REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE

MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE

UNIVERSITE YAHIA FARES DE MEDEA



Faculté de **T**echnologie

Mémoire de fin d'études de Master

Filière : Electromécanique
Spécialité : Mécatronique

Diagnostic d'une turbine à gaz V94.3A par analyse d'huile

Présenté par :

- FOURAR Rabah
- DIFAOUI Slimane

Proposé et Dirigé par :

Dr. GUEMANA Mouloud

Promotion 2019/2020

Remerciement

Nos remerciements les plus sincères vont en premier lieu, A notre encadreur Mr. GUEMANA Mouloud pour ses conseils lucide set pertinents, sa patience et son précieux suivi tout au long de la réalisation de ce travail. Sa disponibilité, ses qualités pédagogiques et humaines et ses compétences nous ont apporté un encadrement déterminant dans toutes les phases de ce travail.

Nos remerciements vont également aux ingénieurs de SKB pour ses disponibilités et ses compréhensions, ses soutiens.

Nous remercions chacun des membres du jury d'avoir consacré une partie de leur temps a la lecture de ce mémoire et pour l'intérêt qu'ils ont porté ace travail.

Nos remerciements s'étendent à tous nos enseignements et les membres des départements de génie mécaniques de l'université de MEDEA

Ainsi qu'à tous ceux et celles qui ont contribué de près ou de loin à l'accomplissement de ce travail.

Dédicaces

Je dédie ce modeste travail à

Mes très chers mère et oncle, pour leurs soutient moral et financier et d'être la lumière de ma vie, qui m'ont toujours encouragé pour terminer mes études, en leur espérant une longue vie et que Dieu les gardes.

A mes sœurs, qui me stimulent. À tous mes proches collèges, Sans exception.

*A toutes la famille ****FOURAR***** et* ***YAGOUBI*****sans exception. A tous ceux qui sont proches de mon cœur et que je n'ai pas cité le nom.*

Mes enseignants du primaire, jusqu'à l'université,

À toute personnes qui m'ont encouragé ou aidé au long de mes études et à tous ceux



FOURAR

Dédicaces

Je dédie ce modeste travail à

Mes très chers mère et père, pour leurs soutient moral et financier et d'être la lumière de ma vie, qui m'ont toujours encouragé pour terminer mes études, en leur espérant une longue vie et que Dieu les gardes.

A mes sœurs, qui me stimulent. À tous mes proches collèges, Sans exception.

*A toutes la famille ****DIFAOUI***** et* ***MABROUKI*****sans exception. A tous ceux qui sont proches de mon cœur et que je n'ai pas cité le nom.*

Mes enseignants du primaire, jusqu'à l'université,

À toute personnes qui m'ont encouragé ou aidé au long de mes études et à tous ceux



DIFAOUI

SOMMAIRE

Liste des figures

Liste des tableaux

Introduction

Chapitre I : description le lien de stage et généralité sur la maintenance industrielle.
Les caractéristiques générales de l'unité.

Présentation générale de la centrale ..... ……....03

Les caractéristiques générales de l'unité ..... ……..…04

Description de la centrale ..... …….……05

Unités de production d'électricité ..... …….……06

Salle des machines ..... ……06

Système d'évacuation de l'énergie ..... ……06

Système de Contrôle Commande SPPA T3000..... ……06

Système d'Alimentation en Combustibles ..... ……07

Ouvrages Annexes communs pour les deux unités..... ……07

Introduction ..... ……08

Définition de La maintenance..... ……08

But de la maintenance ..... ……09

Les phénomènes précurseurs de pannes..... ……09

Les différents types de maintenance ..... ……10

- La maintenance préventive..... ……10
- La maintenance corrective..... ……10

Maintenance corrective (curative) ..... ……10

Maintenance préventive ..... ……11

La maintenance appliquée sur les turbines à gaz V94.3A.....13

Généralités..... ……13

La maintenance conditionnelle (inspection en fonctionnement).....14

La maintenance systématique (les inspections à l'arrêt)……...15

Inspections du système de combustion (combustion inspection CI)……...15

Inspections du parcours des gaz chauds (hot gaz parthe inspection HPGI)……15
Inspection majeur (major inspection MI)..... ……16
Inspection des systèmes de commande et de protection……..16
Teste de démarrage et essais..... ……18
La Maintenance d'amélioration…….…..…...18
Exemples des pièces changées..... 19
Les cycles des révisions ..... ……..……19
Les durées des interventions..... ……..……19
Les facteurs influençant la durée de vie des pièces..... ……..…20
Conclusion……..21
Chapitre II : les déférentes techniques de détection et de diagnostic des défauts
Introduction:…….…..22
Techniques d'analyse:..... 22
L'analyse vibratoire ..... ……..…24
Objectifs d'analyse vibratoire..... ……..……24
 Les avantages.....……24
 Les inconvénients.....……..…24
Champs d'application privilégiée…….....25
Définition d'une vibration: 25
Caractéristiques d'une vibration ..... ……..……25
Vibrations des machines tournantes..... ……..…26
Les capteurs de vibration:..... ……..……27
A. Les prosimètres:..... ……...27
Les avantages est les inconvénients..... 28
 Problèmes et défauts détectés.....……28
B. Vélocimétrie: ..... ……..28
C. Les accéléromètres: ..... ……....29
Les avantages est les inconvénients..... ……..30
 Problèmes et défauts détectés.....……30
Modes de fixation: ..... ……30
La surveillance vibratoire..... ……31
l'analyse par thermographie infrarouge ..... ……33

Avantages et inconvénients de la thermographie par infrarouge:……34
 Avantage ..... ……34
 Domaines d'application industrielle ..... ……34
. Contrôle des équipements électriques hauts et basse-tension: ……..35
A. Contrôle sur des équipements mécaniques:..... ……35
B. Contrôle sur des équipements thermiques:..... ……36
C. Contrôles des installations hydrauliques:..... ……36
Principe de l'analyse thermographique..... ……37
analyse acoustique ultrasonore ..... ……38
Présentation de la détection des ultrasons: ..... ……38
Principe du contrôle par ultrasons..... ……..38
Les appareils de contrôles ultrasonores:..... ……39
L'inspection ultrasonore intégrée dans un Programme de maintenance conditionnelle:
Monitoring de vibration acoustique ..... ……40
Contrôle des purgeurs de vapeur..... ……41
Contrôle de graissage ..... ……41
Inspections électriques..... ……42
La détection de fuites ..... ……43
Contrôle d'étanchéité..... ……43
l'analyse des huiles ..... ……45
Contrôle, surveillance des niveaux et des consommations ..... ……45
conclusion..... 45

Chapitre III : Diagnostic des défauts par analyse d'huile

Introduction 47
III.1/ Principe de raffinage des huiles lubrifiantes..... 47
III.1.1/ Composition des huiles de lubrification de base.....48
/ Analyse d'huile 51
/ Effets de la pollution de l'huile 51
/ Sources de pollution de l'huile 51
/ Influence de la pollution de l'huile sur le fonctionnement..... 52
III.3/ Objectifs visés par l'analyse de l'huile..... 53
III.4/ Impacts économiques 53
III.5/ Méthodes d'analyses de la pollution des huiles.....53

III.6/ Les techniques d'analyse des huiles.....54
III. 7/ Description des différents moyens d'analyse d'huile 57
III.7.1/ Analyses physico-chimiques.....57
III .7.2/ Analyses spectrométriques 59
Pollution gravimétrique.....60
Comptage de particules 60
III .7.5. Analyses Ferro graphiques.....62
III .8/ Descriptif de la mise en œuvre du contrôle 62
III .9/ l'échantillonnage des lubrifiants industriels.....63
III .10/ Analyse et diagnostic des lubrifiants… 66
Conclusion.....67

Chapitre IV : Application de l'analyse d'huile sur une turbine à gaz.

Introduction :
IV .1/ Description de la turbine à gaz 68
IV .1.1 Définition V94.3A…..... 68
IV .1.2/ principe de fonctionnement… 69
IV .1.3/ les différent circuits…..... 72
IV .1.3.1/ circuit de lubrification (graissage par huile)… 72
IV .1.3.2/ circuit de refroidissement (circuit d'air).....76
IV. 2/ méthode de prélèvement de l'huile de lubrification…..... 78
IV. 3/ méthode de mesure et appareillage.....78
IV .3.1 La densité.....78
IV .3.2 La viscosité 80
IV .3.3 Indice de viscosité.....82
IV.4 Résultats et discussion… 83
IV .4.1/ comparaison des résultats… 84
IV .4.2/ Diagnostic et interprétation….....86
La densité 86
La viscosité..... 86
Indice de Viscosité.....88
Conclusion.....88

Liste des figures :

Numéro	Titre des figures	Page
	CHAPITRE 1	
Figure .I.1	Tableau de commande de la salle de contrôle	04
Figure .I.2	Les différents types de maintenance	10
Figure .I.3	Influence des démarrages.	21
Figure .I.4	Influence de la charge.	21
	CHAPITRE 2	
Figure .II.1	Différentes méthodes d'analyse.	23
Figure .II.2	Nature d'une vibration.	26
Figure .II.3	Prosimètres et leur driver.	27
Figure .II.4	prosimètre monte sur un palier.	28
Figure II.5	schéma de principe d'une vélocimétrie.	29
Figure .II.6	Capteur de vélocimétrie.	29
Figure .II.7	Schéma de principe d'un accéléromètre.	29
Figure .II.8	Réponse d'un accéléromètre en fonction de la fréquence selon le mode de fixation	31
Figure .II.9	Thermo gramme: usure de palier	34
Figure .II.10	Contrôle par TIR des équipements électriques.	35
Figure .II.11	Diagnostic thermographique des équipements mécaniques et électromécaniques.	35
Figure .II.12	Diagnostic thermographique des équipements thermiques.	36
Figure.II.13	Diagnostic thermographique des installations hydrauliques.	37
Figure.II.14	Principe de fonctionnement de la caméra infrarouge.	37
Figure.II.15	Principe du contrôle par ultrasons.	38

Figure .II.16	Présentation du contrôle par ultrasons.	39
Figure .II.17	Structure d'un palpeur pour ondes longitudinales.	40
Figure .II.18	Structure d'un palpeur pour ondes transversales.	40
Figure .II.19	schéma de Contrôle ultrasonique d'unmoteur.	41
Figure .II.20	Contrôle ultrasonique d'unmoteur.	41
Figure .II.21	Graissage d'un roulement Par US.	42
Figure .II.22	Détérioration d'un isolateur deligne.	42
Figure .II.23	Détection des fuites par US.	43
Figure .II.24	Contrôle d'étanchéité par US.	44
Figure .II.25	Maintenance préventive conditionnelle.	45
	CHAPITRE 3	
Figure. III.1	Fabrication d'une huile de base minérale issue de l'extraction du pétrole brut.	48
Figure .III.2	les effets de pollution.	51
Figure .III.3	viscosimètre a chute de bille.	57
Figure. III.4	appareillage la teneur en eau.	58
Figure .III.5	appareillage le TAN.	59
Figure .III.6	différents particules dans l'huile.	60
Figure. III.7	méthode de comptage des particules.	61
Figure. III.8	classe de pollution.	62
Figure. III.9	La génération et la perte des particules	63
Figure.III.10	Echantillonnage d'une valve XK dans le réservoir.	65
Figure.III.11	Comment utiliser un tube d'échantillonnage et pompe succion.	65
Figure.III.12	technique de diagnostic.	66
	CHAPITRE 4	
Figure IV.1	Turbine a gaz avec chambre de combustion annulaire et bruleur hybrides (HBR).	69
Figure IV.2	compresseur.	70
Figure IV.3	Chambre de combustion CC	70

Figure IV.4	Turbine.	71
Figure IV.5	Schéma descriptive de la turbine à gaz	72
Figure IV.6	Pompe à huile de lubrification.	75
Figure IV.7	Système D'Air d'Etanchéité pour les Brûleurs.	77
Figure IV.8	pycnomètre.	79
Figure IV.9	Viscosimètre à capillaire Cannon-Fenske.	80
Figure IV.10	Bain viscosimètrique à 40°C (a) et bain viscosimètrique à 100°C (b).	81
Figure.IV.11	Abaque de Groff.	83
Figure IV.12	Evolution de la densité de l'huile TG11 et TG12 en fonction des années.	86
Figure IV.13	Evolution de la viscosité de l'huile de TG11 et TG12 à 40°C en fonction des années.	87
Figure IV.14	Evolution de la viscosité de l'huile de TG11 et TG12 à 100°C en fonction des années	87
Figure IV.15	Evolution de la l'Indice de Viscosité de l'huile de TG11 et TG12 en fonction des années.	88

Liste des tableaux

Numéro	**Titre de tableau**	**Page**
	CHAPITRE 1	
Tableau I.1	Modes de contrôle des paramètres importants .	14
	CHAPITRE 2	
Tableau II.1	Reconnaissance des principales anomalies.	32
	CHAPITRE 3	
Tableau III.1	Classification d'une huile minérale sur la base des structures moléculaire	49

Tableau III.2	différent épaisseurs de pollution d'huile.	52
Tableau III.3	méthode d'analyse de la pollution des huiles.	53
Tableau III.4	nombre maximaux de particules.	61
	CHAPITRE 4	
Tableau IV.1	Valeurs de consigne de température de l'huile	74
Tableau IV.2	différents détecteur de température.	**77**
Tableau IV.3	tableau comparatif de TG11.	84
Tableau IV.4	tableau comparatif de TG12.	85

Abréviation :

TAG	Turbine a gaz
HP	Haute pression
BP	Base pression
TH	Température d'huile

Introduction

Introduction Générale :

Le diagnostic des machines tournantes s'est fortement développé dans le monde industriel volonté d'obtenir, une chaine de production de plus en plus sure devient, et cela Pour prévenir les défaillances qui est au niveau de la machine, L'activité de maintenance des machines tournantes est une tâche très complexe et nécessite une grande quantité d'informations et des données intrinsèques.

