbine

- La turbine étant en rotation à la vitesse de 3000tr/min le graissage est assuré par la pompe principale de graissage. L'arrêt de la turbine s'effectue comme suit:
- Sur ordre d'arrêt de la turbine celle-ci amorce un ralentissement et à une vitesse de 500tr/min la pompe de soulèvement se met en service.
- A une vitesse de virage de120 tr/min démarrage de vireur et de la pompe auxiliaire de graissage.

- La turbine reste en marche sur vireur jusqu'à atteindre une température de l'arbre 100°c pour arrêt complet de la turbine.

Au démarrage de la turbine

La turbine étant complètement a l'arrêt, le démarrage s'effectue comme suit:

- Démarrage de la pompe principale et la pompe auxiliaire d'huile de graissage à courant alternatif à une pression de 2.6 bars.
- Démarrage de la pompe de soulèvement.
- Démarrage du vireur (la vitesse est lancée à la vitesse de virage de 80 à 120 tr/min)
- L'arrêt de la pompe auxiliaire d'huile de graissage ainsi que le vireur à la vitesse de 120 tr/min. La pompe principale elle seule assure le graissage pendant le fonctionnement.
- Lancement la de turbine par l'alternateur qui est en mode moteur.
- A une vitesse de 500 tr/min, l'arrêt de la pompe de soulèvement (création de coin d'huile).

g .Générateur

Le générateur est du type refroidi en air, à deux pôles à rotor lisse, ventilé en circuit fermé avec échangeurs air-eau installés dans la partie inférieure de la carcasse.

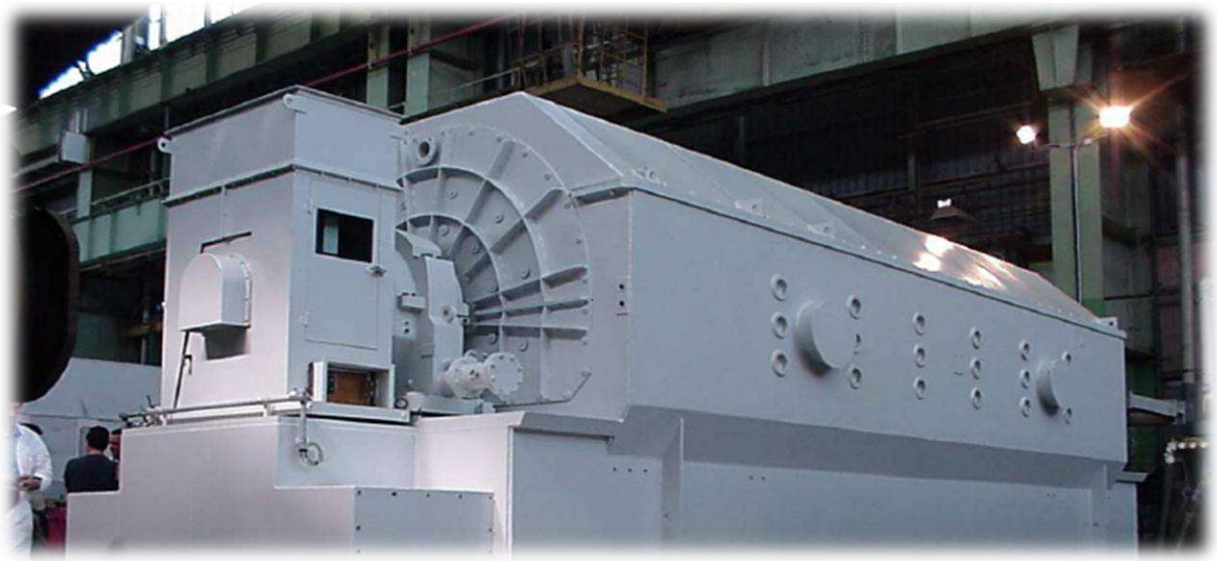


Figure 2.25 : Générateur

Caractéristiques Principales

- Turboalternateur triphasé à deux pôles avec rotor lisse.
- Rotor directement couplé à la turbine.
- Enroulement amortisseur du rotor.
- Ventilation en circuit fermé avec 4 échangeurs air-eau incorporés dans la carcasse.
- Auto-ventilation du stator et du rotor.
- Générateur expédié complètement assemble.
- Excitation de type statique
- Isolation d'enroulement stator de type Resin-Rich en barre individuelle.
- Règles, Standards CEI.
- Système de mise à la masse de l'arbre et d'isolation des paliers pour prévenir la .circulation des courants d'arbre.

- **Description**

Le générateur synchrone à deux pôles est refroidi par l'air en circuit fermé. La carcasse est constituée d'une structure soudée, divisée horizontalement en deux moitiés, pour permettre l'accès à la machine en cas d'entretien et de réparation. Le rotor tourne sur deux paliers radiaux à frottement, situés à l'extérieur de la carcasse et indépendant à cela. Cette caractéristique simplifie remarquablement l'entretien. Le blocage axial pour toute la ligne d'axe est fait par le palier buté d'embrayage de turbine. Le palier opposé à la turbine à une double isolation et, de plus, l'arbre est connecté à la terre pour protéger les paliers et leurs systèmes de support contre dommages provoqué par la circulation des courants d'arbre. Le système de lubrification est le même que la turbine. L'air chaud sortant du générateur est refroidi par des échangeurs air-eau installés dans la partie inférieure de la carcasse. La chaleur est cédée à l'eau du circuit de refroidissement, qui est refroidi, elle-même, dans un circuit extérieur par des ventilateurs noria.

Le rotor est équipé avec un enroulement amortisseur qui permet l'opération avec une charge déséquilibrée, en accord avec les standards CEI. Les bornes du stator sortent en haut, sur la partie supérieure de la carcasse. La chambre des bagues est placée à l'extrémité côté opposé à la bride de couplage de la turbine. Le projet prévoit la possibilité de remplacer les balais avec le générateur en service normal. L'enroulement stator est du type triphasé, bipolaire, imbriqué à pas raccourci. Les barres sont constituées de conducteurs élémentaires en cuivre, isolé. Les barres formants Les

conducteurs sont transposées, pour minimiser les pertes causées par courants circulants. L'isolation principale contre masse de l'enroulement est constituée d'un ruban resin-rich avec résine époxy-novo laque fait d'un empilement de ruban de verre, papier de mica, ruban de polyester.

- **Circuit de refroidissement**

Deux ventilateurs axiaux attelés à l'arbre assurent la circulation d'air dans le générateur pour son refroidissement. Cet air est refroidi dans les quatre échangeurs air-eau qui sont situés à l'intérieur de la carcasse. La chaleur est cédée à l'eau du circuit de refroidissement, qui est refroidi, elle-même, dans un circuit extérieur par des ventilateurs noria. (Figure 2.26).

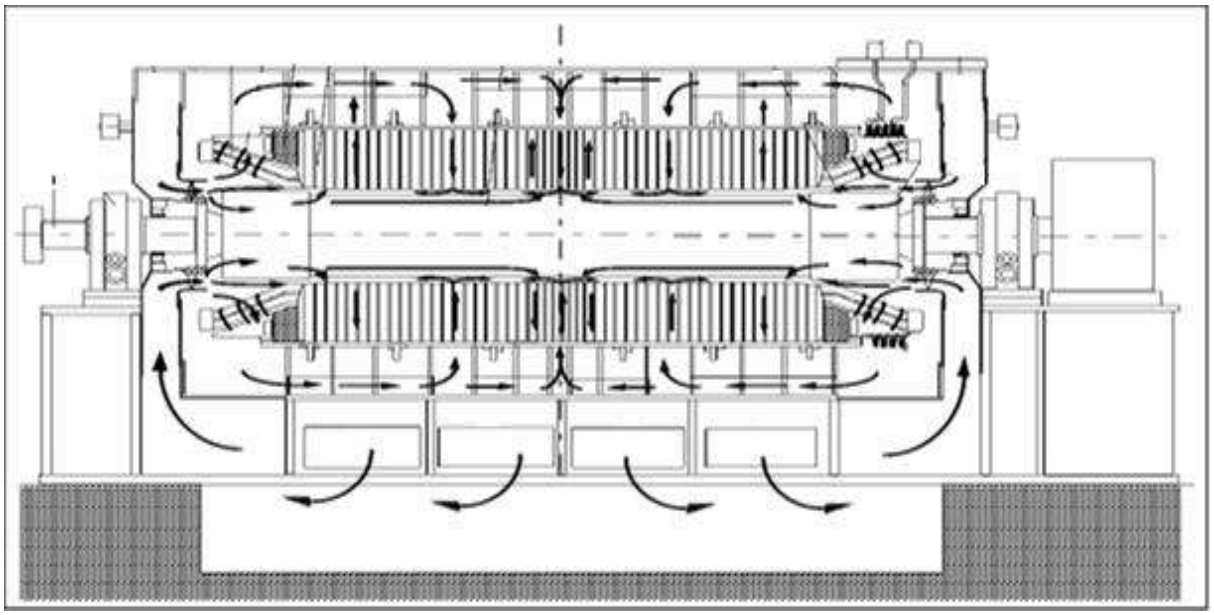


Figure 2.26 : Circuit de refroidissement de l'alternateur

- **Données de plaque de l'alternateur**

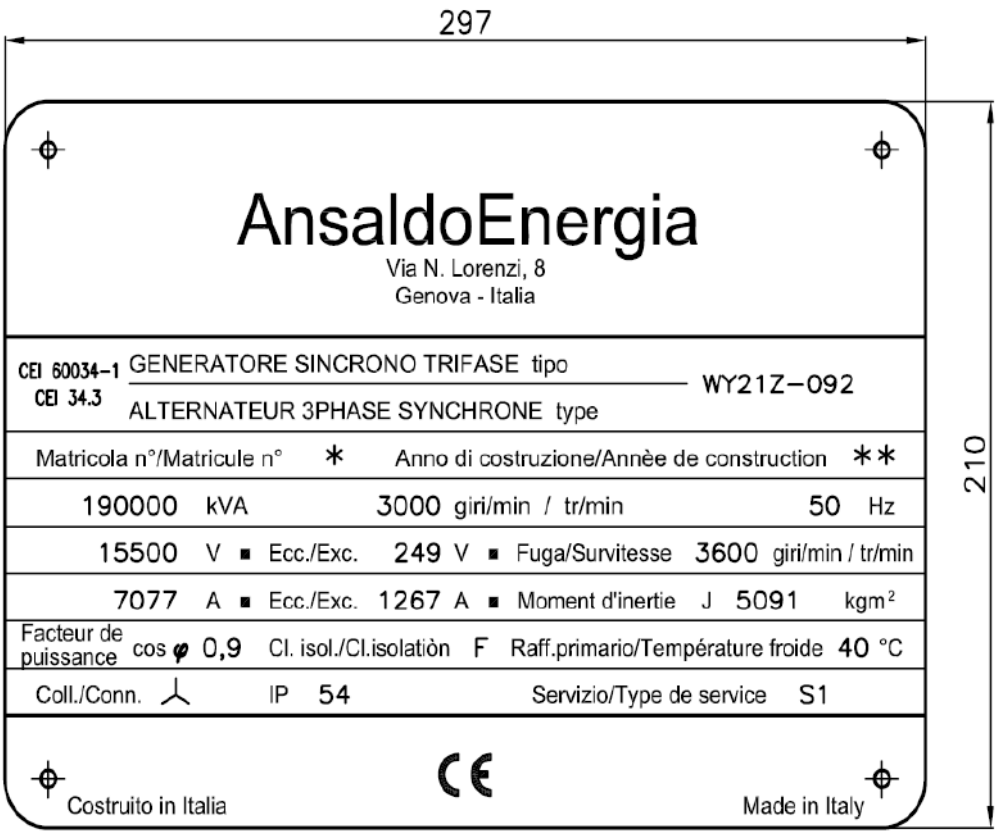


Figure 2.27 : Plaque signalétique de l'alternateur

2.5. Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons présenté les parties constitutives de la centrale électrique. La connaissance du fonctionnement et des caractéristiques techniques de ces parties joue un rôle primordial quat au choix de la stratégie de surveillance de leur état.

Dans le chapitre suivant, nous analyserons la stratégie de surveillance de l'état de la turbine à gaz.

Chapitre 3 :

Surveillance de la centrale

Électrique

De l'ARBAA

Chapitre 3 : Surveillance de la centrale électrique de l'ARBAA

3.1 Introduction

Dans ce chapitre, nous présenterons la méthodologie appliquée dans le domaine de la maintenance des machines tournantes par l'analyse des vibrations et la méthodologie de maintenance des machines tournantes appliquée au niveau de la centrale électrique de L'ARBAA. Enfin, nous faisons une comparaison entre les deux méthodologies.

3.2 Stratégies de maintenance

Les machines tournantes, telles que les turbines, les pompes, les moteurs, les boîtes de vitesses, les ventilateurs, les soufflantes, les séparateurs des huiles, etc., sont soumises à des contraintes relatives à leur sûreté de fonctionnement (fiabilité, maintenabilité, disponibilité, sécurité), leur performance (productivité, qualité) et leur coût global mesuré tout au long de leur cycle de vie. Afin d'optimiser ces contraintes, les industriels doivent utiliser des outils qui montrent l'état de dégradation de l'équipement en fonction de leur cycle de vie.

Généralement, la dégradation d'une machine tournante se caractérise par l'apparition de plusieurs symptômes (ou phénomènes) consécutifs : La dégradation commence par l'apparition des vibrations qui produisent des frottements excessifs (Qui sort des limites permises), ensuite, des bruits audibles, ensuite de la chaleur, et enfin de la fumée (voir Figure 3.1). L'aggravation de ces symptômes conduit obligatoirement à un arrêt immédiat de l'équipement. Pour éviter cet arrêt et optimiser la production, la mise en place d'une stratégie de maintenance joue un rôle primordial dans le suivi de l'état de santé de l'équipement en fonctionnement.

On distingue trois catégories de maintenance (Figure 3.1) : La maintenance corrective qui s'applique après une panne (dysfonctionnement) ; La maintenance préventive qui s'applique selon un programme prédéterminé ; La maintenance conditionnelle qui

s'applique par des interventions de façon conditionnelle, c'est-à-dire uniquement si certains paramètres (vibration, température.) évoluent de façon significative.

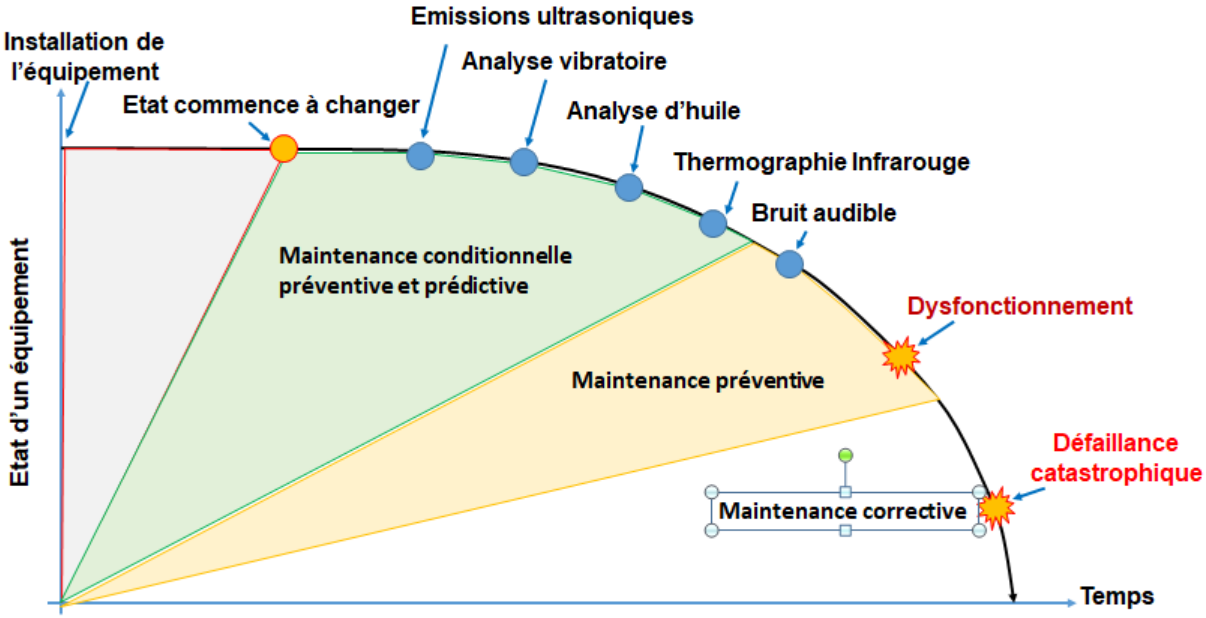


Figure 3.1 : Stratégie de maintenance

Le choix d'une stratégie de maintenance influence sur le coût de production. D'après la (Figure 3.2), on distingue trois courbes : la courbe du coût de maintenance (ou coûts directs : le personnels, le matériels, les pièces etc.) ; La courbe du coût d'indisponibilité (ou coûts indirects : notamment arrêts de production) ; et la courbe du coût total qui représente la somme des deux coûts, à savoir, coût de maintenance et coût d'indisponibilité. La figure montre que la maintenance conditionnelle permet d'optimiser au maximum le coût total,

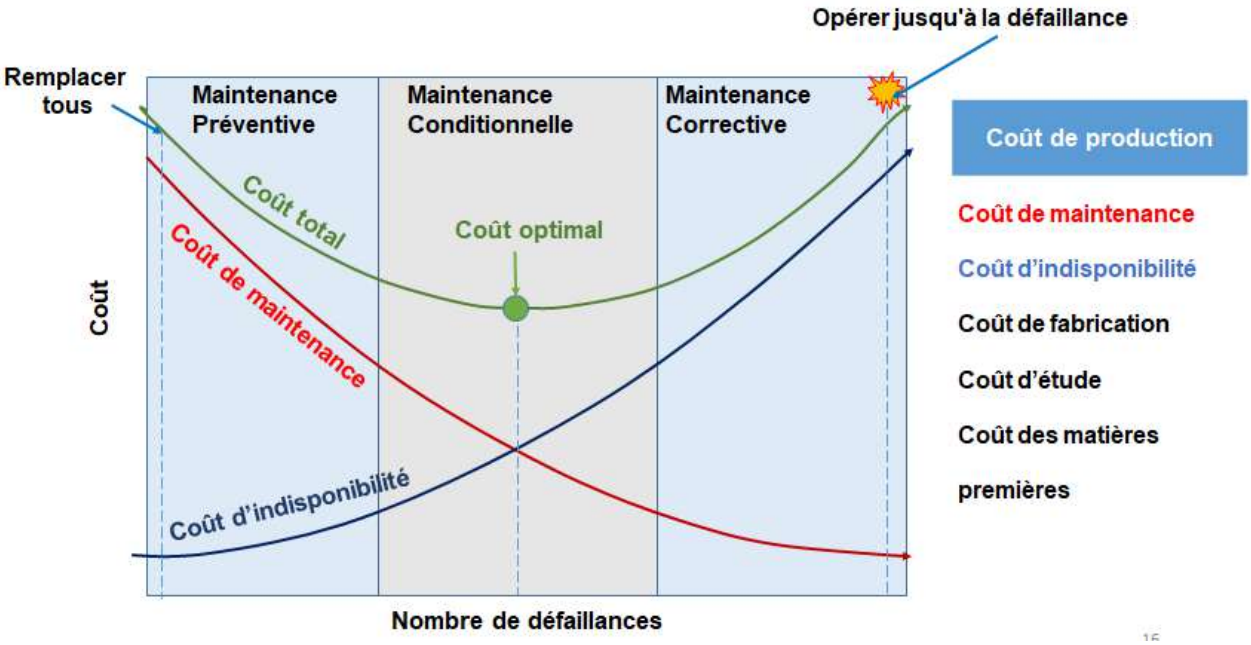


Figure 3.2 : Choix d'une stratégie de maintenance

Les Principales techniques de la maintenance conditionnelle pour la surveillance des machines tournantes, sont : Emissions ultrasoniques, analyse vibratoire, analyse d'huile et thermographie. (La figure 3.3) montre que l'analyse des vibrations est le plus utilisée,





Equipements\Techniques	Analyse vibratoire	Thermographie Infrarouge	Emission ultrasonique	Analyse des huiles
Pompes & moteurs	•		•	
Ventilateurs et soufflantes	•		•	
Séparateurs des huiles	•			
Compresseurs	•			•
Boîtes de vitesses	•			•
Turbo	•			•
Groupes électrogènes	•	•		•













Figure 3.3 : Les techniques de la maintenance conditionnelle

La stratégie de la maintenance conditionnelle par l'analyse des vibrations est menée selon l'organigramme illustré par (la Figue 3.4). Chaque étape de cet organigramme exige l'utilisation des outils spécifiques et des compétences humaines.



Figure 3.4 : Maintenance conditionnelle par l'analyse des vibrations

3.3 Les machines tournantes de la centrale

3.3.1 **Les organes principaux** de la turbine à gaz **(Figure 3.5)**

Compresseur de seize (16) étages :

Il génère l'air sous pression et en quantité nécessaire et suffisante pour la combustion du volume de gaz combustible.

Turbine de quatre (4) étages :

Il transforme l'énergie thermique des gaz de fumés résultant de la combustion en énergie mécanique.

Chambres de combustion à cornes :

Chambre où s'effectue la combustion du mélange combustible – air, elle est donc le siège de transformation de l'énergie chimique en énergie calorifique. Elle est de type à cornes équipée de 2×8 bruleurs.

Générateur :

Le générateur est du type refroidi en air, à deux pôles à rotor lisse, ventilé en circuit fermé avec échangeurs air-eau installés dans la partie inférieure de la carcasse.

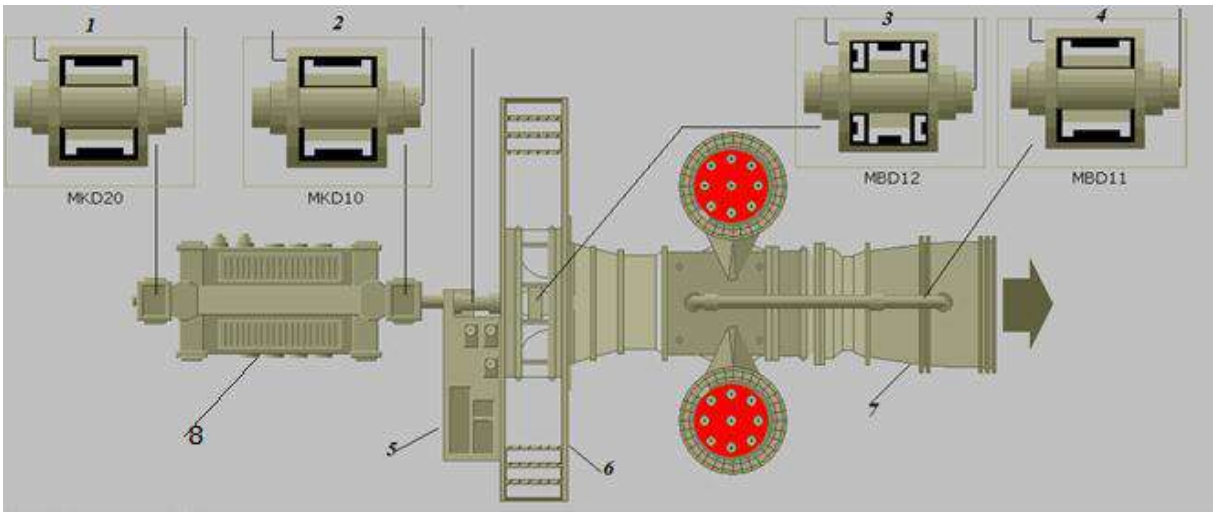


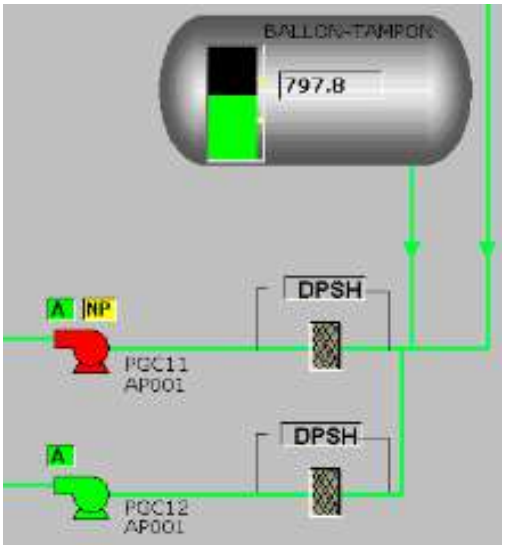
Figure 3.5 : Turbine à gaz

1. p-alt-c-ecxi
2. p-alt-c-omp
3. p-comp
4. p-tur
5. Système huile de graissage
6. Compresseur
7. Turbine
8. Alternateur

3.2.2 Les organes auxiliaires de la centrale

Pompes de réfrigération (pompes noria)

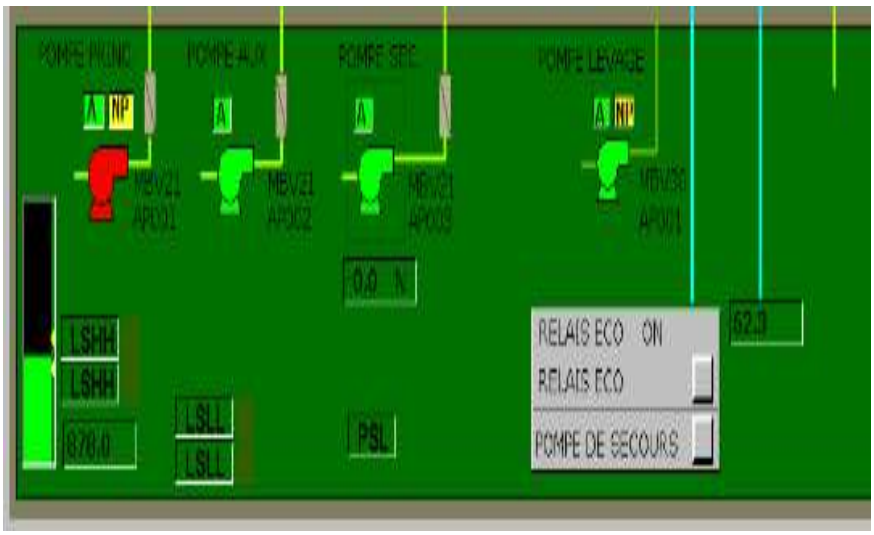
Elle sert à circuler l'eau de refroidissent.



pompe en service pompe à l'arrêt

Figure 3.6 : Pompes de réfrigération (noria)

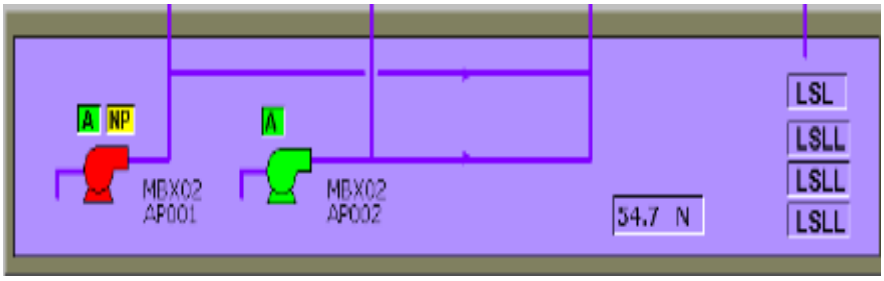
Pompe de graissage : Elle est utilisée pour le graissage des paliers



pompe en service pompe à l'arrêt

Figure 3.7 : Pompe de graissage

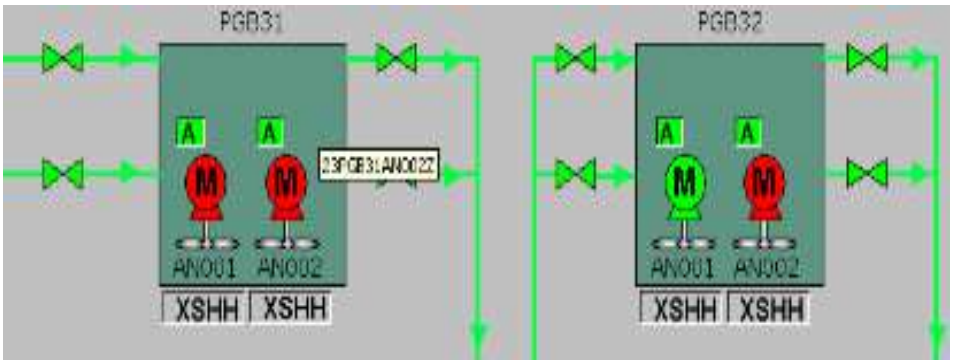
Pompe hydraulique : Elle est utilisée pour la commande des vannes régulatrice gaz et fuel.



● pompe en service ● pompe à l'arrêt

Figure 3.8 : Pompe hydraulique

Aéroréfrigérant : Il est utilisé pour le refroidissement de l'eau qui refroidir huile de graissage et l'air alternateur.



● Aéro en service ● Aéro à l'arrêt

Figure 3.9 : Aéroréfrigérant

Circuit eau de refroidissement

Le circuit assure le refroidissent de l'eau qui refroidi l'huile de graissage.