C'est considéré point essentiel de la fiabilité et de la sûreté de fonctionnement. Les aspects diagnostic et la détection de défaut des organes mécaniques en font partie intégrante et requièrent la mise au.

Il existe deux types de maintenance : maintenance préventive : dans l'intention de réduire la probabilité de défaillance d'un bien ou la dégradation d'un service rendu.et maintenance corrective : L'opération de maintenance intervient après défaillance.

Ces techniques passent nécessairement par une bonne connaissance de la machine ainsi que.il existe plusieurs méthodes pour entretenir les machines tournantes : les machines doivent être surveillées presque toujours, quotidiennement et au moins une fois par mois, nous arrêtons la machine et vérifions les pièces mécaniques internes.

En effet, le développement actuel des nouvelles technologies, a permis l'amélioration des performances qui s'expriment à travers différents dispositifs, et qui contribuent dans l'évolution de la maintenance en générale.et en ce contexte, de nombreuses approches de sont développées, en vue de la détection des défaillances, ainsi que pour le diagnostic de défauts.

Le contrôle non destructif (CND) consiste à évaluer l'état d'un système, d'une structure ou d'un matériau sans l'endommager en vue d'établir un diagnostic. Les tests de CND reposent principalement sur la surveillance des troubles autour de la machine, par la présence d'une anomalie ou d'une hétérogénéité, et Les techniques utilisées sont diverses et dépendent de la nature même de la détection envisagée, Sur une large gamme de fréquence.

Les techniques de CND sont très diverses dans leurs principes, Parmi les plus utilisées : L'inspection visuelle, Le ressuage, La magnétoscopie, Les ultrasons la radiographie, Analyse d'huile.

Sur lesquels repose chacune de ces techniques sont très différents et le choix de l'une d'entre elles dans une application dépend d'un certain nombre de paramètres, principalement la nature des matériaux à contrôler, la nature de l'information.

La surveillance analyse d'huile d'une turbine à gaz, est une technique largement utilisée et son efficacité prend actuellement une place très importante dans le cadre de la mise en place d'une

politique de maintenance prédictive.la compréhension et le diagnostic de ces mêmes phénomènes nécessitent des simulations de plus en plus fines de leur comportement. Pour cela La dynamique de ces machines, et l'étude de leurs stabilités.

L'important dans la maintenance des machines est de travailler sans les arrêter pour connaître l'erreur ou prévoir pour le révéler avant que cela n'arrive et l'ingénieur doit suivre l'analyse d'huile de la turbine à gaz régulièrement pour être une prédiction proactive. Non changement de propriétés (décoloration, impuretés, usure...), et que votre méthode sera d'assurer le bon fonctionnement de l'appareil et de réduire les risques et l'impact économique d'une résiliation ou d'un effondrement précoce.

Nous avons traité dans le premier chapitre généralité la maintenance et présentation de lieu de stage et y avons expliqué le concept de la maintenance et sa finalité dans les machines tournantes et leur importance

Chapitre deux : les techniques d'analyse vibratoire, les objectifs, les champs d'application privilégiés et les capteurs de vibration qui convertissent la vibration mécanique résultante en un signal électrique équivalent

Chapitre troisième L'huile et ses propriétés importantes qui jouent un grand rôle dans la lubrification et le refroidissement pour prévenir le frottement et la détérioration des machines

Chapitre quatrième application analyse d'huile sur la turbine a gaz

Dans notre cas, objet de notre mémoire de fin d'études est l'étude pratique d'une méthode de diagnostic par analyse d'huile d'une turbine à gaz SIEMENS V94.3A installée à la centrale thermique de Berrouaghia.

Nous subdivisons notre Mémoire en quatre parités développées sous forme des chapitres :

- Le premier chapitre intitulé : " Présentation du lieu du stage et généralité sur la maintenance ", dans ce chapitre, nous avons relaté historique, développement, organisation technique et humaines de la centrale thermique de Berrouaghia et nous avons donné un aperçu général sur la maintenance appliquée à cette unité de production.
- Au deuxième chapitre intitulé : " Les déférentes techniques de détection et de diagnostic des défauts", nous avons abordé les différentes techniques utilisées pour la détection et diagnostic des défauts sans détérioration de pièce.

- Le troisième chapitre : " Diagnostic des défauts par analyse d'huile ", nous avons démontré les différentes étapes pratiquées de la technique de détection des défauts par analyse d'huile.
- Le quatrième chapitre : "Application sur une turbine à gaz Siemens V94.3A", dans ce chapitre, nous avons fait une étude pratique de la méthode de détection des défauts d'une turbine à gaz installée à la centrale thermique de Berrouaghia type Siemens V94.3A.

CHAPITRE 01 : Présentation de lieu de stage et généralité sur la maintenance

Présentation générale de la centrale

Cette centrale électrique est composée de deux groupes dont chacun se compose de deux unités ; une turbine à gaz SIEMENS V94.3A(2) d'une puissance de 271 MW chacune, qui peut fonctionner soit avec du gaz naturel appelé combustible principal et aussi avec du Gas-oil qui est appelé combustible de secours et un générateur SIEMENS TLRI50-16.5.

Les groupes sont installées dans des enceintes appelées « package » dans une salle de machine commune ventilée et insonorisée avec une exploitation à partir d'une salle de commande centralisée qui donne accès à différents tableaux de commande (Figure (I.1)).

La centrale électrique de Berrouaghia a réussi son premier allumage de la turbine à gaz de la première unité le 15/05/2007 et pour la deuxième unité le 21/06/2007.

La date initiale de la mise en service industrielle était fixée au 21/09/2006 pour la 1ére unité et le 21/10/2006 pour la 2éme unité. L'exploitation commerciale le 30/11/2007.

Les fournitures des équipements sont d'une conception bien approuvée, apte à fonctionner aux conditions de marche de service de base et de pointe pour les conditions spécifiques du site. Les groupes peuvent démarrer rapidement à partir de l'état de froid et à absorber les gradients de température importants en régime transitoire après un déclenchement rapide. Ils sont prévus aussi pour ce type d'installation et nécessitent un faible entretien. Les matériaux utilisés sont conçus de telle façon à résister à la corrosion et à l'érosion.

Les conditions nominales du site sont :

Température moyenne : 15.5°

Humidité relative : 67%

Pression atmosphérique : 0.906 bars

Altitude : 928m [1]

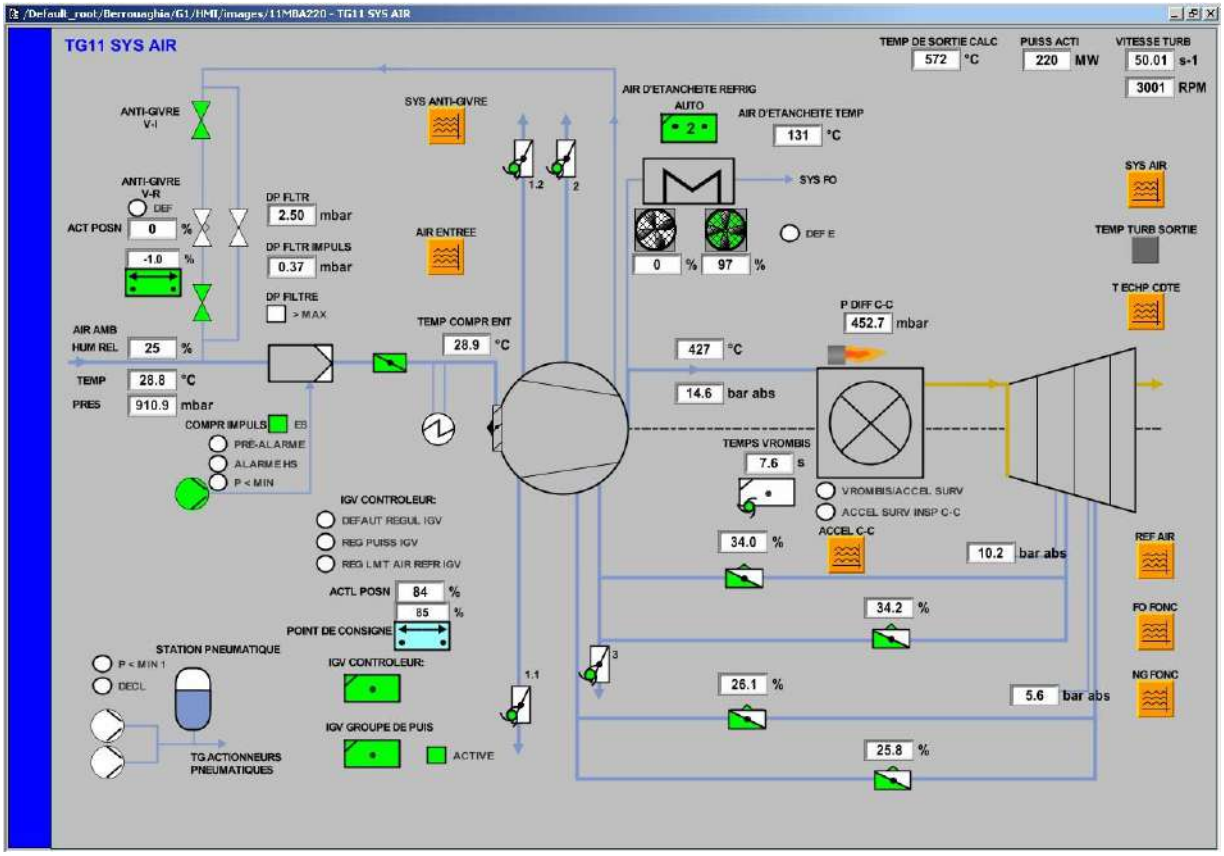


Figure I.1 : Tableau de commande de la salle de contrôle [1]

Les caractéristiques générales de l'unité

- Type de centrale :Cycle Simple.
- Puissance : 2 x 245MW (Aux conditions site).
- Consommation spécifique au PCS**: 2,45** th / KWh (Selon le contrat ECA).
- Combustible :Gaz Naturel.
- Combustible de secours **:** Gas-oil.
- Evacuation d'énergie **:** Deux transformateurs 16.5/225 KV.
- La centrale est constituée de :
  - ✓ **Deux unités de production composées chacune de :**
    - Turbine à gaz SIEMENS du type :V94.3A (4) .
    - Générateur.
    - Transformateur principal.
    - Transformateur des auxiliaires.
  - ✓ Un Bloc administratif et salle de contrôle :
  - ✓ Magasin pièces légères.
  - ✓ Magasin pièces lourdes.

- ✓ Atelier de maintenance.
- ✓ Un Poste Gaz.
- ✓ Une Station de pompage du gas-oil.
- ✓ Une station d'air comprimé.
- ✓ Une station anti-incendie.
- ✓ Une Station de traitement de l'eau.
- ✓ Un laboratoire.

Description de la centrale

Unités de production d'électricité

La Centrale électrique à cycle simple à turbines à gaz de 2x271 MW (ISO) est dotée de :

- ✓ Deux (02) Turbine à gaz SIEMENS du type V94.3A(2) (TG11 et TG12).
- ✓ Deux Alternateurs SIEMENS (WESTING HOUSE-USA) du type sGen5-1000Ad'une puissance de 308 MVA et d'une tension de 16.5KV par groupe
- ✓ Des systèmes auxiliaires dimensionnés de manière à permettre une marche en service de base continu à savoir :
  - Système de filtration de type autonettoyant de l'air d'admission à la turbine.
  - Système auto réfrigérant huile/air de l'huile de la turbine.
  - Système air comprimé basse pression avec compresseur, sécheur d'air et réservoir pour générer l'air nécessaire au système auto nettoyant.
  - Système de ventilation du package turbine.
  - Skid final gaz de séparation / filtration.
  - Système de l'huile de graissage, de soulèvement et de virage.
  - Système de l'huile de commande hydraulique.
  - Système hydraulique d'optimisation des jeux (HCO).
  - Système de contrôle des vibrations et de la température des paliers.
  - Système d'alimentation sans coupure 230 V ca pour l'instrumentation.
  - Bâtiment de contrôle de puissance (PCC) avec :
    - Système de démarrage statique (SFC) avec auxiliaires.
    - Système d'excitation statique (SSE) de l'alternateur.
- ✓ Système d'échappement.
- ✓ Système de détection et d'extinction automatique au dioxyde de carbone
- ✓ Pour le compartiment et les auxiliaires de la turbine et de l'alternateur.

- Système de contrôle des émissions (CO, O2, NOX, SO2)
- Disjoncteur de groupe.
- Jeu de barres sous gaines coaxiales.
- Transformateur auxiliaire de soutirage.
- Transformateur de puissance 16.5/225 KV et ses auxiliaires.
- Equipements de détection et de protection électrique.
- Protection alternateur.

Salle des machines

La salle des machines est équipée avec les services :

1. Mécaniques : Eau et Air comprimé de service
2. Électrique : Éclairage
3. Moyens de manutention : Pont roulant
4. Système de Filtration et de Ventilation
5. Système d'extraction

Système d'évacuation de l'énergie

L'évacuation de l'énergie produite par chaque unité de production se fait aux bornes hautes tension de chaque transformateur principal relié directement à un poste 220 KV de GRTE via un système de sectionneurs, de câbles sous terrain et de disjoncteurs220KV.

Système de Contrôle Commande SPPA T3000

La centrale est conçue pour fonctionner de façon automatique, est équipé du système de contrôle commande distribué Télé perm XP plus (SPPA T3000), permettant l'automatisation générale à savoir :

- Contrôle
- Supervision
- Conduite
- Surveillance

- Archivage du processus

Et assurant les fonctions de sécurité (protections) et les fonctions de régulation de la turbine (vitesse & puissance).