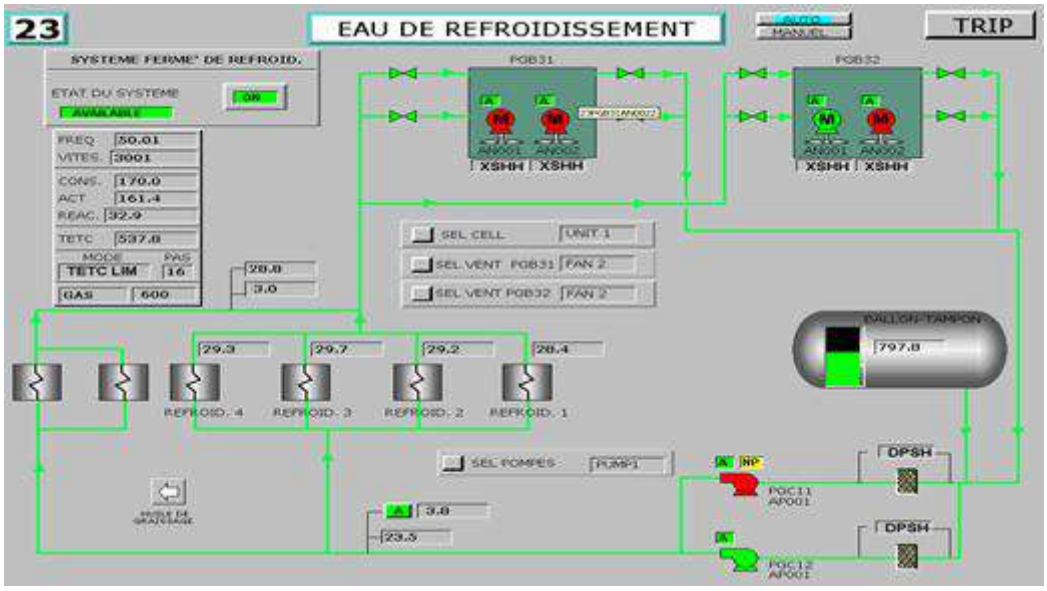


Figure 3.10 : Circuit eau de refroidissement

Circuit huile de graissage

Le circuit assure la lubrification des coussinets, des paliers, et des divers mécanismes du palier afin de minimiser la friction et le refroidissement des paliers et des diverses pièces à lubrifier.

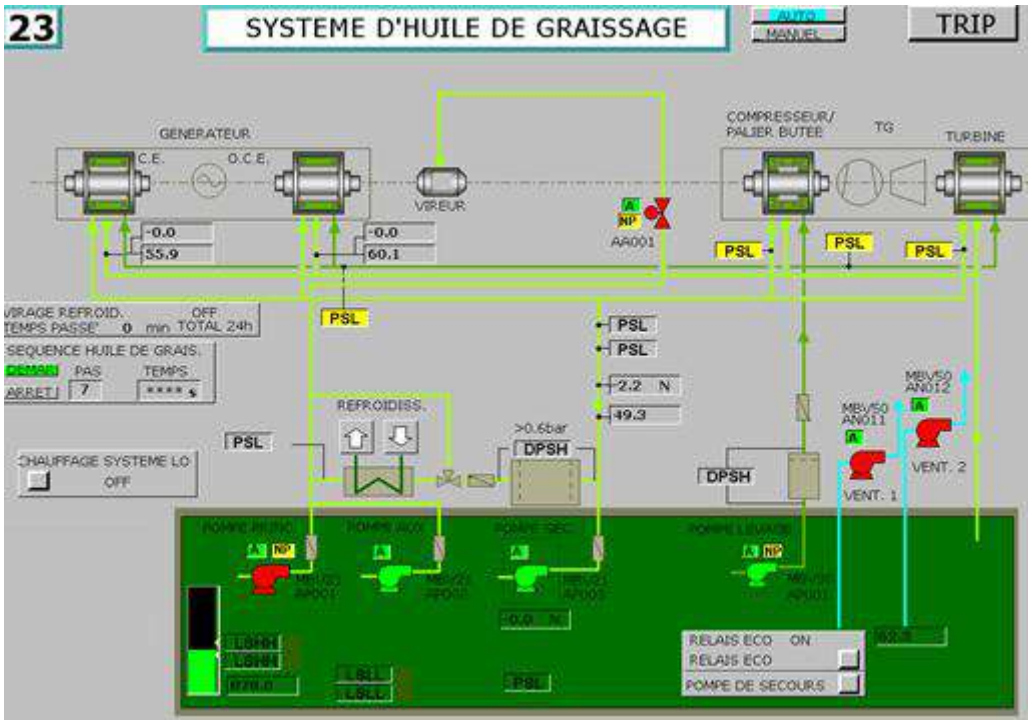


Figure 3.11 : Circuit de graissage

Circuit huile hydraulique

Le circuit est utilisé pour commander les vanne a gaz

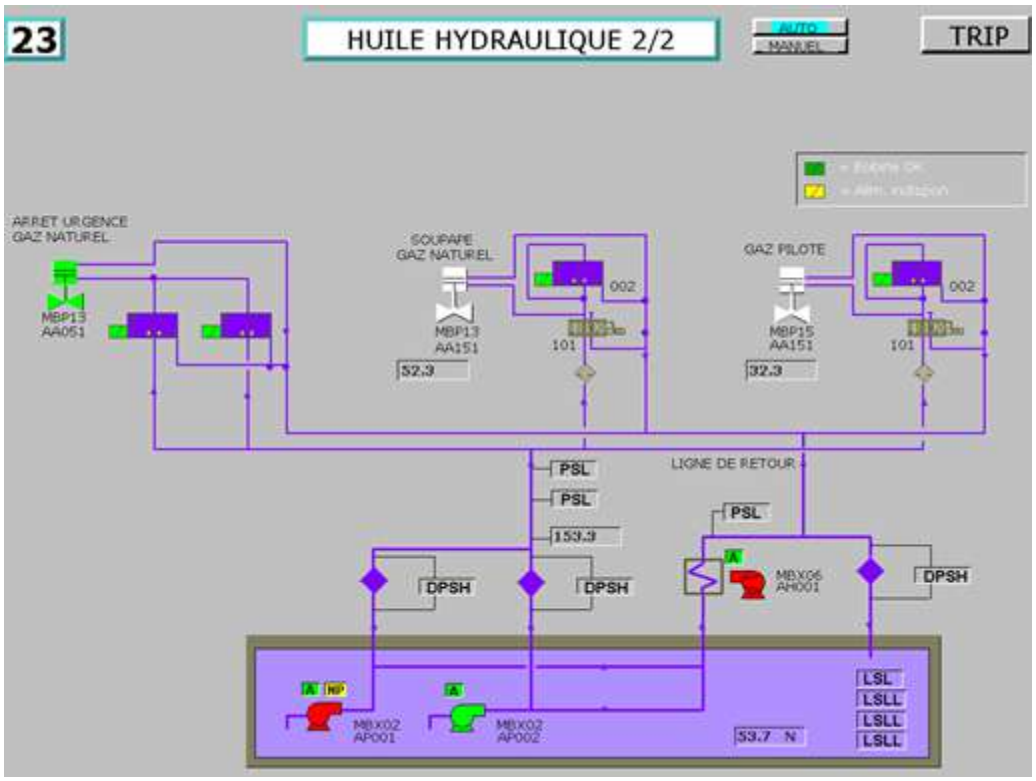


Figure 3.12 : Circuit huile hydraulique

Ventilation de capotage

Il sert a faire la ventilation des capotage turbine, alternateur et skid gaz.

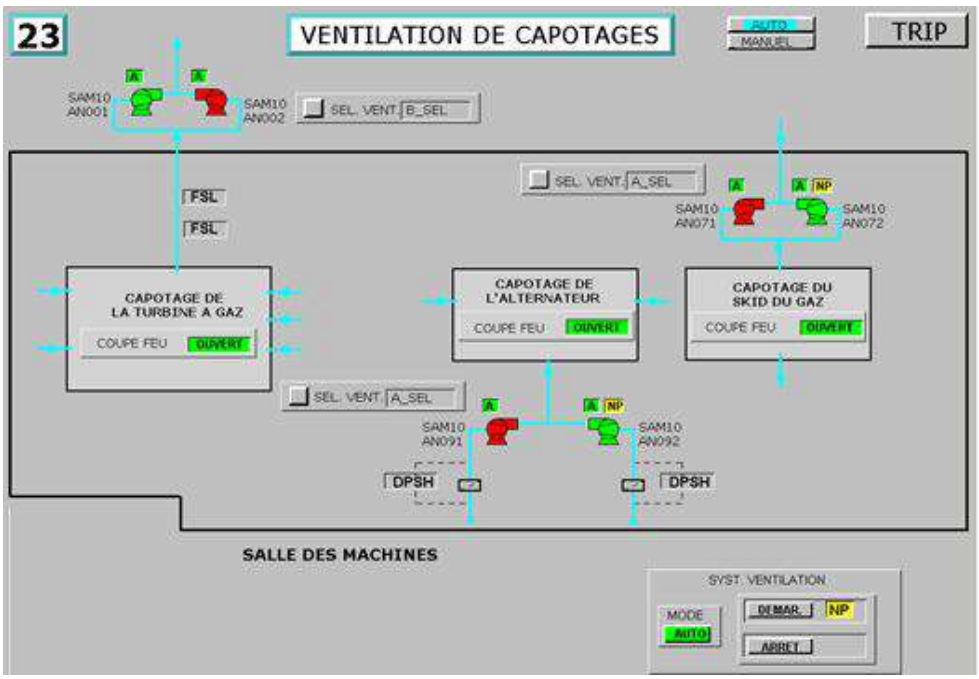


Figure 3.13 : Ventilation de capotage

3.4 Surveillance des machines tournantes

Deux types de surveillance sont appliquées : en ligne et hors ligne.

3.4.1 Surveillance en ligne

Dans le cas de machines très stratégiques comme notre cas. La centrale électrique de LARBAA est dotée d'un système de surveillance **en ligne** des vibrations des paliers.

- Palier turbine
- Palier compresseur
- Palier alternateur cote compresseur
- Palier alternateur cote excitatrice

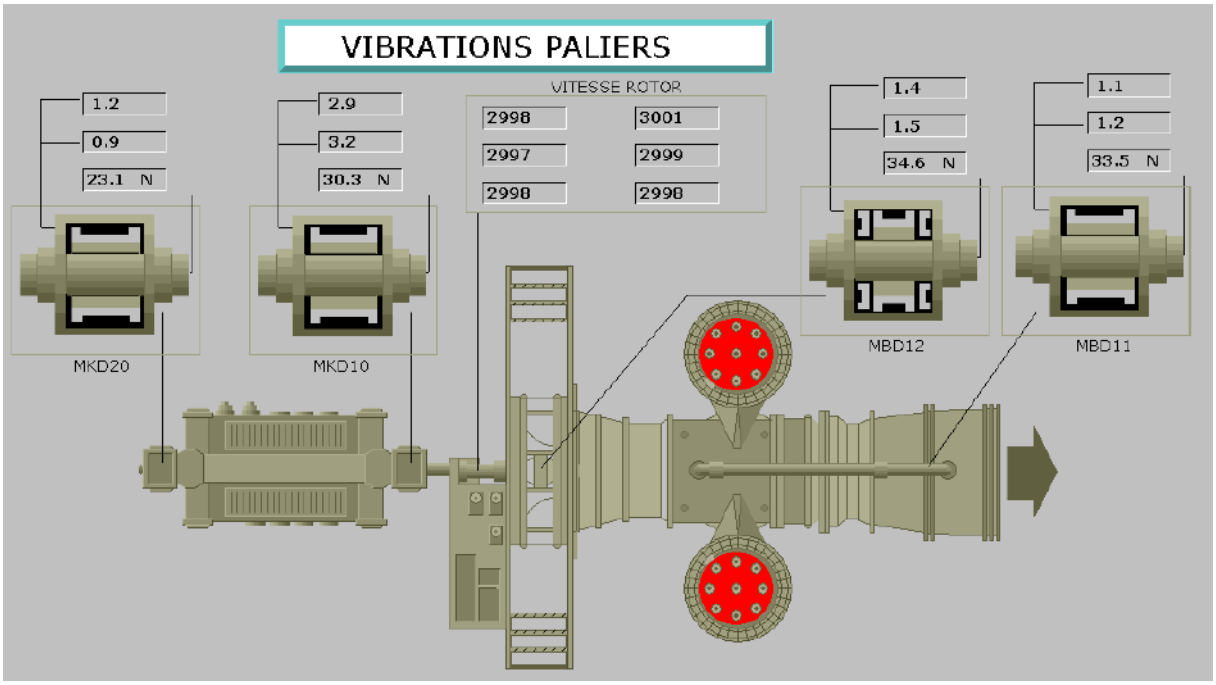


Figure 3.14 : Points de mesure des vibrations en ligne

Les mesures de vibrations sont effectuées en continu à l'aide du système d'acquisition Vibrometer VM600. Ce dernier permet d'acquérir des signaux à travers les capteurs placé sur les paliers.



Figure 3. 15 : Vibro-meter VM600

3.4.2 Surveillance Hors ligne

C'est une surveillance périodique de l'évolution des paramètres vibratoires hors ligne. Les mesures de vibrations sont effectuées mensuellement à l'aide du collecteur des donnée de type SCHENCK VT60.



Figure 3.16 : SHENCK VT60

3.4.3 Les capteurs de vibration

Les capteurs de vibration utilisés dans la surveillance des machines tournantes de la centrale électrique.

Accéléromètre piézoélectrique

L'accéléromètre CA 202 dispose d'un élément de mesure poly cristallin à mode de cisaillement symétrique doté d'une isolation de boîtier interne. Le capteur est conçu pour la mesure et le contrôle des vibrations industrielles lors des travaux à haut rendement. L'accéléromètre est équipé d'un câble intégral protégé par un tube flexible en acier inoxydable.



Figure 3.17 : Accéléromètre CA 202

Caractéristiques

Certifié pour une utilisation dans des atmosphères potentiellement explosibles et pour le contrôle des vibrations industrielles.

Haute sensibilité : 100 pC/g.

Réponse en fréquence : 0,5 Hz à 6 000 Hz.

Plage de température (en fonctionnement) : -55°C à +200°C.

Sortie différentielle.

Soudé hermétiquement.

Isolation du boîtier interne.

Câble intégral.

Capteurs de proximité TQ 402 & TQ 412

Ces systèmes de proximité sont utilisés pour la mesure sans contact du déplacement relatif des éléments mobiles sur les machines. Ils sont particulièrement bien adaptés pour la mesure des vibrations relatives et de la position axiale des arbres de turbines à vapeur, à gaz et hydrauliques, alternateurs, turbo-compresseurs, pompes, etc.

Les capteurs de proximité TQ 402 ou TQ 412 constituent avec le conditionneur de signaux IQS 452 un ensemble calibré dont les composantes sont interchangeables. Cet ensemble

produit une tension ou un courant de sortie proportionnel à la distance entre la tête du capteur et la cible (p. ex. arbre de la machine). La partie active des capteurs de proximité est une bobine de fil noyée dans la tête du capteur en Torlon (polyamideimide). Leur corps est en acier inoxydable. Le matériau de la cible doit être métallique dans tous les cas.

Caractéristiques

Système de mesure sans contact basé sur l'utilisation des courants de Foucault. Il est certifié pour l'utilisation dans des atmosphères potentiellement explosibles.

TQ 402 conforme aux recommandations API 670

Systèmes de 5 ou de 10 m

Compensation des effets de la température

Sorties courant et tension protégées contre les courts-circuits.



Figure 3.18 : Capteurs de proximité TQ 402 et TQ 412

Particularités

Plage de mesure: 2 mm ou 4 mm

Plage de températures du capteur: -40°C à +180°C

Sensibilité: 4 mV/µm ou 8 mV/µm 1.25 µA/µm ou 2.5 µA/µm

Réponse en fréquence: DC à 20 kHz

Conditionneur de signaux

Le conditionneur de signaux IPC 704 convertit le signal sous forme de charges électriques provenant d'un capteur piézoélectrique en un signal transmis en courant ou tension. Ce nouveau signal est transmis au système de traitement électronique par le biais d'un câble de transmission standard à 2 ou 3 fils.

Caractéristiques

Le conditionneur est certifié pour une utilisation dans des atmosphères potentiellement explosibles. Il s'utilise avec l'accéléromètre piézoélectrique CA et les capteurs de pression dynamique CP. Il est caractérisé par :

Une série d'options d'installation est disponible

Filtres passe-haut et passe-bas configurables

Gamme de fréquence : 0,5 Hz à 20 kHz

Intégrateur optionnel permettant de fournir une vitesse en sortie

Transmission de courant à 2 fils ou de tension à 3 fils en option

3.4.4 Acquisition et manipulation des données

Acquisition des données en ligne de la turbine à gaz TG01 (Figure 3.19)

L'acquisition s'effectue par l'utilisation du système d'acquisition Vibro-meter VM600 et l'utilisation de deux accéléromètres en position radiale et de deux capteurs de proximité en V en position radiale. (Voir les figures 1.18 et 1.15).

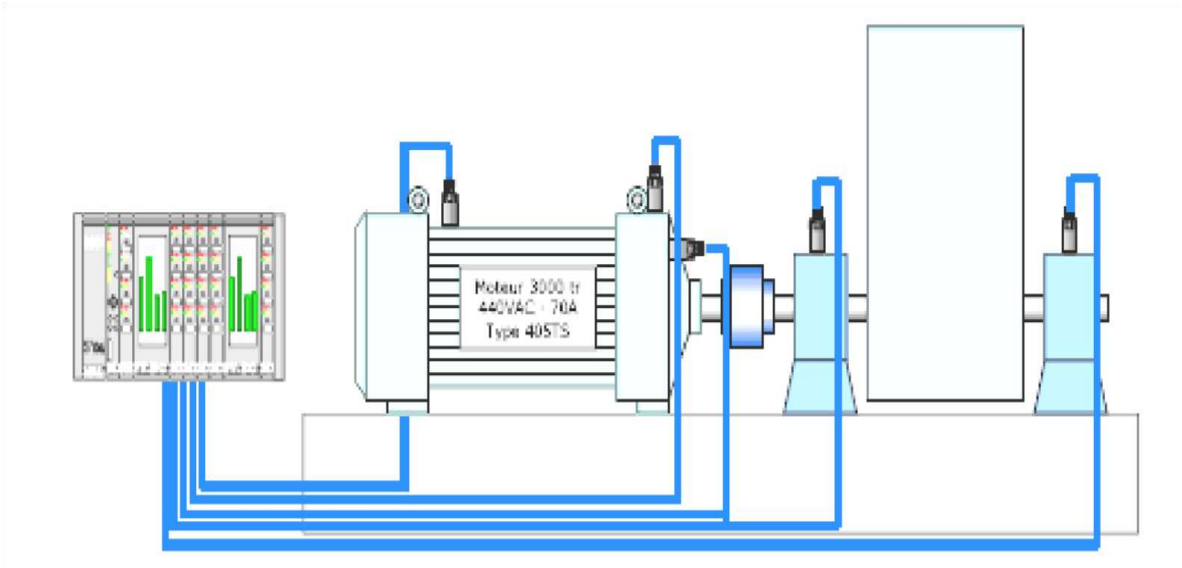


Figure 3.19 : Surveillance On-line

Tableau 3.1 : Historique des données vibratoires

Mois	TG01							
	vib abs en mm/s				vib rel µm/p			
	P-tur	P-Comp	P-alt c-omp	P-alt c-Ecxi	P-tur	P-Comp	P-alt c-omp	P-alt c-Ecxi
Vd'alarme	9	9	12	12	82	82	82	82
V declenc.	14	14	18	18	120	120	120	120
janv.-20	1,67	4,82	5,55	2,59	16,7	37,9	24,4	27,1
févr.-20	3,85	1,55	4,08	3,17	17,2	58,4	30,6	52,4
mars-20	3,96	2,03	4,36	2,31	42,2	22,4	30,9	49,7
avr.-20	5,06	3,04	5,56	3,32	42,2	22,4	30,9	49,7
mai-20	5,17	2,88	4,98	2,74	67	16,4	30,5	56,1
juin-20	5,07	2,12	4,44	2,43	74,2	19,5	35,5	71,1
juil.-20	4,8	2,59	5,87	2,95	17,7	72	34,7	76,2
août-20	4,8	2,59	5,87	2,95	17,7	72	34,7	76,2
sept.-20	2,16	7,1	8,94	5,24	30,6	53,9	42,8	31
oct.-20	4,22	4,79	4,28	1,87	30,01	42,7	43,5	30
nov.-20	3,55	5,81	1,72	2,99	17	52,6	36,2	87,6
déc.-20	3,75	6,32	6,12	2,79	17,7	47,3	36,5	94
janv.-21	2,96	4,52	4,43	2,85	19,4	58	36,5	94
févr.-21	0	0	0	0	0	0	0	0
mars-21	0	0	0	0	0	0	0	0
avr.-21	5,07	6,71	2,3	1,09	17,7	47,3	36,5	94
mai-21	4,2	5,26	1,91	1	17,7	47,3	36,5	94
juin-21	2,2	5,25	3,58	27,6	27,6	44,6	26	16,7
juil.-21	2,52	8,32	2,42	26,2	26,2	50,8	28,6	19,2
août-21	4,06	5,67	2,42	0,93	26,7	60,5	31,2	19,5
sept.-21	2,34	3,56	2,97	1,2	27	58	36	22,6
oct.-21	3,14	5,02	2,62	2,43	26,9	37	21,8	28,2
nov.-21	6,98	4,32	2,42	1,54	25,8	33,5	24,7	24,6
déc.-21	5,19	4,45	2,25	1,24	26,4	60,6	33,8	21,9
janv.-22	4,53	4,57	3,29	2,71	25,7	46,3	41,4	29,3
févr.-22	3,68	5,13	2,72	1,39	29,1	49,4	34,5	23,7
mars-22	3,29	5,61	2,57	1,08	27,5	45	31,8	21,6
avr.-22	2,2	2,3	2,5	1,5	40,5	31,2	31,5	31,2
mai-22	1,3	3,4	3	2,9	43,2	33,5	33,5	33,2

Le tableau 3.1 montre les valeurs des indicateurs vibratoires issues des accéléromètres (vib abs en mm/s) et des capteurs de proximité (vib rel µm/p) fixés sur quatre paliers de la turbine à gaz TG01 (Voir la figure 3.5). Les valeurs obtenues sont comparées aux valeurs des seuils : d'alarme et de déclenchement. Si les vibrations dépassent le seuil

d'alarme alors il faut diminuer la puissance du bruleur et lancer le processus de diagnostic pour localiser et identifier les défauts (par exemple pour le palier : **p-tur** le seuil d'alarme est fixé à 9 mm/s).

Les figures 3.20 et 3.21 montrent l'évolution des indicateurs de vibrations durant le cycle de fonctionnement. On constate que le niveau des vibrations du palier p-alt-c-ecxi pendant le mois de juillet 2021 dépasse le seuil d'alarme précité 18 mm/s.

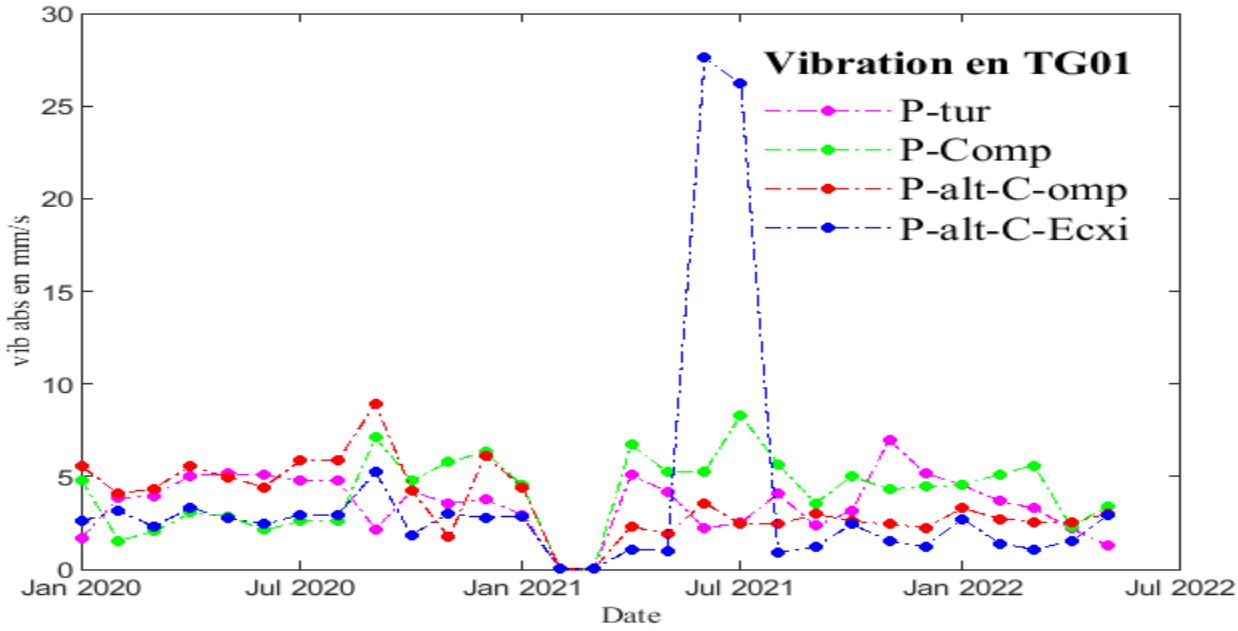


Figure 3.20 : vibration absolu TG01

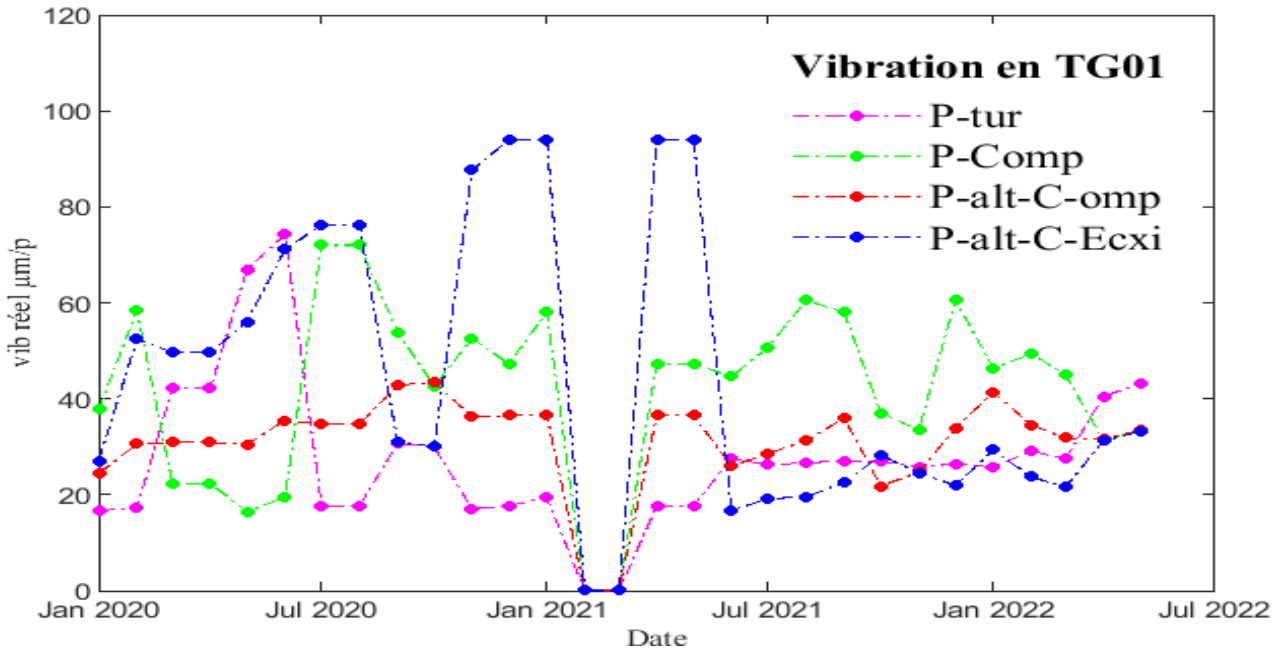


Figure 3.21 : vibration relative TG01

Nous remarquons toujours pendant la période caniculaire ou la consommation élevée d'actif et de réactif, un déséquilibre magnétique sollicite toujours le palier libre de l'alternateur dû à (l'Excentricité du champ tournant dans le stator de l'alternateur).

Les figures 3.22 et 3.23 sont issues de l'acquisition des données en ligne de la turbine à gaz TG02. Elles indiquent que le niveau des vibrations ne dépasse pas les seuils indiqués dans le tableau 3.1.