Système d'Alimentation en Combustibles

L'alimentation des turbines en combustible principal (gaz naturel) et de secours (gasoil) est assurée par deux systèmes

Système Gaz Naturel

Le poste gaz, alimenté par le gazoduc en provenance de **Berrouaghia** sous une pression absolue allant de 33 à 71 bars, conditionne le gaz pour atteindre la pression de 28bars requise par la turbine.

Système Gasoil

Deux réservoirs, chacun d'une capacité de 10 000 mètres cubes, assure le maintien en service de la centrale avec une autonomie de 06 jours, en cas d'une interruption dans l'alimentation en gaz naturel.

Ouvrages Annexes communs pour les deux unités

La centrale requiert les ouvrages annexes d'utilités dont notamment :

- Les systèmes auxiliaires de la centrale tels que :
  - Poste d'alimentation en gaz naturel
  - Station d'alimentation en gasoil
  - Système d'alimentation électrique principale (MT&BT) et de secours
  - Système de détection et de protection incendie
  - Système d'air comprimé de service et instrumentation
  - Groupes électrogènes
  - Circuit de terre général
  - Système : Eau de service, Eau potable et Eau déminéralisée
  - Système gaz d'allumage de propane
  - Compteurs d'électricité aux bornes de l'alternateur, auxiliaires et usine.
  - Système de neutralisation des rejets
  - Bâtiment administratif comprenant : les bureaux, la salle de contrôle, le local électrique, l'infirmerie et la cantine, équipés d'un système de ventilation et de conditionnement de l'air

- Deux (02) magasins, l'un pour les pièces lourdes et l'autre pour les pièces légères équipés d'un système de ventilation et de conditionnement de l'air et de moyens de Manutention.
- Atelier d'entretien équipé de machines à outils, d'un système de ventilation et de conditionnement de l'air et des moyens de manutention (pont roulant, Clark…etc.)
- Poste de garde.
- Aménagement du site (Voies d'accès, clôtures, système anti-intrusion, éclairage et drainage). [1]

I 3 Introduction

La maintenance doit être considérée comme une fonction de production à part entière.

Pour produire, il faut satisfaire à trois impératifs :

- Approvisionner en matière première ;
- Transformer celle-ci en produit finis ;
- Assure la qualité et maintenir l'outil de production en état de marche.

Dans ce chapitre on va étudier une généralité de la maintenance et leurs différents types appliqués sur les turbines à gaz.

Définition de La maintenance

Selon la norme AFNOR X 60-000 (mai 2002)

La maintenance est l'ensemble de toutes les actions techniques, administratives et de management durant le cycle de vie d'un bien, destinées à le maintenir ou à le rétablir dans un état dans lequel il peut accomplir la fonction requise. [2]

Commentaires

Notons que les actions de maintenance ne sont pas seulement techniques : l'action technique est encadrée, pilotée par des actions de gestion (économie et administration) et de management, ce qui implique une large polyvalence.

Le terme « maintenir » contient la notion de surveillance et de prévention sur un bien en fonctionnement normal. Le terme « rétablir » contient la notion de correction (remise à niveau) après perte de fonction.

La « sûreté de fonctionnement » est définie dans la norme NF EN 60300-1 comme étant le terme collectif qui décrit la disponibilité d'un produit simple ou complexe

Les facteurs qui influencent la disponibilité d'un produit sont les caractéristiques de conception de la fiabilité et de la maintenabilité , ainsi que la logistique de maintenance. Nous la noterons Sdf.

But de la maintenance

Parmi les buts essentiels de la maintenance on cite :

- Prolonger la durée de vie du matériel ;
- Diminuer le temps d'arrêt en cas de panne ;
- Faciliter la gestion des stocks ;
- Amélioration de production en optimisant les coûts engendrés les différentes opérations de la maintenance.

Assurer le bon fonctionnement du matériel. [5]

Les phénomènes précurseurs de pannes

La connaissance intime des machines et équipements permet à la longue de pouvoir prédire les pannes en observant, écoutant, sentant un certain nombre de signes, généralement précurseurs de panne. Il s'agit de :

- Usure, visible notamment par des limailles, débris, des poussières, du jeu... ;
- Oxydation d'organes, de pièces ou des traces d'oxydation ;
- Connexions électriques, mécaniques ou hydrauliques relâchées, défaillantes ;
- Vibrations anormales, inhabituelles ;
- Fuites de fluides, d'air comprimé... ;
- Echauffements, odeurs ou couleurs particulières et inhabituelles ;
- Résultats dégradés ; dérivés des spécifications des pièces, besoins de réglages fréquents ;
- Etc.… ;

Ces signes, le plus souvent discrets, ne sont perceptibles qu'à ceux qui sont proches des machines et observent avec suffisamment d'habitude et de "compétence" ; les opérateurs qui les utilisent au quotidien ou des agents de maintenance très présents sur le terrain.

Les différents types de maintenance

On distingue dans le milieu industriel deux types de maintenance :

- La maintenance corrective (palliative et curative).
- La maintenance préventive (systématique et conditionnelle).

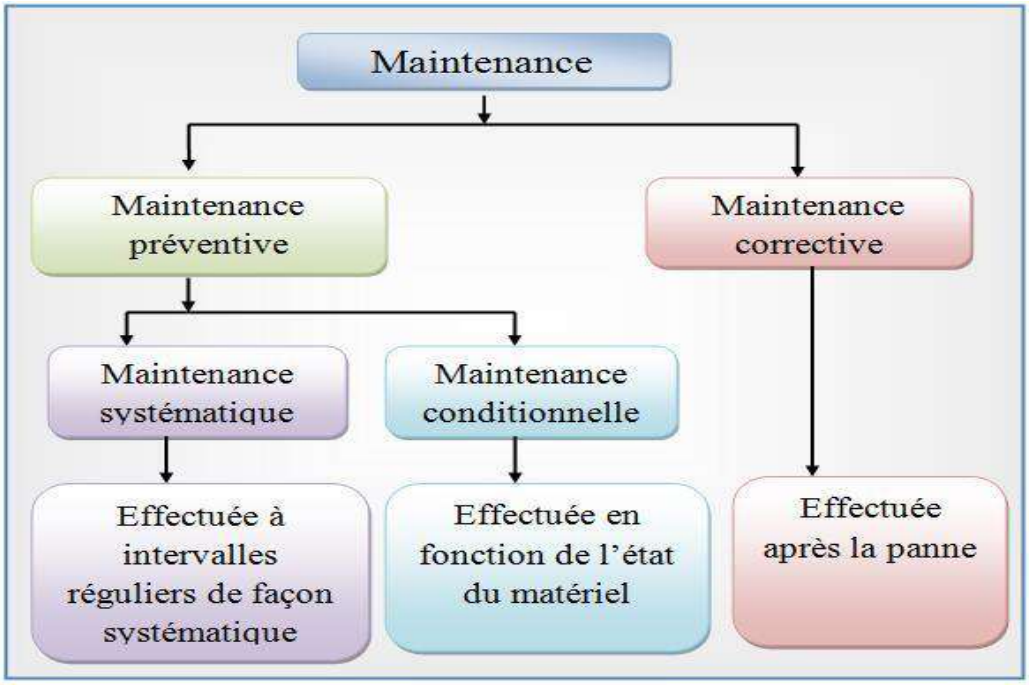


Figure I. 2: Les différents types de maintenance

- **La maintenance préventive**

Elle vise à diminuer la probabilité de défaillance d'un système, pour cela elle s'appuie sur la maintenance systématique et la maintenance conditionnelle.

- **La maintenance corrective**

Elle s'applique après la panne et consiste au dépannage ou à la réparation.

Maintenance corrective (curative)

- **Selon AFNOR**

« Opération de maintenance effectuée après détection d'une défaillance ».

Elle consiste à remettre l'équipement en état de marche lors d'une panne.

La maintenance corrective débouche sur deux types d'intervention :

- **Les dépannages**

Ils Consistent à la remise en marche provisoire de l'équipement. Ils caractérisent la maintenance palliative.

- **Les réparations**

Dans ce cas la maintenance sera une intervention définitive et limitée, elles caractérisent la maintenance curative. Donc la maintenance corrective assure :

- Une amélioration éventuelle (correction), visant à éviter la répétition de panne ou à minimiser ses effets sur le système (surveillance par analyse de vibrations).
- Une mise en mémoire de l'intervention permettra une amélioration ultérieure.

Avantage et inconvénients de la maintenance corrective

- **Avantage**
  - Un budget d'entretien moyen ;
  - Coût direct minimisé ;
  - Frais de gestion de stocks non important.
- **Inconvénient**
  - Temps d'arrêt et d'intervention trop élevé ;
  - Coût de maintenance élevée ;
  - Achats des pièces de rechange à un prix élevé. [3]

Maintenance préventive

La maintenance préventive permet de remplacer des pièces qui se dégradent par suite d'usure, de fatigue, etc., avant qu'elles ne provoquent une défaillance. Ces pièces présentent un taux de défaillance croissant avec l'âge. La détermination de la durée entre remplacements nécessite la connaissance de la distribution des durées de vie. Elle fait appel à la théorie du renouvellement

But de la maintenance préventive

- Augmenter la durée de vie du matériel ;
- Diminuer la probabilité des défaillances ;
- Diminuer les temps d'arrêt en cas de panne ;
- Faciliter la gestion des stocks (consommations prévues) ;
- Réduire et régulariser la charge de travail ;
- Assurer la sécurité (moins d'improvisations dangereuses).

Les différentes formes de maintenance préventive

La maintenance préventive se divise en deux formes essentielles.

- **Maintenance préventive systématique**

On fixe les règles strictes pour déterminer les dates de maintenance. Suivant l'importance d'un équipement dans un système, celle-ci peut s'effectuer :

- Pour un âge fixé de l'équipement ; il faut alors disposer d'un moyen pour connaître l'âge de l'équipement durant la vie du système ;

- Pour un âge fixé du système ; c'est le cas des révisions des automobiles préconisées par les constructeurs ;
- À des dates fixes.

Les deux premières sont plus efficaces, mais difficiles à gérer. La troisième se gère bien, mais elle est plus coûteuse en temps et en pièces de rechange. [5]

Maintenance préventive conditionnelle

Consiste à vérifier périodiquement l'état des pièces qui se dégradent et à n'intervenir que si l'état de dégradation est suffisamment avancé pour compromettre la fiabilité du système. Elle nécessite des moyens de mesure ou de test permettant d'apprécier l'état de dégradation.

L'évolution des capteurs de mesure (par exemple, les capteurs de vibrations) et des dispositifs d'analyse automatique (par exemple, l'analyse des huiles de graissage) associés aux télémesures et aux ordinateurs rendent cette politique plus accessible. Elle est très efficace, mais la gestion des ressources de maintenance est plus difficile et nécessite souvent le recours à l'ordinateur.

Dans la pratique, on est amené, pour réduire les coûts de maintenance et assurer la disponibilité des systèmes, à combiner ces différentes politiques dans le plan de maintenance, par exemple à prévoir une partie des actions de maintenance à dates fixes et à en profiter pour effectuer les vérifications sur les pièces soumises à la maintenance conditionnelle [2]

Avantages et inconvénients de la maintenance préventive

Avantage

- Bonne préparation de l'intervention ;
- Durée de mobilisation du matériel minimisée ;
- Facilité de programmation et de planification des travaux.

Inconvénients

- Frais de gestion des stocks importants ;
- Frais dus à la planification ;
- Charges supplémentaires dues formation du personnel.

Choix d'une méthode de maintenance

A chaque étape de vie du matériel plusieurs choix s'imposent : au niveau de la conception pour le niveau de fiabilité et pendant l'exploitation pour le choix de type de maintenance à lui appliquer.

Pour les choix de type de maintenance, deux critères s'imposent :

Critère de sécurité

Ce critère est prédéterminant dans les secteurs stratégiques et à haut risque tels que : l'aviation, le nucléaire, l'industrie du gaz.

- **Critère économique**

C'est un critère qui tient compte des différents coûts reliés entre eux tels que :

- Les coûts de pression ;
- Les coûts de perte de production ;
- Les charges. [3]

La maintenance appliquée sur les turbines à gaz V94.3A :

Généralités

Les turbines à gaz sont conçues pour permettre une maintenance facile, sur place seulement dans des cas rares. Il est souvent nécessaire d'envoyer les pièces au constructeur pour leur réparation / remise en état.

Les caractéristiques suivantes permettent la maintenance sur place :

- La plupart des enveloppes sont ouvertes le long de leurs lignes médianes afin de pouvoir accéder aux pièces intérieures ;
- Les pièces du stator peuvent être enlevées avec l'enveloppe supérieure ouverte ;
- Les aubes de la turbine sont poussées de manière à pouvoir les remplacer dans le rotor sans besoin d'équilibrage final ;
- Des chemises de combustion, brûleur et d'autres éléments de la chambre de combustion peuvent être démontés et remontés sans avoir démonté les enveloppes de combustion ;
- Possibilité d'effectuer des inspections à l'intérieur de la turbine sans lever les enveloppes extérieures en utilisant le baroscope.

Un programme de maintenance préventive est une nécessité primaire afin d'assurer la gestion correcte des installations conduites par des turbines à gaz où les arrêts forcés de l'installation doivent être réduits au minimum. Et pour cela nous pouvons classer les inspections de la turbine en deux types :

La maintenance conditionnelle (inspection en fonctionnement) :

Celle-ci consiste en la surveillance continue et générale de l'unité et des auxiliaires avec la turbine en marche.

Il est conseillé d'enregistrer les paramètres principaux pendant les premiers démarrages et la marche de la turbine : en effet, cette opération sert à avoir des valeurs de référence sur la consommation, les performances, etc.…, quand la machine est neuve. Ceci permettra une meilleure évaluation de tout changement de fonctionnement de la turbine à gaz au cours de sa vie et aidera à découvrir les causes des défauts possibles et à choisir la solution appropriée.