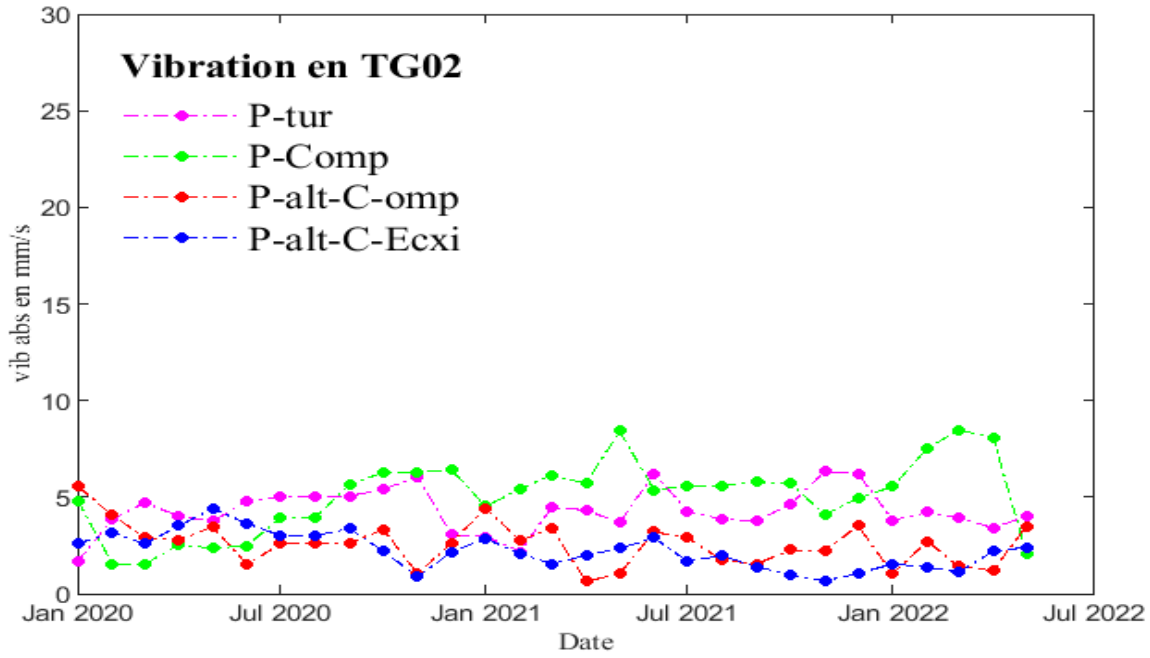


Figure 3.22 : vibration absolu TG02

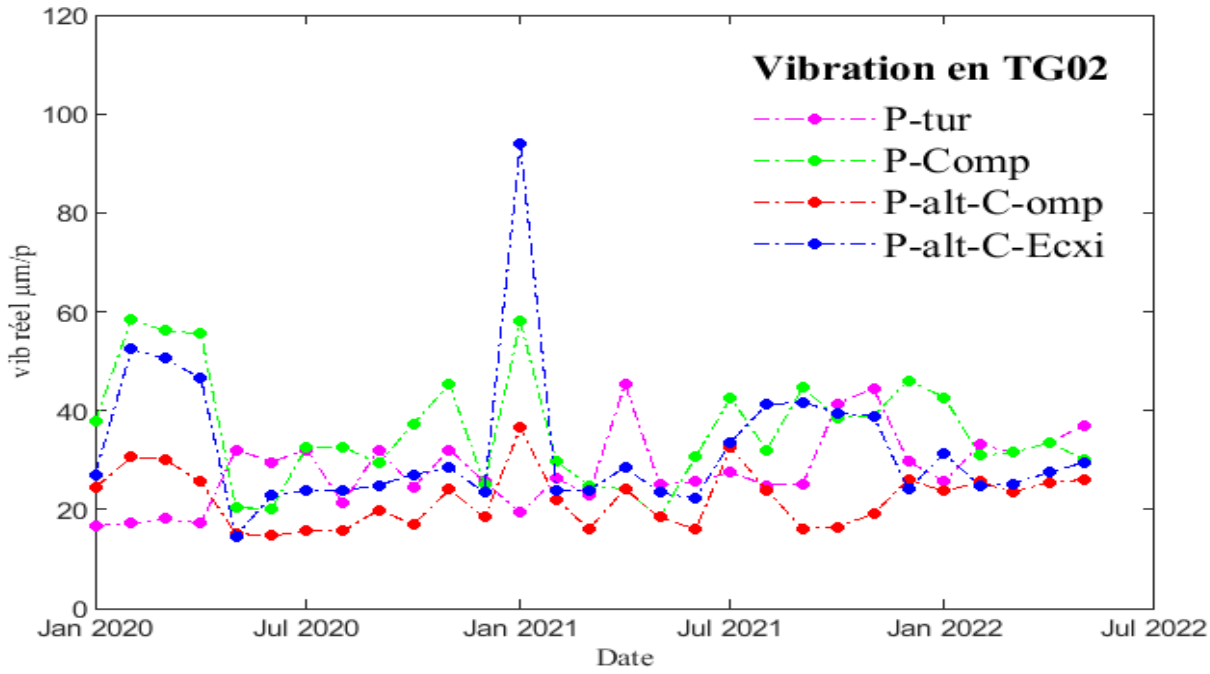


Figure 3.23 : vibration relative TG02

Par contre dans le groupe turbo alternateur les vibrations sont correcte sauf un déplacement est observé sur coté excitatrice de l'alternateur dû aux jeux de graissage du coussinet.

Les figures 3.24 et 3.25 sont issues de l'acquisition des données en ligne de la turbine à gaz TG03. Elles indiquent que le niveau des vibrations ne dépasse pas les seuils indiqués dans le tableau 3.1. Dans le groupe turbo alternateur les vibrations sont normales.

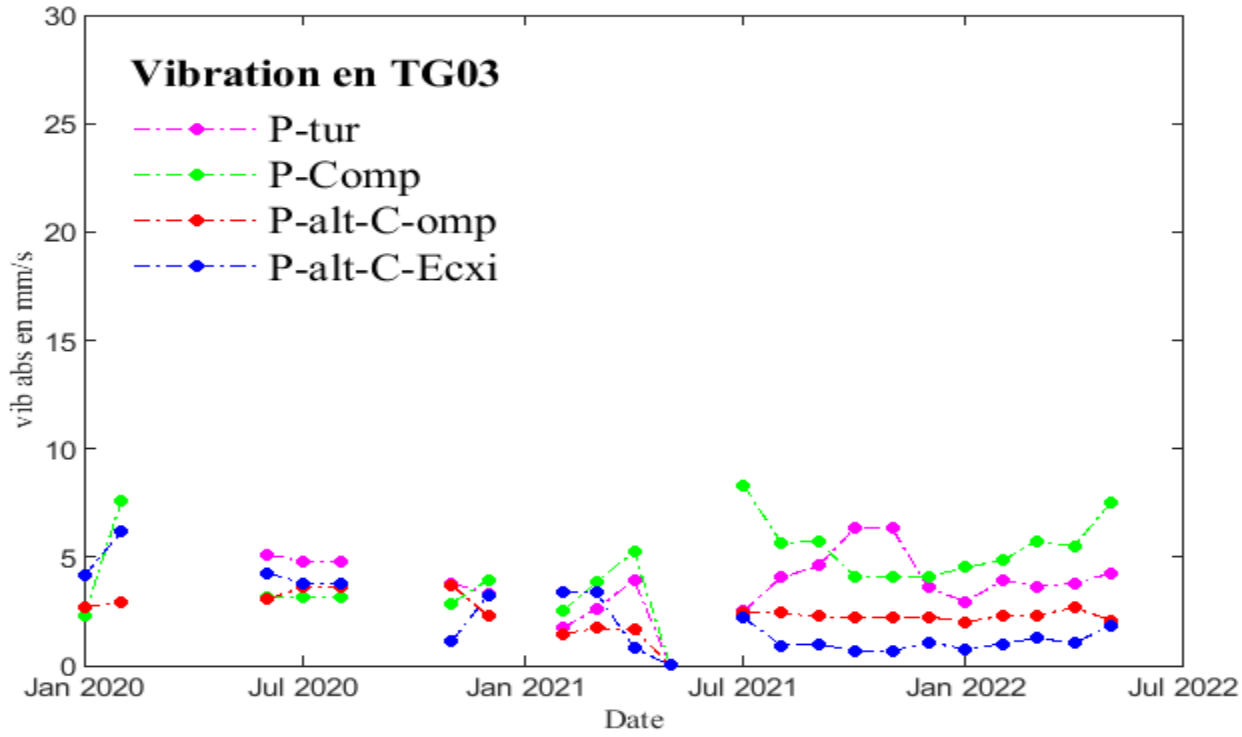


Figure 3.24 : vibration relative TG03

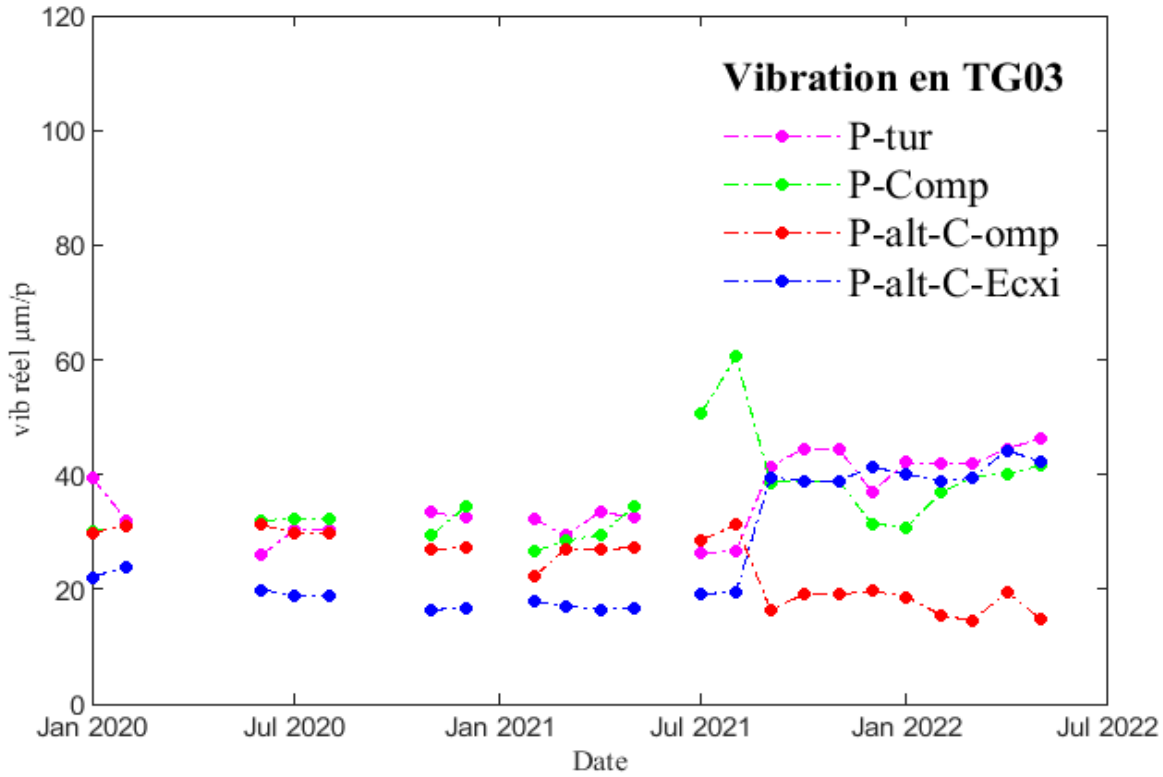


Figure 3.25 : vibration relative TG03

Les figures 3.26 et 3.27 sont issues de l'acquisition des données en ligne de la turbine à gaz TG04. Elles indiquent que le niveau des vibrations ne dépasse pas les seuils indiqués dans le tableau 3.1.

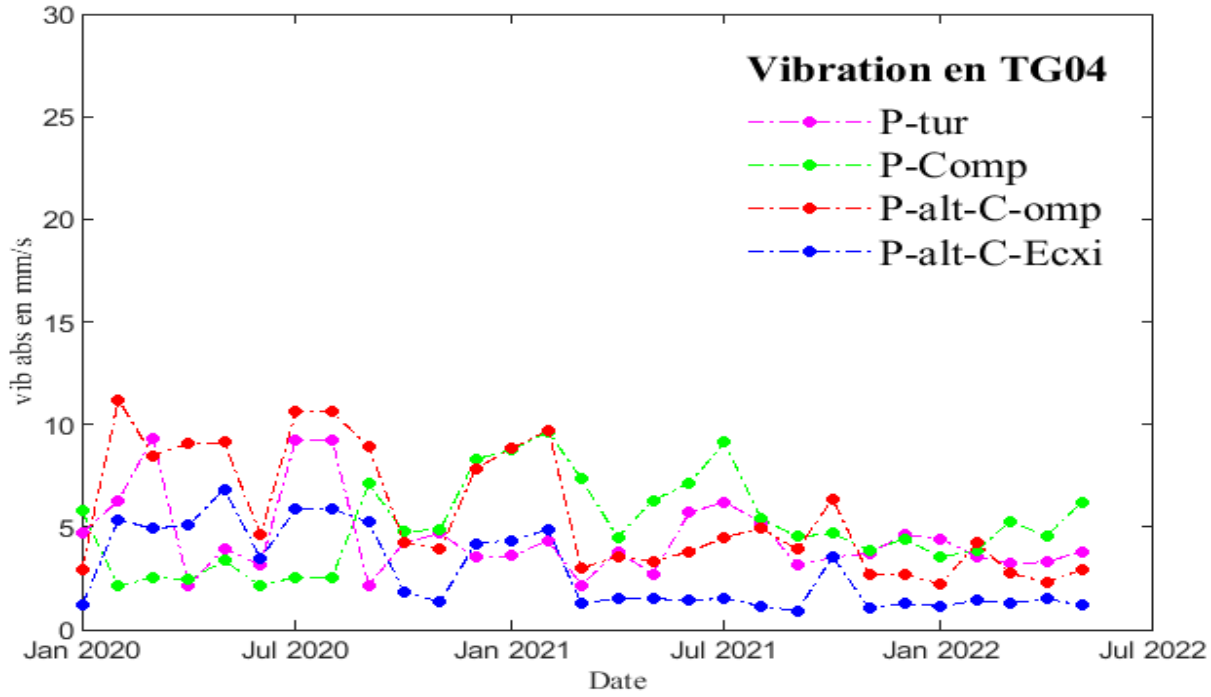


Figure 3.26 : vibration relative TG04

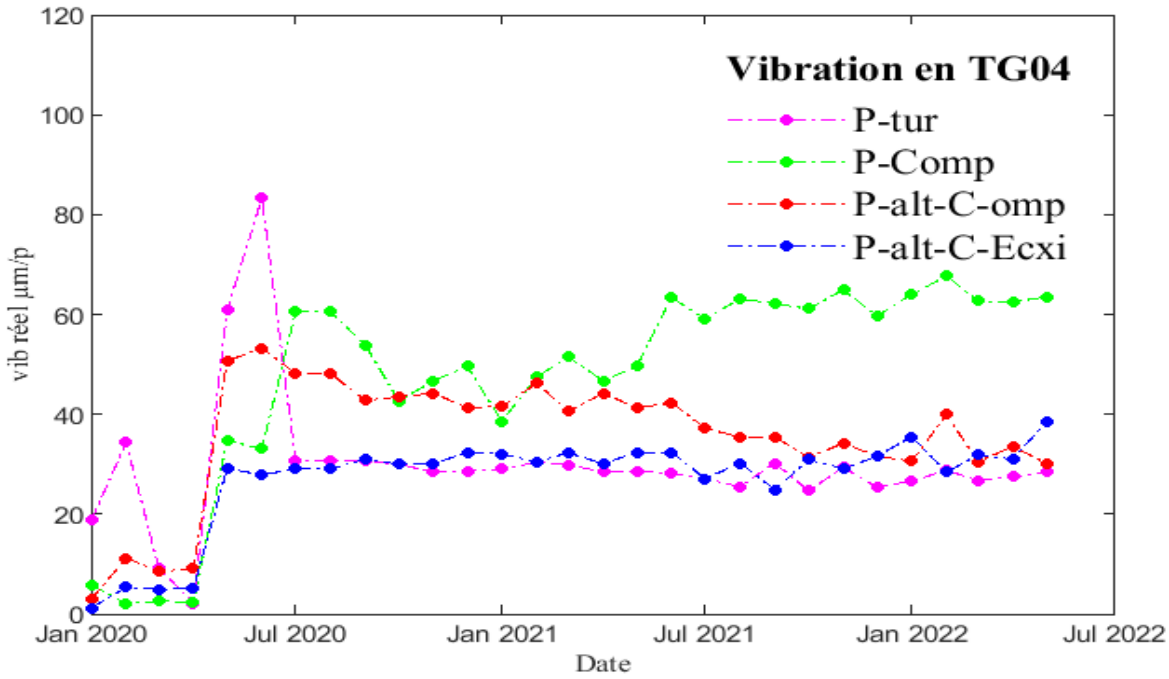


Figure 3.27 : vibration relative TG04

Acquisition des données hors ligne de la pompe de graissage

L'acquisition des signaux a été effectuée par l'utilisation du système d'acquisition OROS36. Les figures 3.28(a)-3.36(a) montrent des signaux temporels prélevés du palier de la pompe de graissage de la centrale électrique de BOUFARIQUE pour différentes périodes.