Les données de fonctionnement doivent être acquises dans les phases transitoires (démarrage, arrêt) et en condition de régime permanant.

Les paramètres principaux de l'inspection en marche sont :

- Vitesse de la roue HP et BP ;
- Charge ;
- Nombre de démarrage ;
- Nombre d'heures de fonctionnement ;
- Pression et température aux différents points de la turbine ;

Température et pression ambiante ;

- Pression d'huile et du combustible ainsi que les différents filtres ;
- Vibrations des rotors de la turbine HP et BP.

Tableau I.1 : Modes de contrôle des paramètres importants.

Le tableau suivant montre les paramètres importants à contrôler ainsi que leurs modes de contrôle :

	Mode de contrôle			
Les paramètres	1	E	S	P
Vitesse de rotation de la turbine HP et BP	+			
Température à l'échappement	+		+	+
Température à l'entrée de la turbine	+	+	+	+
Vibration au niveau des paliers	+	+	+	+
Risque de pompage	+		+	+
ΔP filtre à air			+	
Température sortie du compresseur	+		+	
Contrôle présence de la flamme			+	+
Haute température des paliers	+		+	+
Température d'huile de graissage	+		+	+

I : indication. E : enregistrement. S : signal d'alarme. P : protection.

La maintenance systématique (les inspections à l'arrêt) :

Il s'agit principalement de l'entretien relatif aux organes de la turbine. Les parties de la turbine demandant un entretien plus fréquent sont celle qui viennent en contact avec les gaz chauds telle que : les tubes de flamme, les conduites de passage du gaz…etc.

On distingue trois types d'inspection à l'arrêt qui sont :

- Inspections du système de combustion : chaque 8000 h de fonctionnement.
- Inspections du parcours des gaz chauds : chaque 16000 h de fonctionnement.
- Inspections majeur (révision) :c'est une révision générale qui est faite chaque 48000 h de fonctionnement.

Inspections du système de combustion (combustion inspection CI) :

Chaque8000 h de fonctionnement, Pour effectuer ce type d'inspection, il faut déposer le corps **(HP)** de la turbine pour pouvoir contrôler les pièces concernées par la combustion et qui sont :

- Brûleur ;
- Bougie d'allumage et détecteur flamme ;
- Chemise et chapeau ;
- Pièce de transition de gaz.

Ces pièces doivent faire l'objet d'un contrôle très attentif afin d'éviter que la turbine ne fonctionne avec un système de combustion détérioré ; en effet, cela risquerait d'abréger la durée de vie des pièces an aval (aubes mobiles et aubes fixes, ou directrices).

Pendant cette inspection – la pièce de transition étant démonté – on procède à un examen visuel du bord d'attaque des directrices et des aubes mobiles et on note toute usure et toute détérioration observée. Les résultats de cette inspection seront utiles lors de l'établissement du programme d'inspection du parcours des gaz chauds.

La chemise, la pièce de transition de gaz et de brûleur doivent être remplacés par leurs équivalents neufs ou révisés. Par la suite, les pièces démontées pour être contrôlées et réparées, si cela est avantageux et/ou nécessaire. Cette procédure d'inspection permet de réduire au maximum la durée des arrêts. L'inspection des pièces doit être confiée au personnel spécialisé qui pourra, le cas échéant, effectuer les réparations nécessaires.

Inspections du parcours des gaz chauds (hot gaz parthe inspection HPGI) :

Chaque 16000 h de fonctionnement le but de cette inspection est d'examiné les pièces de la turbine les plus soumises aux contraintes par les températures élevées du système de gaz de combustion, cette visite comprend essentiellement :

- Directrices premier et deuxième étage ;

- Aubes du rotor ;
- Anneaux de protection extérieure.

Les intervalles d'inspection des veines du gaz chaud sont multiples et au même temps. On procède à l'inspection des pièces de combustion.

Comme pour l'inspection précédente il est conseillé de disposer de pièces de rechange au cas où ceux-ci devraient être remplacés une fois terminée l'examen visuel.

Inspection majeur (major inspection MI) :

C'est une révision générale qui est faite chaque 48000 h de fonctionnement, Le but d'une révision générale est d'examiner toutes les pièces intérieures du rotor et du stator, de l'admission de la chambre des filtres jusqu'au système d'échappement, y compris le réducteur de charge et la machine conduite.

Une inspection générale doit être programmée et organisée selon les recommandations du manuel de maintenance fourni avec la turbine, et avec les résultats des inspections de la combustion et de la veine des gaz chauds, effectuées précédemment.

Afin d'effectuer une révision générale, tous les carters supérieurs doivent être enlevés, de manière à pouvoir enlever les rotors. Avant de procéder au démontage, des vérins doivent être placés sous les demi-carters inférieurs, afin de faciliter le glissement de la partie supérieure vers le haut au moment de l'ouverture et éviter ainsi des efforts de flexion sur les parties restantes des carters turbinent.

Note : Avant de faire un contrôle général s'assurer que le courant électrique allant à la turbine à gaz à bien été coupé, que le système CO_2 a été désactivé que le système d'alimentation du gaz combustible a été obturé et/ou que le système de combustible liquide à bien été vidangé et désactivé. [2]

Procédure d'une révision générale :

❖ **Préparation :**

- Préparation du kit des pièces de rechange :
  - Joints d'étanchéités ;
  - Boulons, clavettes, tubes d'interconnections…etc.
- Préparation de l'outillage ;
- Préparation du dossier de la machine (documentation) ;
- Isolement de la machine :
  - Isoler électriquement la machine ;
  - Fermer les conduites de gaz ;

  Isoler la machine réceptrice (les compresseurs centrifuges).

❖ **Démontage :**

- Démonter les accouplements de charge et des auxiliaires ;
- Relever les alignements ;
- Démonter les bougies d'allumage, détecteurs de flamme, les captures de vibration, de vitesse et des thermocouples…etc. ;
- Relever les jeux sur le compresseur et la turbine ;
- Contrôler les jeux d'assemblages (des coussinets et du rotor et la byrinthe d'étanchéité) ;
- Démonter les chambres de combustion, les tubes à flamme, tubes d'interconnections et pièces de transition ;
- Démonter les carters supérieurs ainsi que la partie supérieure de directrice premier et deuxième étage ;
- On inspecte l'état de toutes les pièces démontées en particulier celles soumises aux contraintes thermiques ou mécaniques telles que : pièces de transition, tubes à flamme, aubes fixes et mobiles diaphragmes…etc.

Toute présence de fissures doit être relevée, on constatera toutes usures aux points de surchauffes.

- **Paliers :** prêter attention aux rayures profondes et au relâchement du métal anti- friction.
- **Aubes :** inspecter leur freinage et déceler toutes fissures ou changements de l'état de matériaux des aubes.
- **Rotors :** contrôler les états de surface aux niveaux des paliers, s'assurer du non présence de point de frottement dû au mauvais centrage ou mauvais alignement.
- **Boîtier d'engrenage :** on inspecte l'état de sécurité de survitesse dans le boîtier d'engrenages.

Réparation des pièces endommagées et préparation pour le remontage :

On procédera à la réparation de toutes les pièces endommagées ou à un éventuel changement, on soufflera avec l'air comprimé le carter inférieur puis on procèdera au remontage.

❖ **Remontage**

C'est l'opération inverse de démontage :

- On posera les demi coussinets inférieurs des paliers puis les rotors ; GG et BP, on relèvera ensuite les jeux ;
- Carter BP et HP supérieur ;

- Enveloppe de la veine des gaz chauds ;
- Diffuseur d'échappement ;
- Caisson et gaine d'admission ;
- Pièces de transition ;
- Carter chambres de combustion, puis tubes à flamme et tubes d'interconnections et chambres de combustion ;
- Bougies d'allumage, injecteurs et tuyauterie du gaz combustible ;
- Tuyauterie d'air de refroidissement…etc.

Inspection des systèmes de commande et de protection

Avant de démarrer la turbine les instrumentistes font un contrôle de tous les systèmes de commande et de protection comme par exemple :

- La chaîne de vibrations ;
- L'état des thermocouples ;
- Fonctionnement des servo-vannes ;
- Des manomètres ;
- Les moteurs électriques des auxiliaires ;
- Les systèmes de survitesse et de déclenchement ;
- Ainsi que toutes les boucles des systèmes de régulation (capteurs, transmetteurs, régulateurs, amplificateurs, organes d'exécution…etc.).

Teste de démarrage et essais

On contrôler a toutes les étapes de démarrage et on décèlera tous les bruits anormaux pendant la phase de ventilation, avant l'allumage, relever tous les paramètres à 80% et à 100% de la vitesse nominale. La turbine est réceptionnée après 72 h de marche. [7]

La Maintenance d'amélioration :

(Passage à la nouvelle technologie pour la turbine à gaz V94.3A) :

L'amélioration des biens des équipements consiste à procéder à des modifications, des changements, des transformations sur un matériel correspondant à la maintenance d'amélioration.

Dans ce domaine beaucoup de choses restent à faire c'est à dire qu'on peut toujours améliorer. C'est un état d'esprit qui nécessite une attitude créative.

Cependant pour toute maintenance d'amélioration, une étude économique sérieuse s'impose pour assurer la rentabilité du projet.

Actuellement les nouvelles technologies sont appliquées dans plusieurs domaines de l'industrie et en particulier dans l'industrie des hydrocarbures et plus précisément dans la maintenance de machines tournantes (turbines, compresseurs, pompes …etc.), afin de réaliser des objectifs bien déterminés.

Parmi les techniques des technologies nouvelles appliquées dans les installations des turbines à gaz, on trouve celles qui ont pour but l'extension des cycles ou intervalles de maintenance.

Cette technologie consiste à changer quelques pièces essentielles de la partie des gaz chauds de la turbine à gaz, par d'autres pièces, dont leur matériau est amélioré ou ils ont subi un revêtement ou traitement thermique afin de résister aux hautes températures pour une longue durée. [3]

Exemples des pièces changées

- Les tubes à flamme ;
- Les pièces de transition ;
- Les directrices des gaz chauds ;
- Les tubes d'interconnexion ;
- Aubes de la roue premier étage.

Les cycles des révisions

Les inspections	Ancient cycle de maintenance	Nouveau cycle de maintenance
Inspection de combustion (CI)	8000 h	12000 h
Inspection du parcours des gaz chauds (HGPI)	16000 h	Remplacée par une 2ème CI 24000 h
Inspection de combustion (CI)	24000 h	36000 h
Majeur inspection (MI)	32000 h	48000 h

Les durées des interventions

- CI : 10 jours ;
- HGPI : 20jours ;
- MI : 35 jours.

Les facteurs influençant la durée de vie des pièces

Examinons la durée de vie des différentes pièces et les facteurs susceptibles de les influencer.

Il faut distinguer principalement

- Influence du type de combustible utilisé ;
- Nombre de démarrages ;
- Influence exercée par la charge.

❖ **Type de combustible**

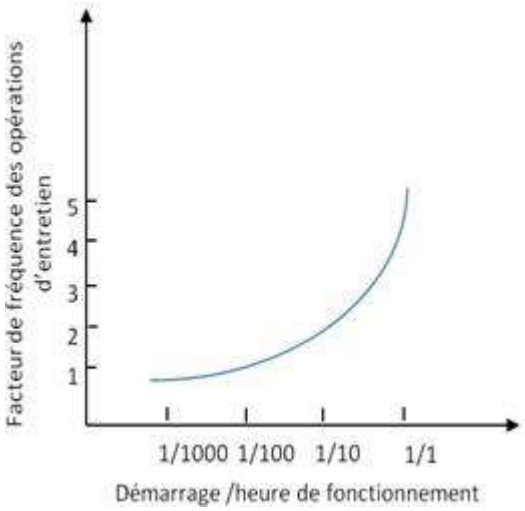
Les effets du type de combustible sur la durée de vie des pièces des turbines sont associés à la quantité d'énergie rayonnée pendant la combustion et à la qualité de l'atomisation des combustibles liquides. Avec le gaz naturel, l'atomisation est inutile et le niveau d'énergie rayonnée est bas. Par conséquent, il permet d'obtenir une durée de vie des pièces plus longue qu'avec les combustibles liquides. Le gaz naturel est traditionnellement utilisé comme combustible dans les turbines pour application industrielles.

❖ **Nombre de démarrages**

A chaque démarrage de la turbine, les pièces du parcours de gaz chaud sont soumises à un cycle thermique considérable. Des systèmes de contrôle ont été donc élaborés pour limiter cet effet. Dans la pratique, lorsque les démarrages et les arrêts d'une turbine sont fréquents, la durée de vie des pièces du parcours des gaz chauds est plus courte que celle des pièces d'une autre turbine fonctionnant en service (la figure I.3).

❖ **Pourcentage de charge**

La variation de la charge de la turbine, jusqu'à 100 % de la puissance, n'influe que modérément sur la vie des pièces, à condition que cette variation ne soit pas fréquemment et brusque (voir la figure I.4). [4]



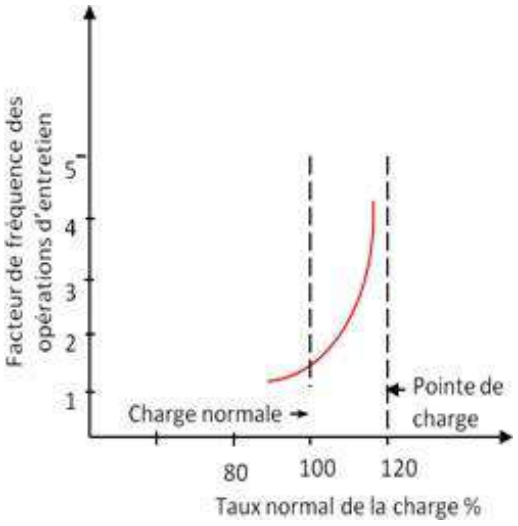


Figure I.3: Influence des démarrages. **Figure I.4: Influence de la charge.**

Conclusion :

La maintenance pose à la fois un problème d'économie et de performance. En effet, certaines machines ne peuvent s'arrêter de fonctionner sous peine d'engendrer d'énormes conséquences économiques, sociales et de sécurité. Un défaut technique peut aussi nuire à la qualité d'un produit ainsi qu'à l'image de l'entreprise. Dans ce cas, la maintenance corrective est insuffisante et la maintenance préventive devient indispensable.

Cependant, la maintenance systématique est coûteuse car l'usure des pièces dépend beaucoup des conditions de fonctionnement. Elle risque donc d'intervenir trop tôt ou trop tard.

La maintenance conditionnelle, qui s'appuie sur l'analyse de l'état d'une machine, prend alors tout son sens, car elle permet de prendre les décisions d'intervention en connaissance de cause.

CHAPITRE 02 :

Les déférentes techniques de détection et de diagnostic des défauts

Introduction :

Le monde de l'industrie est de plus en plus confronté à la sûreté de fonctionnement de ces dispositifs de production causés par des multiples défaillances. Cette demande en termes de sûreté est motivée par les impératifs de production et se retrouve actuellement au niveau des cahiers des charges imposés par les industriels et assureurs à leurs fournisseurs. Ce n'est plus seulement le produit qui est vendu mais l'assurance d'un taux de disponibilité garanti.

Ces contraintes imposées par le marché nécessitent un changement radical dans les politiques de conception et de maintenance. La maintenance, qui était principalement corrective dans les applications standard et préventive dans les applications critiques, se doit d'être prédictive afin d'optimiser les coûts d'immobilisation et de changement de pièces.

La maintenance prédictive (aussi appelée conditionnelle ou prévisionnelle) consiste à estimer et suivre l'état de marche (et son évolution) du matériel en fonctionnement, de manière à détecter des anomalies et programmer à l'avance les interventions de maintenance

Dans ce type de maintenance on utilise différentes techniques appelées techniques de surveillance et de détection des défaillances toutes ces technologies sont non destructives et non intrusives, et elles sont basées sur la mesure de paramètres physiques, tels que :

- La mesure de vibrations.
- L'analyse thermique, la thermographie infrarouge.
- Les méthodes du CND : Le ressuage, la magnétoscopie, la radiographie, les Courants de Foucault…
- L'analyse des mesures ultrasonores, acoustiques.
- L'analyse d'huile, des lubrifiants…

Techniques d'analyse :

La surveillance d'un équipement de machine est assurée en relevant périodiquement un indicateur d'état de dégradation ou de performance, il existe différentes techniques d'analyse (figure II.1) tels que :

1.- la mesure de vibrations.

2.- la thermographie infrarouge.

3.- l'analyse des mesures ultrasonores.

4.- l'analyse d'huile.

5.- Analyse de la signature du courant (MCSA).

Le choix de l'indicateur dépend du type de machine à étudier et du type de défaillance que l'on souhaite détecter. Pour les machines tournantes, un indicateur de type vibratoire permet de détecter la plupart des défauts, on établit une courbe d'évolution de l'indicateur au cours du temps.

Sur cette figure, on définit différents seuils correspondant à un niveau d'alerte, à une alarme, à un niveau de défaillance, ces niveaux sont établis soit par expérience soit en appliquant une norme pour les roulements, on utilise des abaques de sévérité vibratoire pour définir les différents seuils. [6]

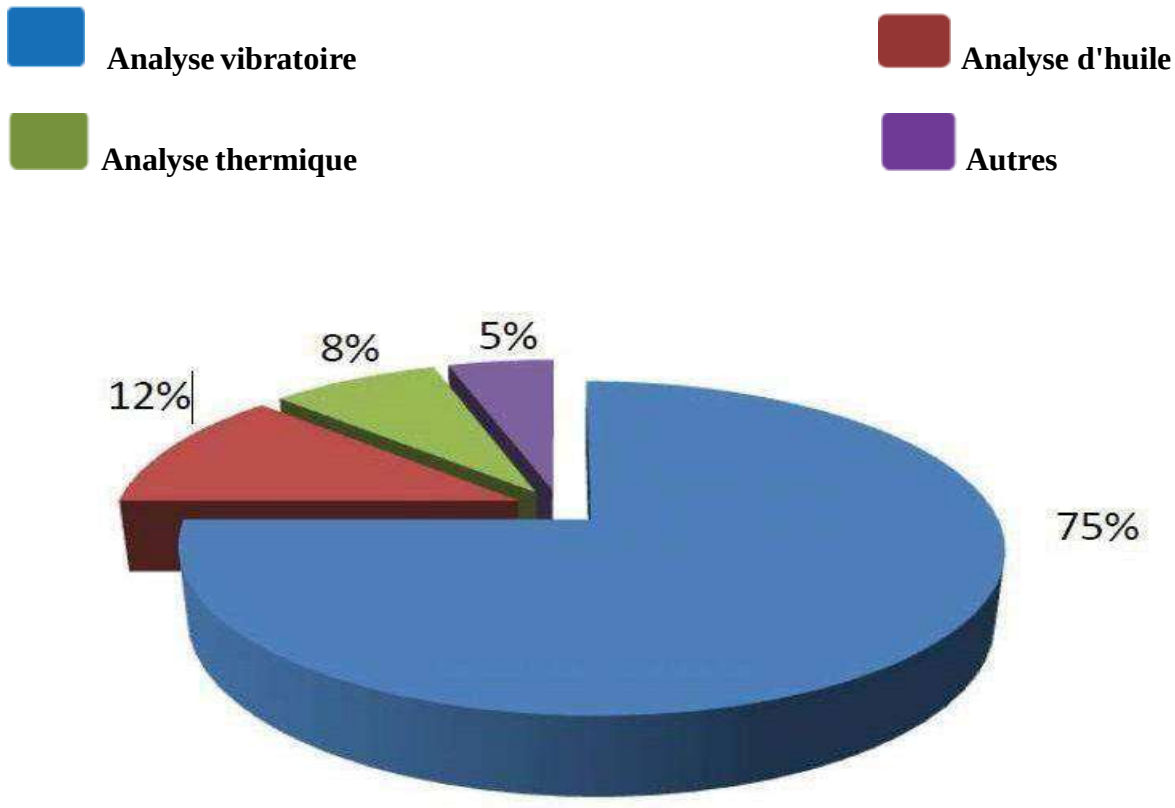


Figure II.1 Différentes méthodes d'analyse.

L’analyse vibratoire :



L’analyse vibratoire est la plus connue et la plus 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.

Objectifs d’analyse vibratoire :

L‘analyse vibratoire poursuit deux objectifs :

- la détection des défauts.
- L‘analyse détaillée des défauts.

On utilise à cet effet des paramètres calculés :

- soit dans le domaine temporel,
- Soit dans le domaine fréquentiel,
- soit dans les deux à la fois. [7]

- **Les avantages :**
  - 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**
  - Spectres parfois difficile interpréter.
  - Dans le cas de la surveillance continue, installations relativement coûteuses.

Champs d'application privilégiée :

Détection des défauts de tous les organes cinématiques de la machine (balourd, défauts D'alignement, jeux, etc.) Et de sa structure.

Définition d'une vibration :

Un système mécanique est dit en vibration lorsqu'il est animé d'un mouvement de va- et-vient autour d'une position moyenne, dite position d'équilibre, si l'on observe le mouvement d'une masse suspendue à un ressort on constate qu'il se traduit par :

- Un déplacement : la position de la masse varie de part et d'autre du point d'équilibre.
- Une vitesse de déplacement : variation du déplacement par rapport au temps.
- Une accélération : variation de la vitesse par rapport au temps.

Caractéristiques d'une vibration :

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

A. Fréquence :

La fréquence est le nombre de fois qu'un phénomène se répète en un temps donne.

Lorsque l'unité de temps choisie est la seconde, la fréquence s'exprime en hertz [Hz].

1 hertz = 1cycle/seconde.

Une vibration qui se produira 20 fois par seconde aura donc une fréquence f de 20 Hertz.

B. Amplitude :

On appelle amplitude d'une onde vibratoire la valeur de ses écarts par rapport au point D'équilibre et on peut définir.

L'amplitude maximale par rapport au point d'équilibre appelée amplitude crête ou niveau crête, l'amplitude double, aussi appelée l'amplitude crête a crête ou niveau crête-crête.

C. Nature d'une vibration :

Une machine tournante quelconque en fonctionnement généré des vibrations que l'on peut classer de la façon suivante:

Les vibrations périodiques de type sinusoïdal simple (figure II.2 a) ou sinusoïdal complexe (figure II.2 b) représentatives du fonctionnement normal ou anormal d'un certain nombre d'organes mécaniques (rotation de lignes d'arbres, engrènements,...) ou d'un certain

Nombre d'anomalies (déséquilibre, désalignement, déformations, instabilité de paliers fluides, déversement de bagues sur roulements, ...).

Les vibrations périodiques de type impulsionnel (figure II.2 c) sont appelées ainsi par Référence aux forces qui les génèrent et à leur caractère brutal, bref et périodique. Ces chocs peuvent être produits par des évènements normaux (presses automatiques, broyeurs a marteaux, compresseurs à pistons, ...) ou par des évènements anormaux comme l'écaillage de roulements ou un défaut sur des engrenages, un jeu excessif, ...

Les vibrations aléatoires de type impulsionnel (figure II.2 d) peuvent, par exemple, être générées par un défaut de lubrification sur un roulement, la cavitation d'une pompe. [8]

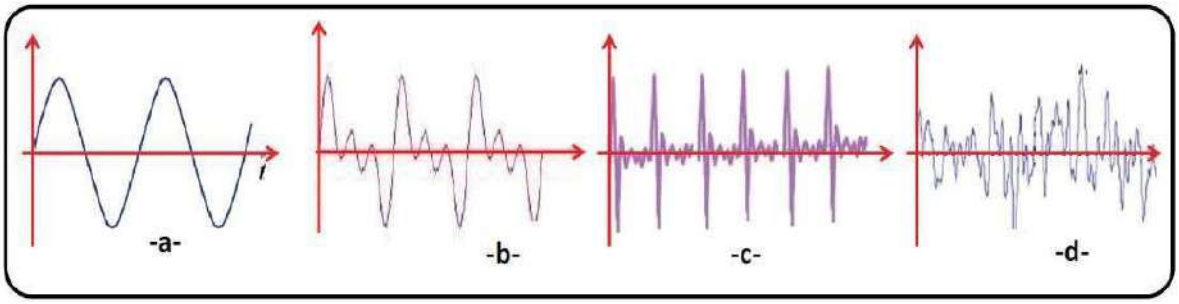


Figure II.2 Nature d'une vibration.

Vibrations des machines tournantes :

En pratique, une bonne conception produira de faibles niveaux vibratoires dans une machine tournante. Cependant, la machine vieillissant, les fondations travaillent, les pièces se déforment et s'usent, et de légers changements dans ses propriétés dynamiques apparaissent.

Les arbres se désalignent, les rotors se déséquilibrent, les courroies se détendent, les jeux augmentent. Tous ces facteurs se traduisent par une augmentation de l'énergie vibratoire qui excite les résonances et ajoute une charge dynamique considérable aux paliers.

Les vibrations recueillies lors des campagnes de mesures sont porteuses d'informations qui caractérisent l'état de fonctionnement de certains composants mécaniques constituant la machine analysée, c'est grâce à l'analyse de ces vibrations qu'il est possible de détecter les composants défectueux et éventuellement de les localiser, lorsqu'un certain seuil (correspondant à un niveau de vibration limite) fixé est atteint, il est possible d'estimer la durée de vie résiduelle du composant dans les conditions de fonctionnement données à partir de la connaissance des lois d'endommagement. [9]

II.3.1 Les capteurs de vibration :

La première étape conduisant à l'obtention d'une lecture de vibration consiste à convertir la vibration mécanique produite par une machine en un signal électrique équivalent.

Cette opération est réalisée au moyen des capteurs de vibrations, on retrouve parmi les capteurs les plus couramment utilises le prosimètre (mesure de déplacement), la vélocimétrie (mesure de vitesse) et l'accéléromètre (mesure d'accélération).

A. Les prosimètres :

Le prosimètre, ou sonde capteur de déplacement sans contact directement proportionnel au déplacement relatif de la vibration d'un arbre ou d'un rotor, il est monte en permanence à l'intérieur du palier [figure 2.3], les mesures en déplacement ne sont pas quantifiables dans toutes les gammes de fréquence, ces mesures seront limitées aux basses fréquences (< 100 Hz).



Figure 2.3 prosimètres et leur driver.

Le capteur de déplacement est utilisé pour toutes les applications ou la surveillance Des jeux entre les arbres et les paliers s'avèrent essentielle.