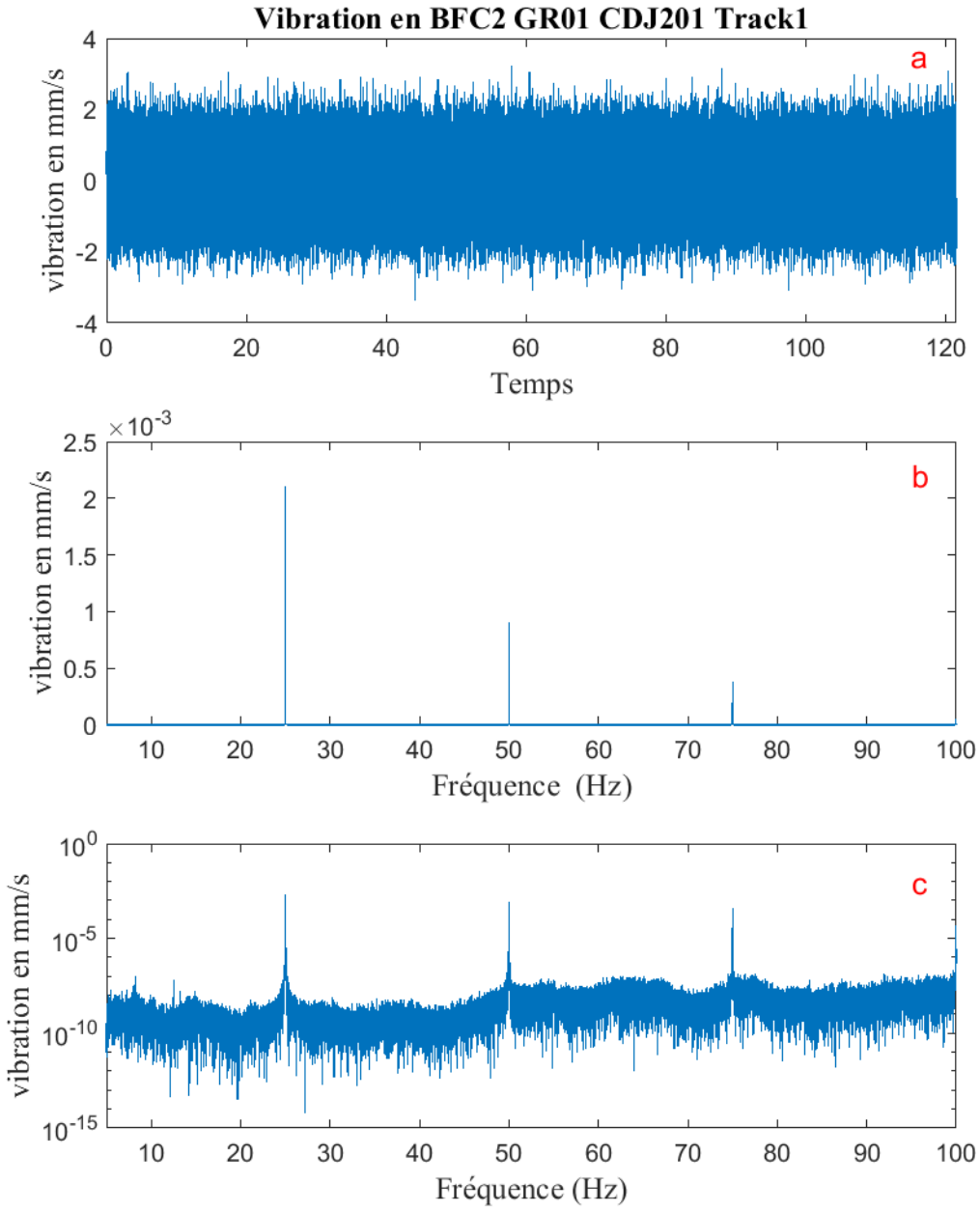


Figure 3.28 : (a) signal temporel, (b) spectre fréquentiel échelle linéaire, (c) spectre fréquentiel échelle logarithmique.

Les figures (b 3.28, c)-3.36 (b, c) montrent des spectres fréquentiels qui indiquent l'apparition des pics à la fréquence de rotation 25Hz (1500 tr/min) et à ces harmoniques.

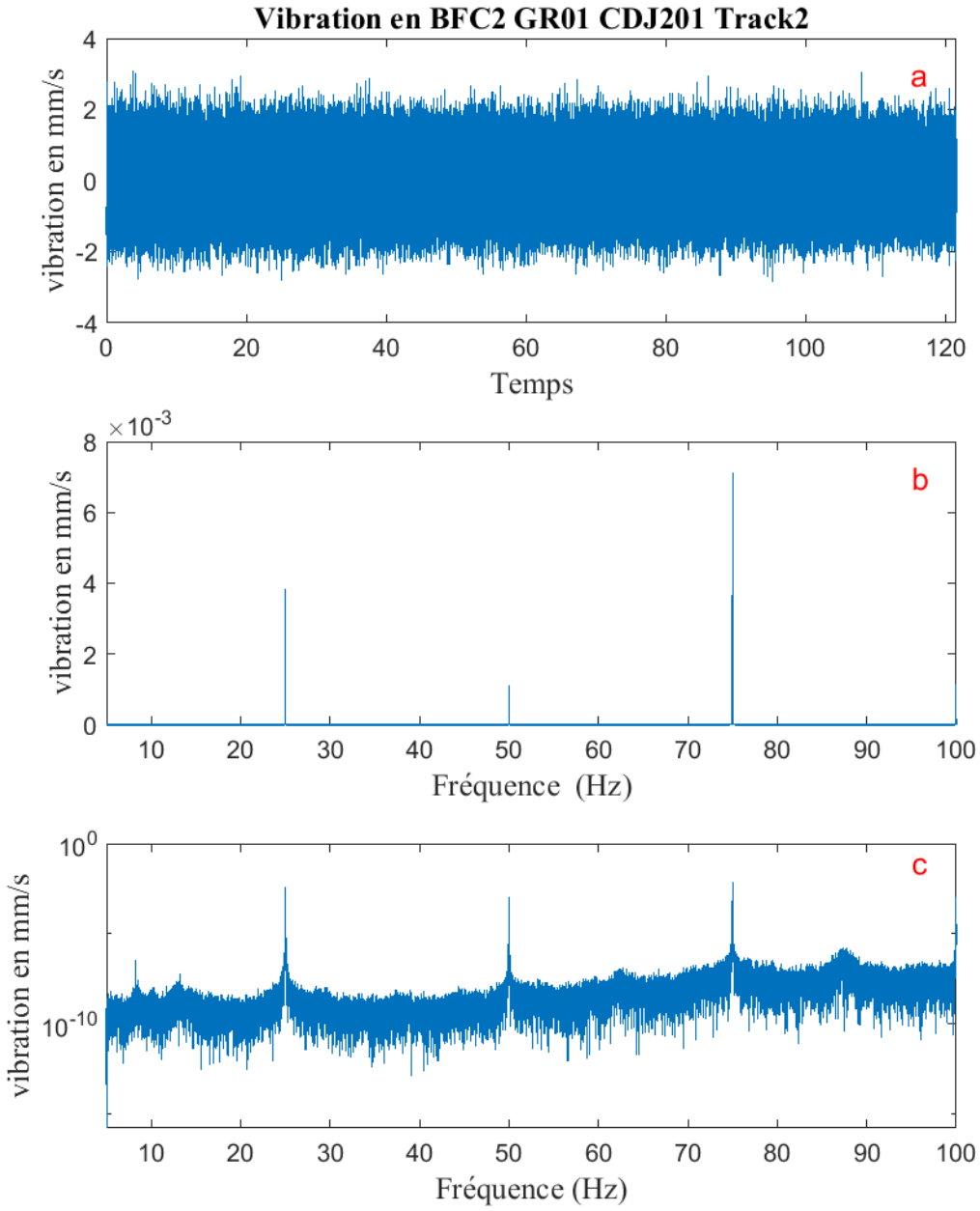


Figure 3.29 : (a) signal temporel, (b) spectre fréquentiel échelle linéaire, (c) spectre fréquentiel échelle logarithmique.

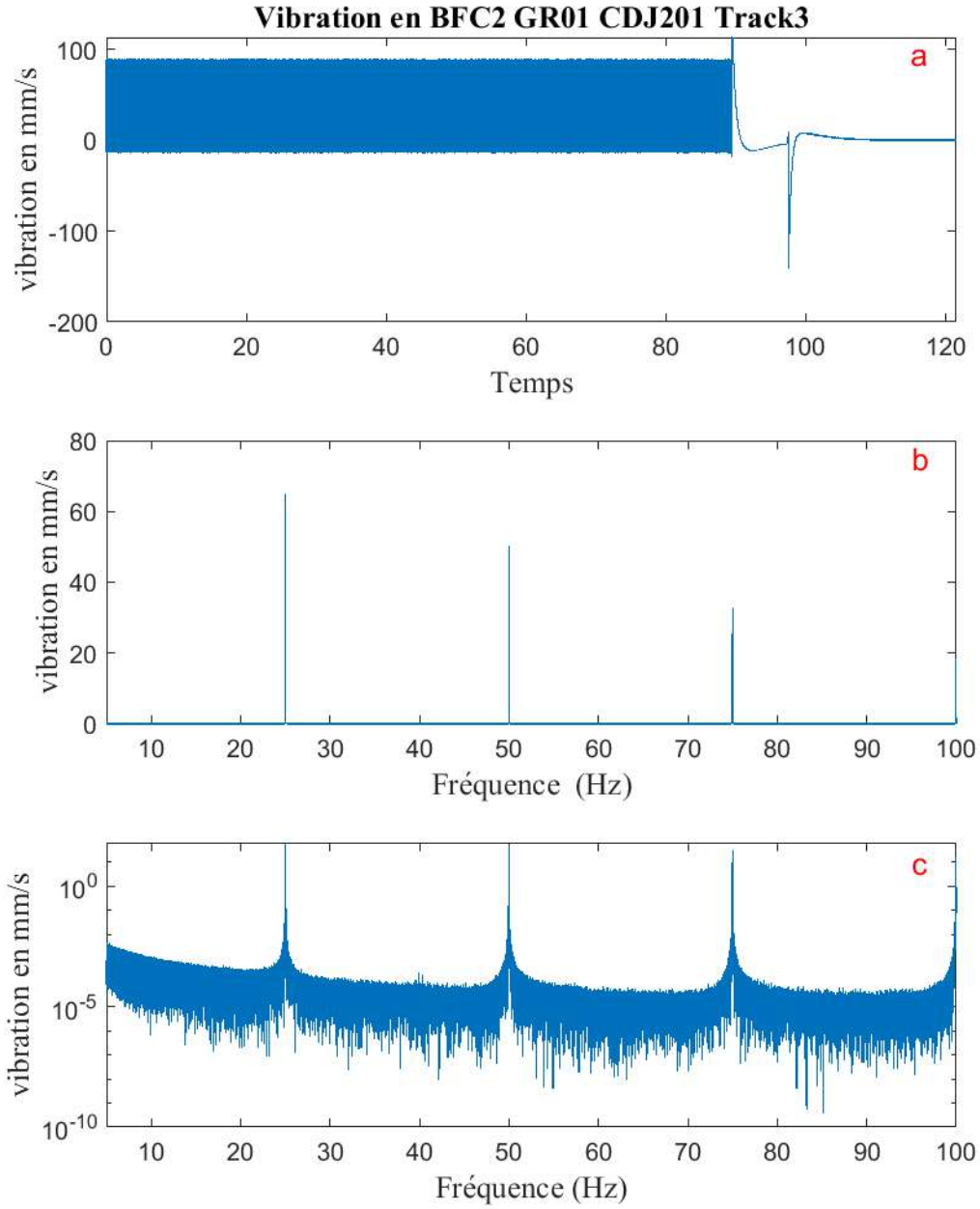


Figure 3.30 : (a) signal temporel, (b) spectre fréquentiel échelle linéaire, (c) spectre fréquentiel échelle logarithmique.