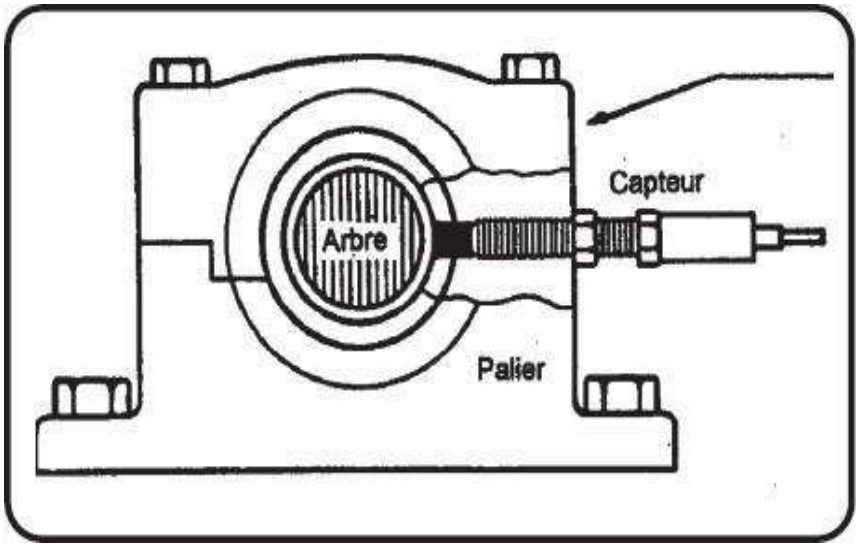


Figure 2.4 prosimètre monte sur un palier.

Les avantages est les inconvénients :

- **Avantages**

- Mesure directement les mouvements d'arbre
- Même capteur pour les butées axiales, les vibrations radiales et la vitesse
- Mesure directement le déplacement
- Pas de pièce mobile

- **Inconvénients**

- Sensible au matériau de l'arbre
- Installation
- Gamme de fréquence limitée. Pas de détection des défauts de roulements
- Restriction de températures

- **Problèmes et défauts détectés :**

- Arbre
- Palier lisse
- Butée
- Généraux : balourd, désalignement, usure, etc.

B. Vélocimétrie :

Les capteurs de vitesse, ou vélocimétrie, sont constitués d'une sonde a contact dite Sonde sismique qui mesure le mouvement absolu de l'organe sur lequel elle est fixée.

1. Aimant permanent
2. Entrefer
3. Boitier
4. Bobine

5&6. Membranes

7. Tige

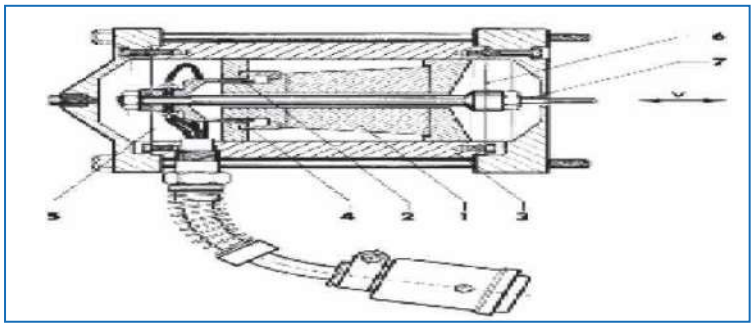


Figure II.5 schéma de principe d'une vélocimétrie.



Figure II.6 capteur de vélocimétrie.

C. Les accéléromètres :

Un accéléromètre piézoélectrique [figure II.7] est compose d'un disque en matériau piézoélectrique (quartz), qui joue le rôle d'un ressort sur lequel repose une masse sismique précontrainte.

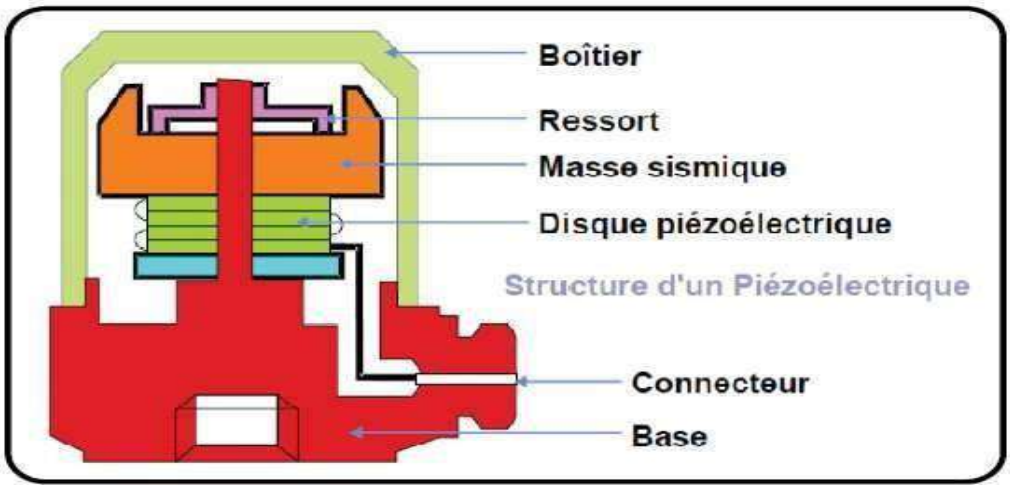


Figure II.7 Schéma de principe d'un accéléromètre.

Les accéléromètres piézoélectriques tendent à devenir les capteurs de vibration absolue les plus utilisés pour la surveillance. Ils possèdent les propriétés suivantes :

- Utilisables sur de très grandes gammes fréquentielles.
- Excellente linéarité sur une très grande gamme dynamique (typiquement 140 dB).
- Le signal d'accélération peut être intègre électroniquement pour donner le Déplacement et la vitesse
- Aucun élément mobile, donc extrêmement durable. [10]

Les avantages est les inconvénients :

- **Les avantages**

- Facile à installer
- Petit, léger
- Supporte les hautes températures
- Pas de pièce mobile

- **Les inconvénients**

- Nécessite une double intégration pour le déplacement
- Nécessite une source extérieure
- Fournit des informations limitées sur la dynamique d'arbre
- Médiocre pour les faibles vitesses.

- **Problèmes et défauts détectés :**

- Roulements.
- Engrenages.
- Machine à pâles.
- Machine électrique.
- Généraux : balourd, désalignement, usure, etc.

Modes de fixation :

Les accéléromètres possèdent une réponse linéaire sur une large gamme de fréquences, mais cette gamme de fréquences peut être considérablement diminuée selon leur mode de

Fixation (figure II.8). Pour que les mesures soient fiables, il faut qu'elles soient faites Dans une gamme de fréquences nettement inférieures à la fréquence de résonance du capteur.

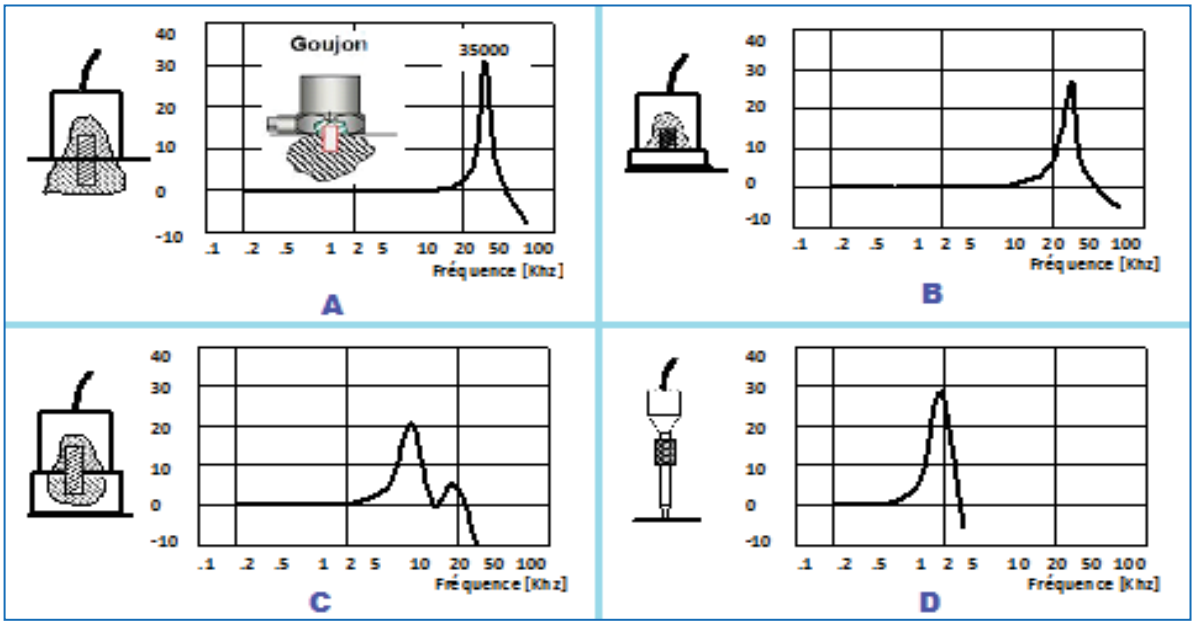


Figure II.8 Réponse d'un accéléromètre en fonction de la fréquence selon le mode de fixation

-**A**- fixation par goujon. -**B**- fixation par embase collée.

-**C**- fixation par aimant. -**D**- fixation par pointe de touche.

La surveillance vibratoire :

Turbines, pompes, moteurs, compresseurs, alternateurs, centrifugeuses, ventilateurs… Toutes ces machines, que l'on dit : tournantes, ont un point commun : elles comprennent des organes en rotation, suivant les cas, il peut s'agir de structures relativement simples, constituées d'un seul arbre en rotation à travers un ou plusieurs roulements, ou de machines plus complexes composées de plusieurs arbres tournant à des vitesses de rotation différentes… Mais ce qui caractérise avant tout ces machines, c'est qu'elles sont composées d'organes fragiles (roulements et engrenages,) soumis à des contraintes mécaniques importantes et à des environnements industriels difficiles. Les sources de défaillance sont donc multiples : l'écaillage d'un roulement, la rupture d'une dent d'un engrenage, le désalignement d'un des axes, etc., lorsque la machine joue un rôle vital dans la production (c'est le cas par exemple d'une presse dans le domaine de l'imprimerie, d'un broyeur de cimenterie ou encore d'une centrifugeuse dans un réacteur chimique…), ces défauts peuvent s'avérer lourds de conséquences. Pour éviter des arrêts de production imprévus et les pertes économiques qui en découlent, il faut surveiller en permanence ces équipements et traquer tous les signes précurseurs de défauts avant qu'il ne soit trop tard. [11]

Tableau II.1 Reconnaissance des principales anomalies.

Type d'anomalie	Vibration		Remarques
	Fréquence	Direction	
Tourbillon d'huile	De 0,42 à 0,48 x f_{rot}	Radiale	Uniquement sur paliers lisses hydrodynamique à grande vitesse
Balourd	1xf_{rot}	Radiale	Amplitude proportionnelle à la vitesse de rotation. Déphasage de 90° sur 2 mesures orthogonales
Défaut de fixation	1, 2, 3, 4 x f_{rot}	Radiale	Aucun déphasage sur 2 mesures orthogonales
Défaut d'alignement	2 x f_{rot}	Axial et radial	Vibration axiale est en général plus important si le défaut d'alignement comporte un écart angulaire
Excitation électrique	1, 2, 3, 4x50Hz	Axial et radial	Vibration disparaît dés coupure de l'alimentation
Vitesse critique de rotation	Fréquence critique de rotor	Radial	Vibration apparaît en régime transitoire et s'atténue en suite
Courroie en mauvais état	1, 2, 3, 4 x f_p	Radial	
Engrenage endommagé	Fréquence d'engrènement $f_e = z \times f_{rot}$	Axial et radial	Bandes latérales autour de la fréquence d'engrènement.
Faux-rond d'un Pignon	fe ± fort pignon	Axial et radial	Bandes latérales autour de la fréquence d'engrènement dues au faux-rond
Excitation hydrodynamique	Fréquence de passage des aubes	Axial et radial	
Détérioration de roulement	Hautes fréquences	Axial et radial	Ondes de choc dues aux écaillages. Aide possible par « détection d'enveloppe ».

L'ANALYSE PAR THERMOGRAPHIE INFRAROUGE :



II.4.1 Introduction :

La thermographie infrarouge «**TIR**» est la science de l'acquisition et de l'analyse d'informations thermiques à l'aide de dispositifs d'imagerie thermique à distance.

La thermographie infrarouge est utilisée dans le domaine de la surveillance conditionnelle de fonctionnement pour optimiser les tâches de maintenance sans interrompre le flux de production et réduire au maximum les coûts d'entretien.

La technologie de détection par thermographie infrarouge est devenue un moyen irremplaçable de garantir la sécurité des conditions de production industrielle. Son utilisation est commune à des secteurs de l'industrie aussi divers que la métallurgie et l'énergie électrique, l'industrie pétrolière, l'automation, l'exploitation du gaznaturel, l'industrie des transports, et à d'autres professions engagées tel que dans la lutte contre le feu et la surveillance des frontières.

Cette méthode de détection ne nécessite aucune coupure de courant, n'exige ni arrêt des machines, ni interruption de la production. Elle permet de diagnostiquer à l'avance les disfonctionnements latents, et ainsi de prévenir l'occurrence des pannes, d'éviter les incidents de production. L'imagerie thermique est une technique innovante d'évaluation« sans contact » à la fois sûre, fiable, et rapide.

Une caméra thermique ne mesure pas des températures mais des flux de rayonnement. Après le réglage de certains paramètres par l'opérateur en thermographie, la caméra calcule alors les températures de la cible.

Elle fournit ensuite à l'utilisateur une cartographie des températures, appelée thermo gramme (figure II.9). [12]

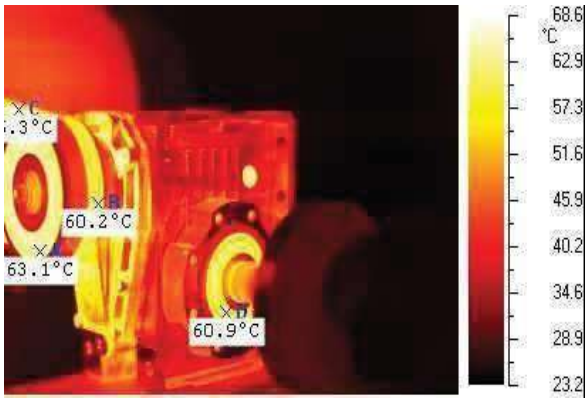


Figure II.9 Thermo gramme: usure de palier

- **II.4.2 Avantages et inconvénients de la thermographie par infrarouge:**
- **Avantage :**
  - **Mesure sans contact:** à distance – l'opérateur n'est pas exposé au danger.
  - **Gain de temps:** ne nécessite pas d'arrêt de production, n'affecte pas l'activité de l'objet contrôlé.
  - **Multidimensionnel:** comparaison possible entre 2 ou plusieurs milliers de points sur la même image.
  - **Aide à la compréhension:** grâce à l'image vous savez à quel endroit porter votre attention.
  - **Mesure en temps réel:** thermo gramme généré à la vitesse de la lumière.
  - **Prédiction des défauts:** les échauffements signes de défaillances annoncées sont visibles au plus tôt.