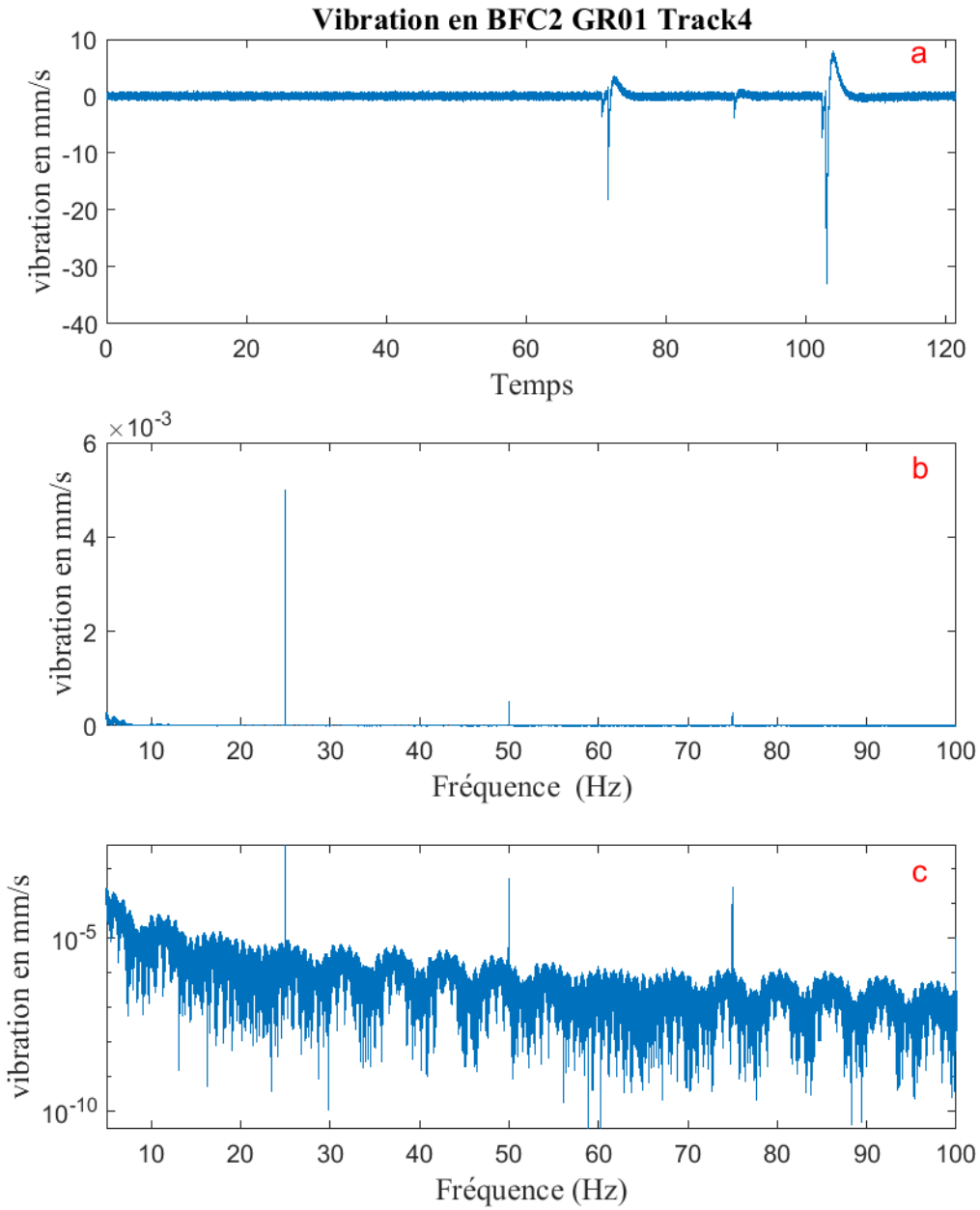


Figure 3.31 : (a) signal temporel, (b) spectre fréquentiel échelle linéaire, (c) spectre fréquentiel échelle logarithmique.

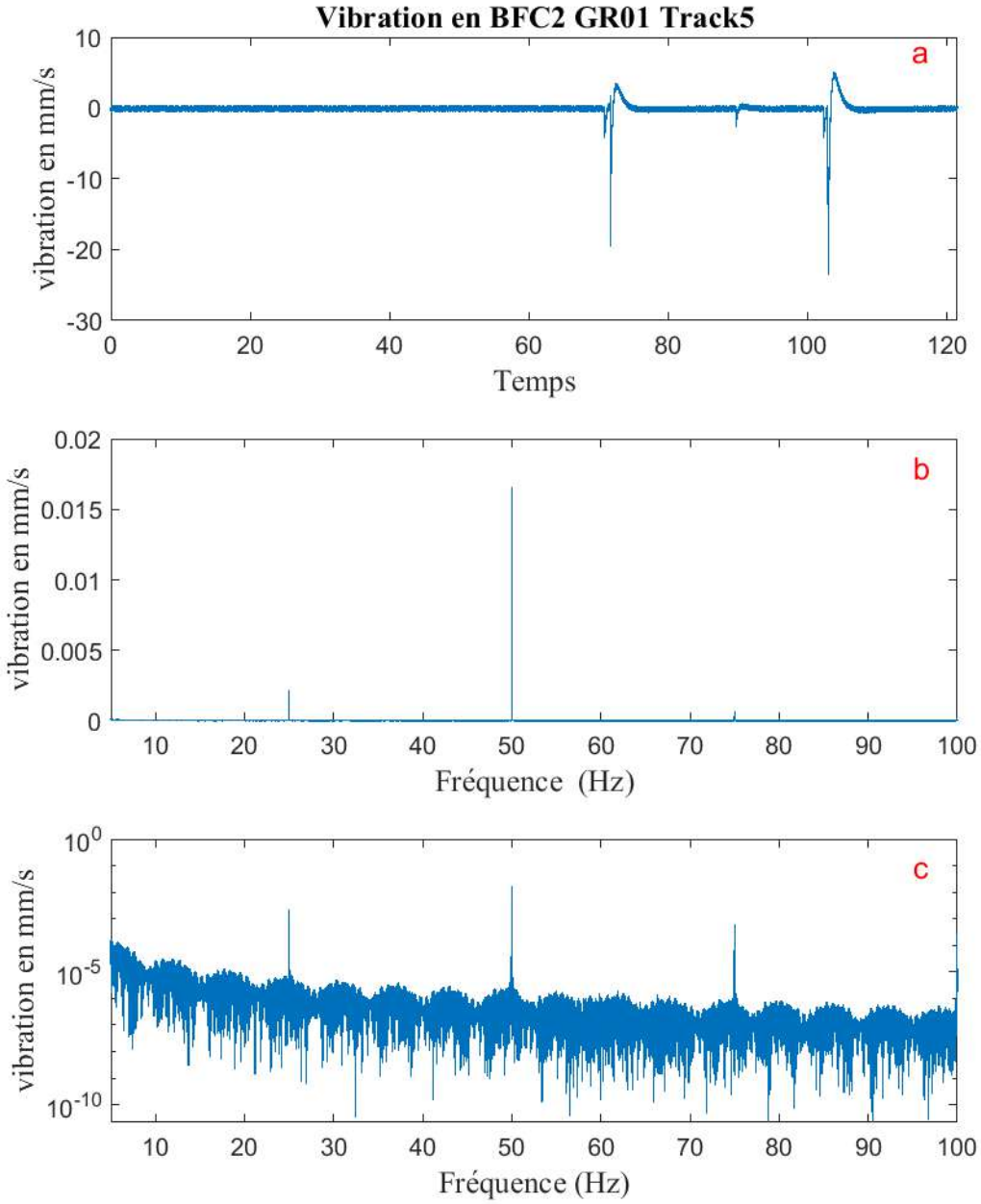


Figure 3.32 : (a) signal temporel, (b) spectre fréquentiel échelle linéaire, (c) spectre fréquentiel échelle logarithmique.

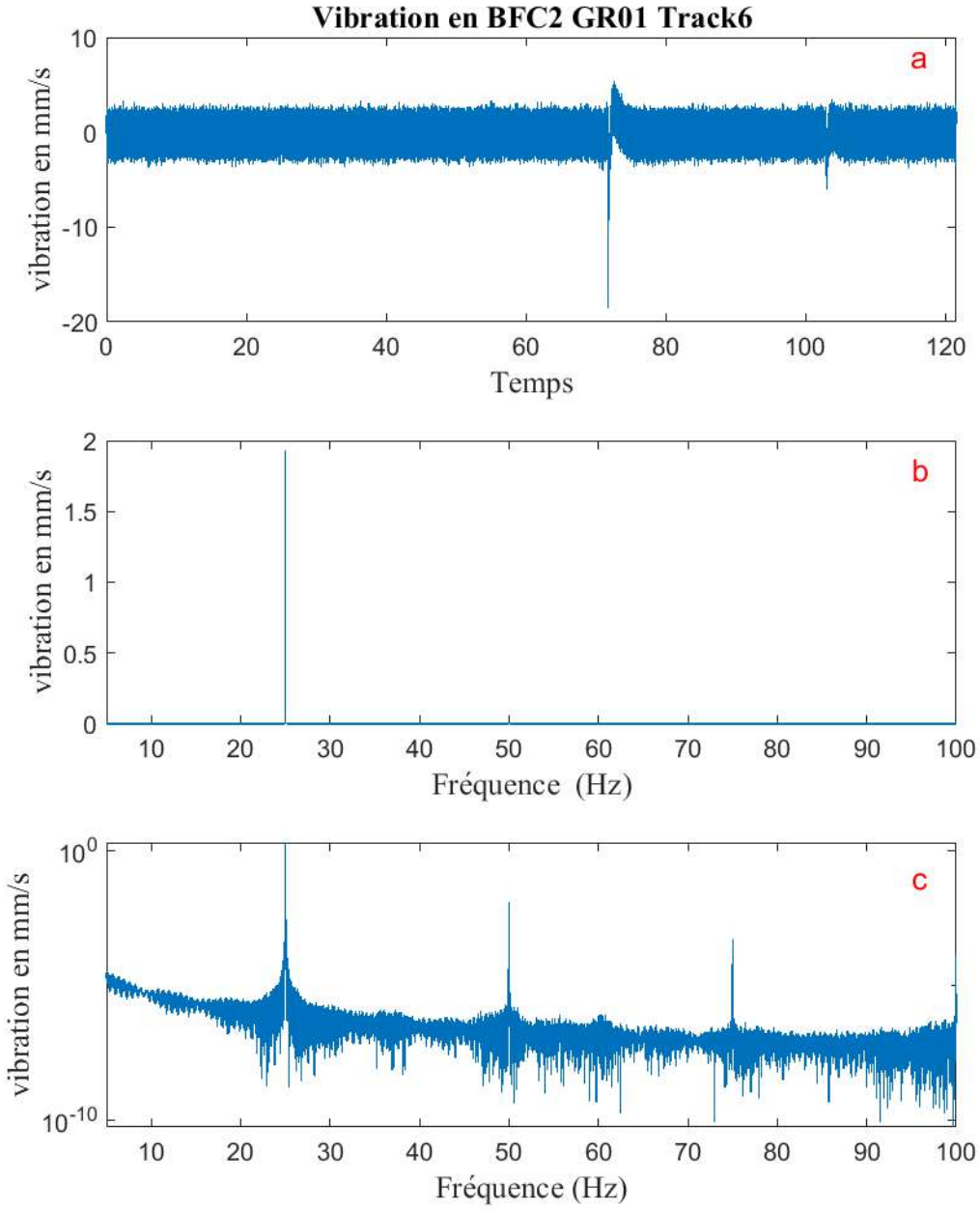


Figure 3.33 : (a) signal temporel, (b) spectre fréquentiel échelle linéaire, (c) spectre fréquentiel échelle logarithmique.

Les figures 3.34(c)- 3.35(c) montrent des spectres fréquentiels en échelle logarithmique. Elles indiquent l'apparition des pics de résonance à la fréquence de rotation 40Hz (2400 tr/min). Ceci signifie qu'il existe des défauts qui excite la pompe en basse fréquence.

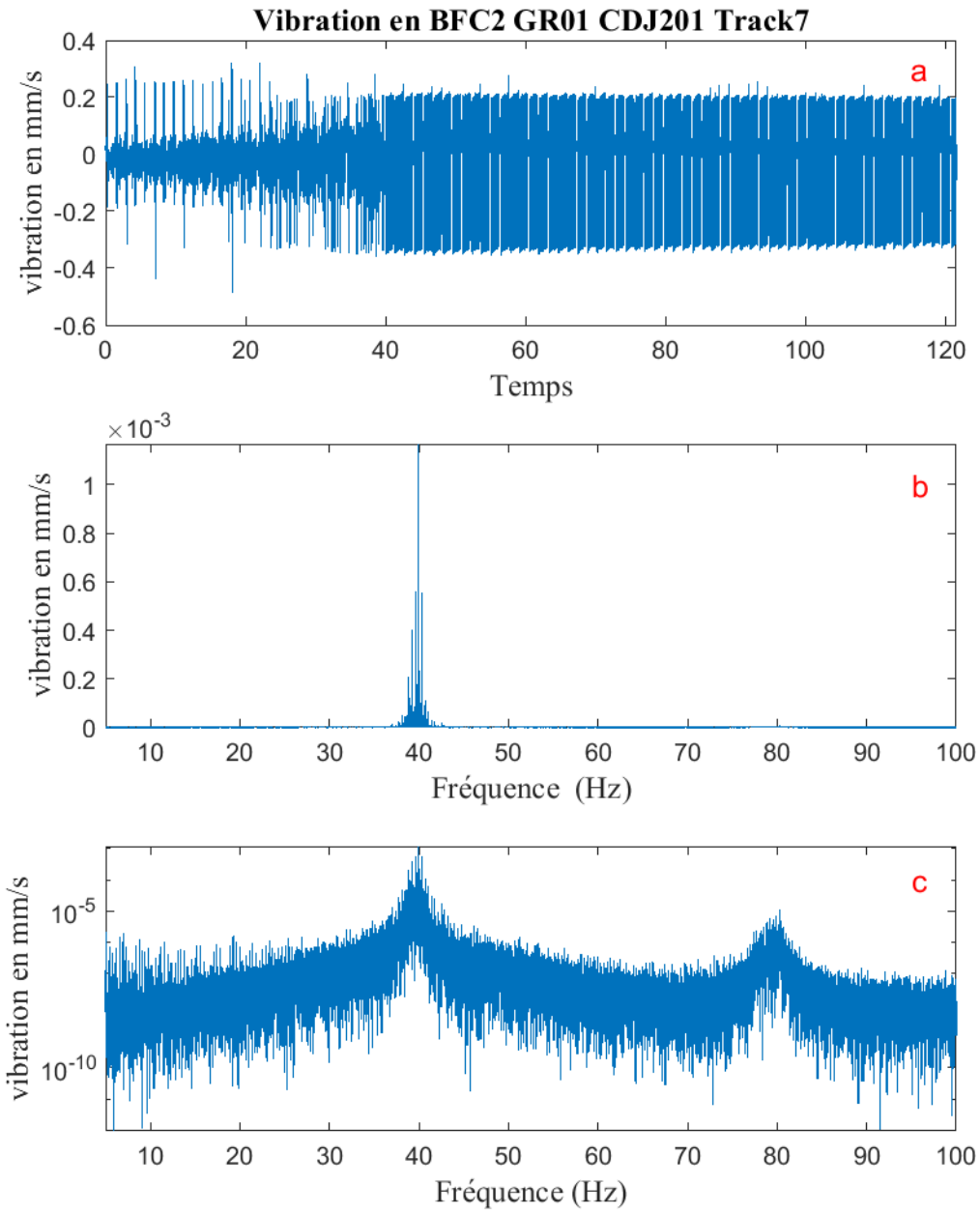


Figure 3.34 : (a) signal temporel, (b) spectre fréquentiel échelle linéaire, (c) spectre fréquentiel échelle logarithmique.

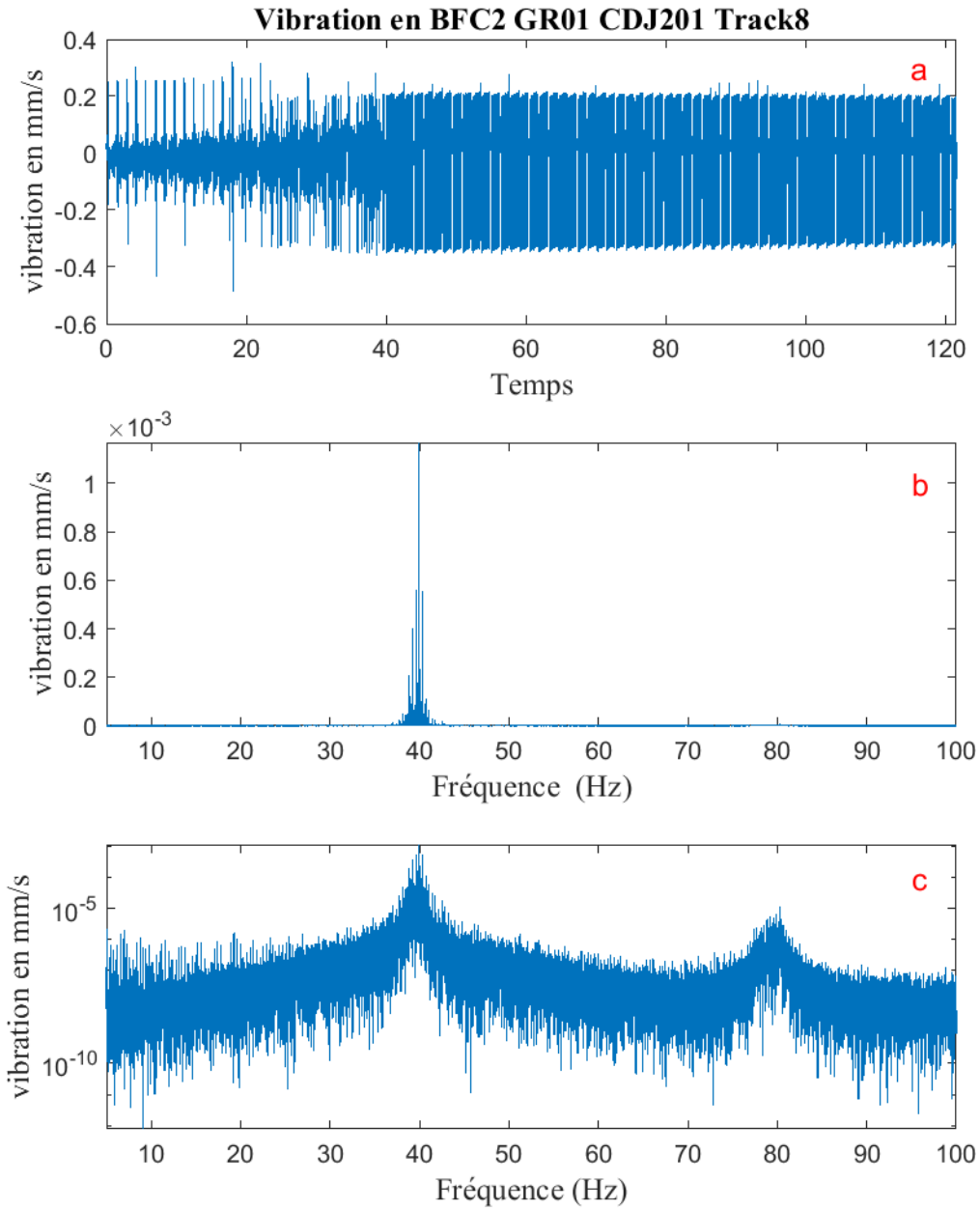


Figure 3.35 : (a) signal temporel, (b) spectre fréquentiel échelle linéaire, (c) spectre fréquentiel échelle logarithmique.

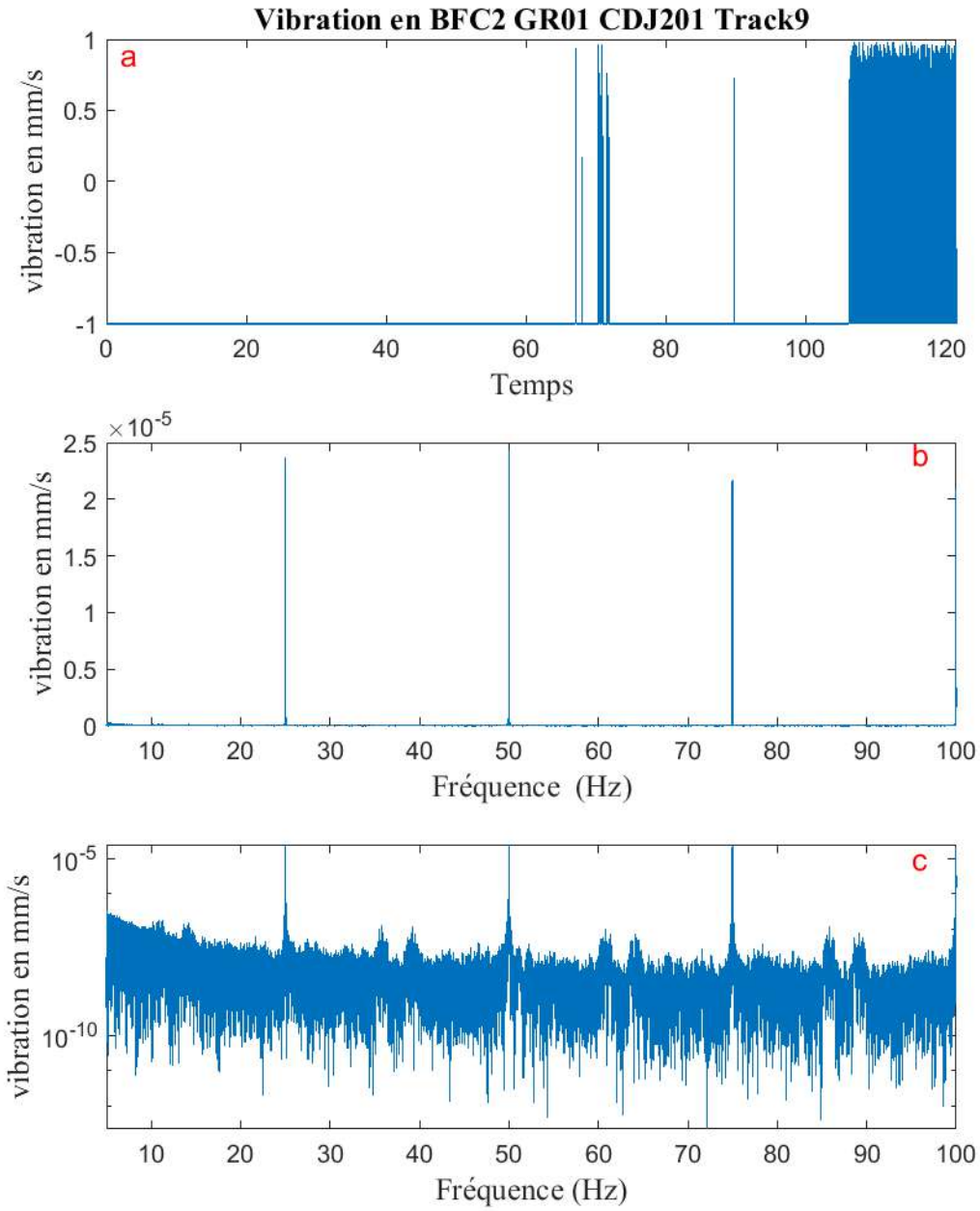


Figure 3.36 : (a) signal temporel, (b) spectre fréquentiel échelle linéaire, (c) spectre fréquentiel échelle logarithmique.

3.5 Conclusion

Dans cette étude, une méthodologie basée sur l'analyse vibratoire est présentée pour modéliser les vibrations et la prise de décision dans le processus de la surveillance

conditionnelle des machines tournantes. Afin d'améliorer ce processus, nous recommandons d'utiliser plus d'outils de traitement de signaux et de prise de décision

Conclusion Générale

Le présent travail a pour objectif de surveiller l'état des machines tournantes de la centrale électrique de L'ARBAA et de déterminer dans quelle mesure les outils de maintenance par l'analyse vibratoire sont appliqués. Pour ce faire, nous avons suivi une méthodologie pour atteindre notre objectif.

La démarche suivie comporte les grandes étapes suivantes :

- Détermination des types de machines tournantes concernées par la surveillance des vibrations ;
- Détermination de la stratégie appliquée pour la maintenance de ces machines.
- Collection et analyse des données.
- Déterminer l'étendue de l'application de la stratégie de maintenance par l'analyse vibratoire.

A travers notre stage au niveau de la centrale,

- Nous avons ressenti l'importance d'appliquer l'analyse des vibrations pour surveiller l'état des machines tournantes afin d'éviter les interruptions de production.
- Nous avons constaté que la surveillance « On-line » appliquée se limite à détecter la présence des défauts en utilisant les seuils d'alarme et de danger. Alors que la surveillance "hors ligne" est appliquée pour le diagnostic les défauts.
- Nous avons constaté que plusieurs outils (traitement des données, prise de décision, ...) ne sont pas utilisés dans la stratégie appliquée.
- Les résultats issus de l'analyse des signaux vibratoires ont montré l'efficacité de l'analyse vibratoire dans la surveillance d'une pompe de graissage.

Notre projet nous a permis d'approfondir nos connaissances théoriques et pratiques dans le domaine de maintenance des machines tournantes qui envahissent les différents domaines de l'industrie.

Bibliographie

[1]. Cours « Maintenance Industrielle » Master 1 Université Batna 2.

[2]. Kious Mohammed Moncef , Bousbia Salah Ammar « Maintenance conditionnelle par analyse vibratoire dans une centrale Électrique à turbine à gaz » MEMOIRE DE FIN D'ETUDE Univrsité Kasdi Merbah Ouargla 2019 / 2020

[3]. BELHOUR SAMIRA « CONTRIBUTION A L'OPTIMISATION DE LA MAINTENANCE PREDICTIVE PAR L'UTILISATION DU LOGICIEL OMNITREND (SYSTEME ON LINE) CAS : CIMENTERIE HAMMA BOUZIANE » MEMOIRE de magister UNIVERSITE DE MENTOURI DE CONSTANTINE 2008

[4]. Tahar BELKHIR « La maintenance des équipements par l'analyse vibratoire » Mémoire De Fin d'Etude UNIVERSITE KASDI MARBAH OURGLA 2015 / 2016

[5]. Gilles Yowel MASSALA MBOYI « Analyse vibratoire et estimation de la durée de vie résiduelle des composants mécaniques de guidage en rotation » Ingénieur en Réseau & Télécom Université des Sciences et Techniques de Masuku 2018.

[6]. Leila NACIB « DIAGNOSTIC DES DÉFAUTS DANS LES MACHINES TOURNANTES PAR L'ANALY VIBRATOIRE » DOCTORAT UNIVERSITÉ BADJI MOKHTAR-ANNABA 2015.

[7]. François Monchy , Jean-Pierre Vernier « Maintenance méthodes et organisations » – DUNOD_ 3e édition

[8]. BOUCHERK KAHINA , HAMDIDI NAIMA « Traitement des signaux vibratoires : Application au diagnostic des défaillances » Mémoire de fin d'études 2008/2009.

[9]. AMRI Athmane « Application de l'analyse vibratoire à la maintenance préventive conditionnelle » Projet de fin de cycle Université A. MIRA de Bejaia 2014

[10]. Alain boulenger , christian Pachaud « Surveillance des machines par analyse des vibrations » Paris, Dunod, 2009

[11]. Sonelgaz production d'electricité « maintenance conditionnelle par l'analyse des vibration » Juin 2008.

[12]. Mr, Bendjaima Belkacem « COURS D'ANALYSE VIBRATOIRE DES MACHINES TOURNANTES » ECOLE TECHNIQUE DE BLIDA Janvier 2019

[13]. Djouabi abd elatif , Moussouni maamar « Contrôle et commande d »un Réchauffeur de turbine A gaz par PLC Schneider » Mémoire de Master 2015/2016.

[14]. Doucumentation de la centrale turbine à gaz type v 94.2 de l'arbaa constructeur Ansaldo Energia

République Algérienne Démocratique et Populaire
Ministère de l'enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique
Université Yahia Fares de Médéa

Attestation de Stage

Je, soussigné le responsable des stages : **BENZIREG Mohamed**

atteste que l'étudiant(e) MESBAIAH Oussama né(e)le 25/01/1995 à Blida

Inscrit(e) à la faculté de Technologie de l'université de Médéa, a effectué un stage de formation dans la filière Génie Mécanique CM au sein de l'organisme d'accueil Société Algérienne de Production de l'Electricité Centrale TG Larbaa Unité de Production Larbaa durant la période allant du 13/02/2022 au 15/03/2022

Fait à Médéa le 05/05/2022

Le responsable des stages de la faculté de Technologie

05 MAI 2022

Le responsable de l'organisme d'accueil

Cette attestation est délivrée à l'intéressé(e) pour faire valoir et servir ce que de droit

108

République Algérienne Démocratique et Populaire
Ministère de l'enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique
Université Yahia Fares de Médéa

Attestation de Stage

Je, soussigné le responsable des stages : **BENZIREG Mohamed**

atteste que l'étudiant(e) BENGHALIA Kheireddine né(e)le 01/05/1973 à Tipaza

Inscrit(e) à la faculté de Technologie de l'université de Médéa, a effectué un stage de formation dans la filière Génie Mécanique CM au sein de l'organisme d'accueil Société Algérienne de Production de l'Electricité Centrale TG Larbaa Unité de Procuction Larbea durant la période allant du 13/02/2022 au 15/03/2022

Fait à Médéa le 05/05/2022

Le responsable des stages de la faculté de Technologie

05 MAI 2022

Le responsable de l'organisme d'accueil

03 MAI 2022

Cette attestation est délivrée à l'intéressé(e) pour faire valoir et servir ce que de droit