- **Inconvénients :**
  - Nécessite du matériel spécifique et onéreux
  - Risques d'erreur
  - Nécessite un opérateur compétant et formé. [13]

- **Domaines d'application industrielle :**

Dans le secteur industriel, son but est souvent la maintenance prédictive. Il s'agit de prévoir, lors d'un diagnostic de contrôle, quels pourraient être les problèmes issus des défauts d'équipements invisibles à l'œil nu. Le principe est d'identifier les éléments défectueux des installations électriques, électromécaniques, hydrauliques, frigorifiques…avant que n'apparaissent les pannes, accidents ou incendies.

A. Contrôle des équipements électriques hauts et basse-tension :

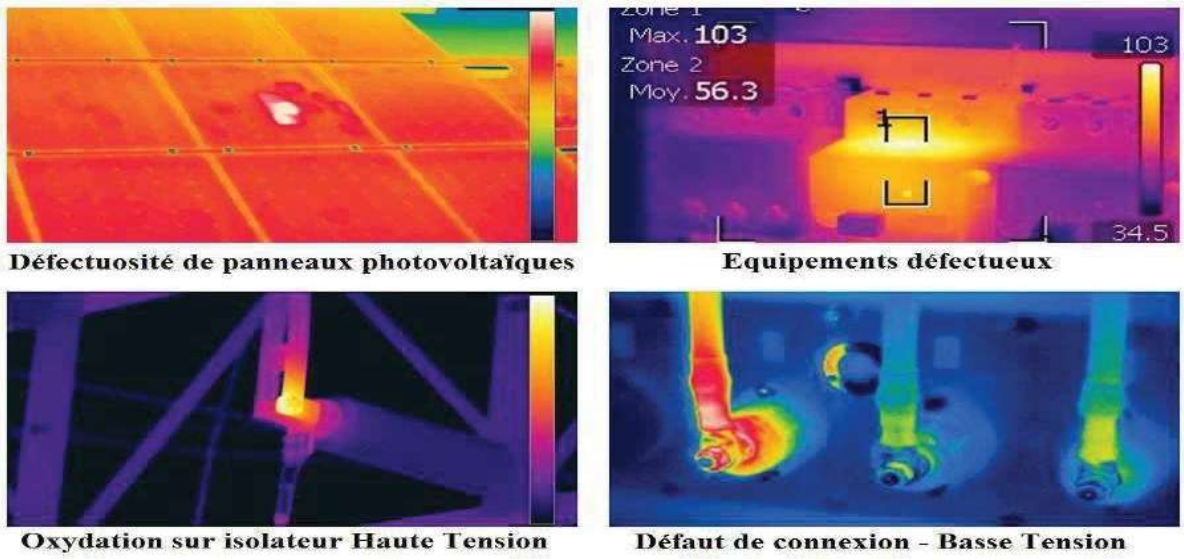


Figure II.10 Contrôle par TIR des équipements électriques.

La TIR inspecte les équipements électriques des infrastructures : armoires électriques, Panneaux photovoltaïques, transformateurs haute et basse tension…

Lorsqu'un élément résistant est traversé par un courant électrique, cela produit de la Chaleur. Une augmentation de la résistance produira donc une augmentation de la chaleur.

- Commutateurs oxydés.
- Connexions desserrées.
- Défauts d'isolation.
- Détérioration interne.
- Surcharge…

B. Contrôle sur des équipements mécaniques :

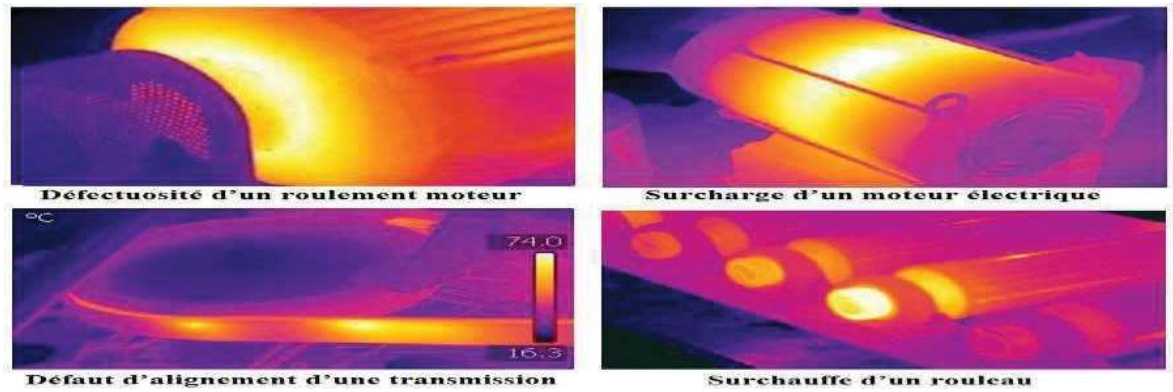


Figure II.11 Diagnostic thermographique des équipements mécaniques et électromécaniques.

Dans de nombreux secteurs, les opérations dépendent de systèmes mécaniques. L'usure et la baisse de performance d'une pièce mécanique se traduisent généralement par un échauffement (figure II.11).

Les pièces mécaniques en mouvement peuvent s'échauffer anormalement par manque de lubrification, usure ou encore déformation dynamique des pièces et donc la TIR nous permet le contrôle de la surcharge des moteurs, défauts d'alignement, de paliers, de roulements…

C. Contrôle sur des équipements thermiques :

Principe identique à la surveillance des réfractaires dans la sidérurgie. Car elle nous permet de mettre en évidence des dégradations ou déperditions thermiques sur des équipements tels que chaudières, fours, incinérateurs... (Figure II.12).

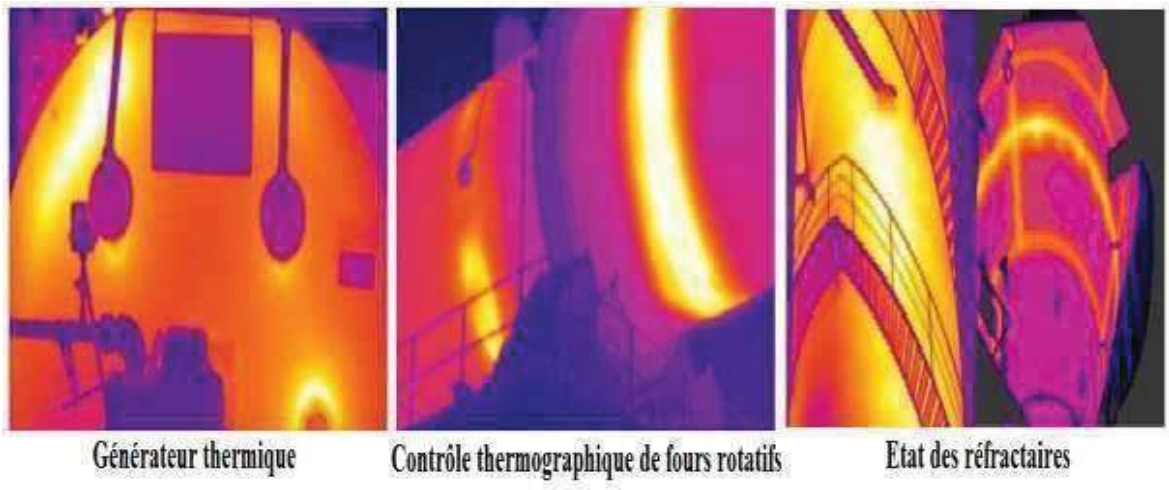


Figure II.12 Diagnostic thermographique des équipements thermiques.

D. Contrôles des installations hydrauliques :

L'imagerie thermique fournit des informations précieuses sur l'état de l'isolation des Conduites et des vannes (figure II.13). Et d'autres contrôles tel que :

- Fuite de liquide.
- Embouage.
- Contrôle de l'étanchéité des vannes, robinets, purgeurs vapeur.
- Contrôle des sens de circulation dans les organes de régulation (vannes 3 voies…).
- Entartrage d'échangeurs, ballons de stockage ou de production.
- Contrôle calorifuge de canalisations.
- Repérage de réseaux dissimilés. [14]

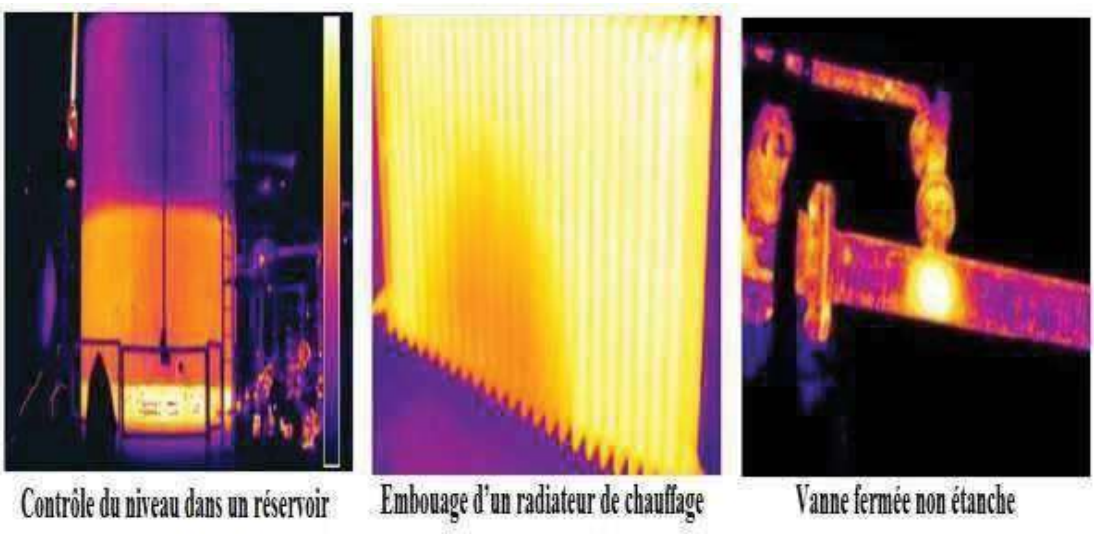


Figure II.13 Diagnostic thermographique des installations hydrauliques.

Principe de l'analyse thermographique :

La caméra infrarouge capte au travers d'un milieu transmetteur les rayonnements émis par une scène thermique. Le système radiométrique convertit la puissance de rayonnement en signaux numériques ou analogiques : ceux-ci sont transcrits en température par le calculateur et transformés en points lumineux sur un écran (figure II. 14). L'image ainsi obtenue s'appelle « Thermo gramme ». [15]

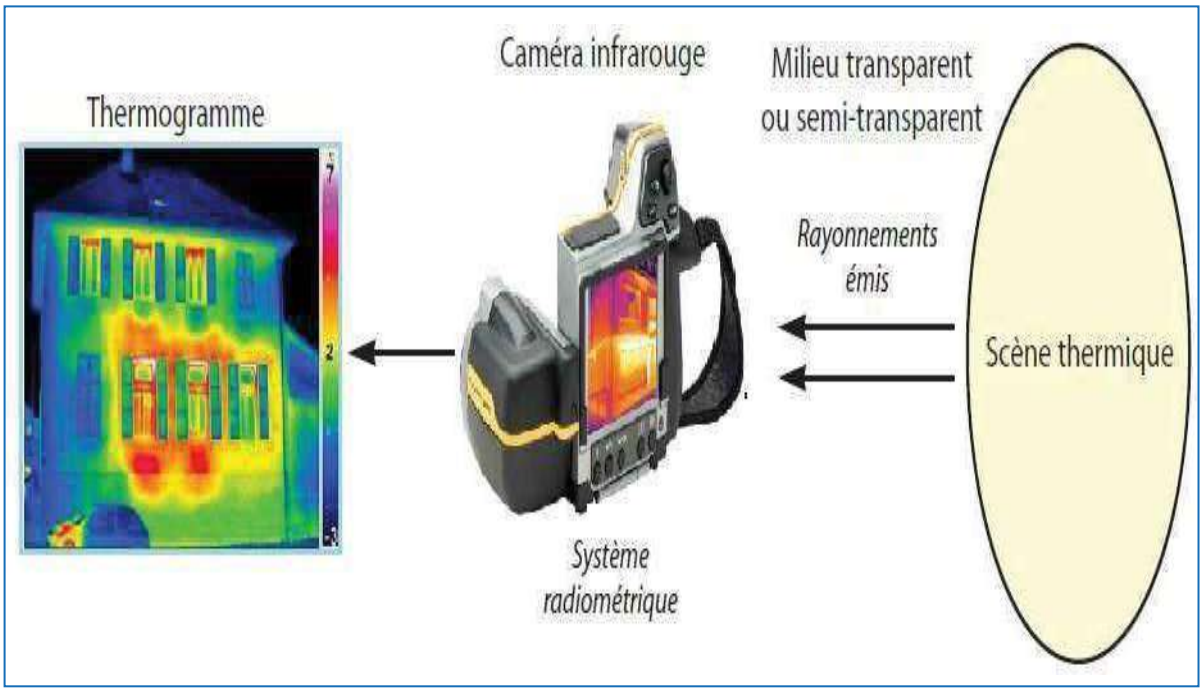


Figure II.14 Principe de fonctionnement de la caméra infrarouge.

ANALYSE ACOUSTIQUE ULTRASONORE :



Tout mouvement relatif entre pièces produit des ultrasons de friction. La mesure et l'enregistrement des signaux ultrasonores effectués à cadence régulière, et leur suivi dans le temps permettent de détecter beaucoup de problèmes de façon simple efficace et peu onéreuse. La technique offre de multiples applications dans le contrôle d'équipements hydrauliques et pneumatiques (détection de fuites, contrôle d'étanchéité) et permet aussi de détecter les ultrasons émis par des défauts d'origine électrique (mauvais contacts, effets corona, effets d'arc, etc.).

Présentation de la détection des ultrasons :

Principe du contrôle par ultrasons :

Le contrôle par ultrasons comprend 3 étapes (figure 2.15) :

- La vibration mécanique engendrée par le palpeur émetteur se propage dans la pièce en se réfléchissant aux interfaces.
- Une partie du faisceau est interceptée par le défaut et renvoyée vers le palpeur récepteur (Eventuellement le même que l'émetteur) qui convertit la vibration en signal électrique.

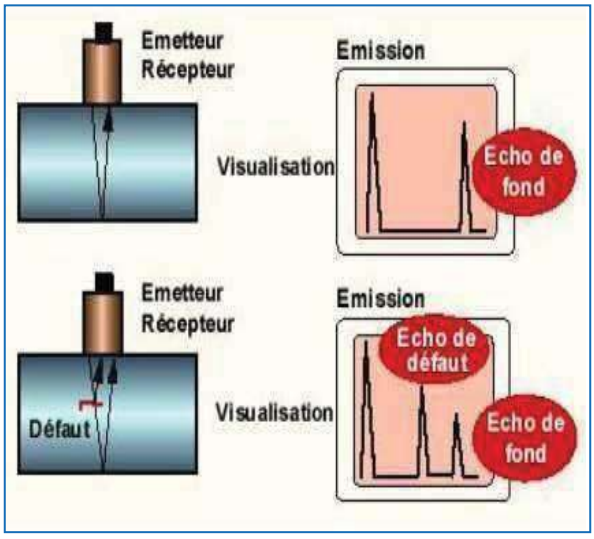


Figure II.15 Principe du contrôle par ultrasons.

- On observe sur l'écran de visualisation un écho caractéristique apparaissant à une distance donnée sur la base de temps.

On peut distinguer deux types de méthodes par ultrasons:

A. Les Ultrasons dit « classiques » permettant de déceler des indications au cœur de la Matière en utilisant des traducteurs de type ondes longitudinales ou à ondes inclinées.

B. Les mesures d'épaisseurs qui permettent de vérifier l'épaisseur restante d'un matériel (on peut établir une cartographie des zones examinées et étudier son évolution dans le temps). Sachant que les fréquences utilisées pour le contrôle des métaux sont de l'ordre de 1 à 10 MHz.

Les manières de réaliser les mesures peuvent être classées en deux catégories :

- **Mesure par réflexion :** de manière générale, la mesure par réflexion utilise le même transducteur pour l'émission et la réception du signal.
- **Mesure par transmission :** ce type possède un émetteur et un récepteur de signal qui sont distincts. La difficulté de cette dernière méthode vient dans le fait que le récepteur doit se trouver exactement là où le signal "sort" de la pièce. Sur la (figure 2.16) une présentation du processus général de ce Contrôle. [16]

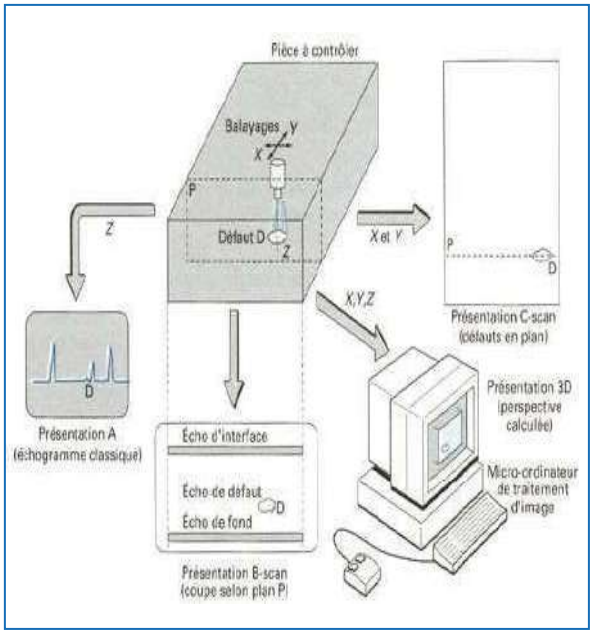


Figure II.16 Présentation du contrôle par ultrasons.

Les appareils de contrôles ultrasonores :

Les appareils de contrôles ultrasonores sont des matériels électroniques qui sont conçus pour détecter la présence d'une source de son ultrasonore c'est-à-dire, un son dont la fréquence est supérieure à 20 kHz. Le contrôle aux ultrasons s'effectue le plus souvent avec un palpeur à incidence normale ou un palpeur à incidence oblique.

A. Les palpeurs à incidence normale : ils émettent des ondes longitudinales avec une direction de propagation normale à la surface (figure II.17).

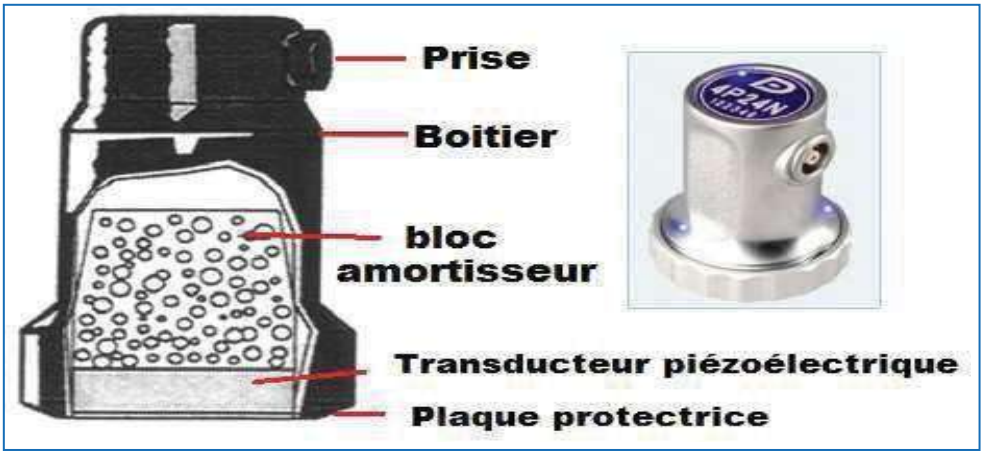


Figure II.17 Structure d'un palpeur pour ondes longitudinales.

B. Les palpeurs d'angle : ils émettent des ondes transversales dont la direction de propagation est inclinée par rapport à la normale de la surface. Pour l'excitation de ce type d'onde, on utilise le fait qu'une onde longitudinale, créée dans le palpeur, se divise en une onde transversale et une onde longitudinale lors de la réfraction à l'interface entre le palpeur et la pièce (figure II.18). [17]



Figure II.18 Structure d'un palpeur pour ondes transversales.

L'inspection ultrasonore intégrée dans un Programme demaintenance conditionnelle :

Le contrôle ultrasonore constitue une première ligne de défense contre les arrêts de production non planifiés, cette technique est utilisée dans plusieurs domaines par exemple:

Monitoring de vibration acoustique :

Le monitoring de vibration acoustique est l'opération qui consiste à suivre le niveau Ultrasonore d'un équipement et de le comparer avec celui que l'on a obtenu sur le même

équipement lors des inspections précédentes, ou en le comparant avec celui que l'onobtient généralement sur un équipement similaire. (La figure II.19) montre un exemple de suivi du niveau ultrasonore sur un moteur. Le monitoring de vibration nous renseigne sur les intervalles de lubrification et permet de prédire les pannes mécaniques.



Figure II.19 schéma de Contrôle ultrasonique d'un moteur.

Contrôle des purgeurs de vapeur :

Un purgeur de vapeur est une vanne automatique qui s'ouvre pour éliminer les condensats, l'air et le dioxyde de carbone présents dans les canalisations avec la vapeur.

Pour l'inspection par ultrasons, on écoute le bruit du purgeur à l'aide du détecteur d'ultrasons et on vérifie si le cycle est continu ou pas. Limites du contrôle ultrasonore.



Figure II.20 Contrôle ultrasonique d'un moteur.

Contrôle de graissage :

La quantité de graisse nécessaire au bon fonctionnement d'un roulement doit occuper Un volume égal à environ 20 à 30% du volume libre interne de celui-ci.

Le surplus de graisse provoque une augmentation de la température, la consistance de la graisse baisse, et il peut se produire des fuites au niveau des étanchéités (figure II.21).

Cette élévation de température peut à son tour engendrer des modifications de certaines propriétés telles que la résistance à l'oxydation et cela conduit à la diminution de la qualité de la graisse.

L'opération de graissage peut être assistée par un contrôleur ultrasonique avec une sonde.

On « écoute » le bruit émis par le roulement au fur et à mesure du graissage ; le niveau sonore diminue régulièrement jusqu'à un seuil, qui correspond à la valeur optimale de graissage.

Une règle est couramment utilisée : une élévation du niveau sonore de 10 dBµV par rapport à la normale indique un manque de graisse. En pratique, le son produit par un roulement en bon état est caractérisé par un Ronronnement régulier, plaisant et constant. **Figure II.21** Graissage d'un roulement à SKF.



Inspections électriques :

Le contrôle ultrasonore permet de détecter les ultrasons émis par des défauts d'origine électrique (mauvais contacts, effets corona, effets d'arc, etc.). On peut ainsi surveiller un grand nombre d'équipements : lignes de transmission et de distribution, transformateurs, isolateurs, Disjoncteurs.

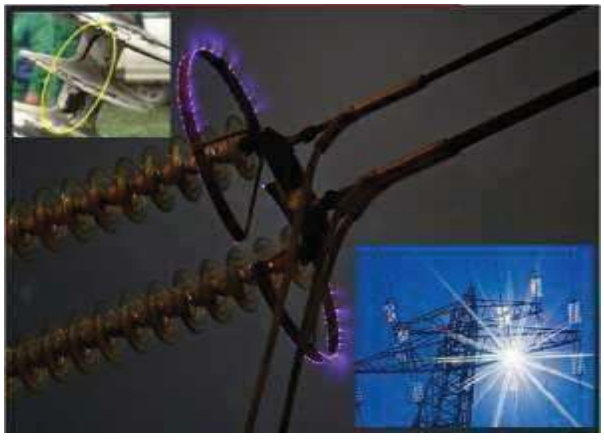


Figure II.22 Détérioration d'un isolateur de ligne.

L'effet corona, aussi appelé «effet couronne» est une décharge électrique entraînée par l'ionisation de l'air séparant deux électrodes portées à un haut potentiel lorsque celui-ci dépasse une valeur critique.

Les micros amorçages générés par les effets corona engendrent des détériorations sur les isolants, de sérieuses avaries, des arrêts de production (figure II.22). [18]

La détection de fuites :

Le principe de la détection de fuite réside dans le fait que la différence de pression entre l'intérieur de la conduite du réseau et le milieu extérieur se traduit par une turbulence, soit une agitation désordonnée des molécules dans le milieu extérieur.

Cette turbulence entraîne une augmentation de la température, et des mouvements et Chocs moléculaire générant des ultrasons qui ont la particularité d'être très directif.

La mesure consiste à mesurer l'activité des molécules. Le principe de la détection de fuite s'applique aussi bien sur les réseaux sous pression que les réseaux sous vide (figure II.23).



Figure II.23 Détection des fuites par US.

Contrôle d'étanchéité :

Le contrôle d'étanchéité est en fait un cas particulier de la détection de fuite. En effet, si la cuve est sous pression, un défaut d'étanchéité sera détecté de la manière qu'une simple fuite d'air comprimé (figure II.).

Si celle-ci n'est pas sous pression, la détection de fuite sera réalisée à l'aide d'un artifice : un émetteur d'ultrasons. En le plaçant à l'intérieur de l'engin à contrôlé, celui-ci générera des ultrasons. S'il y a un défaut d'étanchéité, les ultrasons générés seront mesurables à l'extérieur de la zone étanche et seront détecté comme une fuite classique. Les ultrasons artificiels sont caractérisés par un bruit caractéristique facilement différenciable des ultrasons naturels. [19]



Figure II.24 Contrôle d'étanchéité par US.

L'ANALYSE DES HUILES :



La lubrification a une importance primordiale dans le fonctionnement de tous les systèmes mécaniques. Avec la thermographie infrarouge et l'analyse vibratoire, l'analyse d'huile est une des méthodes les plus intéressantes pour assurer la santé et la longévité des machines. Sa mise en œuvre est simple et les informations fournies permettent des diagnostics précis. De plus, l'investissement est faible en contrepartie de l'information apportée et des coûts générés par des arrêts non programmés.

Contrôle, surveillance des niveaux et des consommations :

La surveillance des huiles en fonctionnement a deux buts essentiels :

- Surveiller l'huile pour vérifier son état conforme.
- Surveiller, à travers l'huile, l'état de l'installation.

Un des moyens les plus simples consiste à noter la consommation d'huile de L'installation par unités de production (temps, nombre de pièces ou de kilomètres).

L'évolution de cette courbe de consommation indiquera les dérives de fonctionnement et permettra de Prévenir les défaillances, (figure II.25) (maintenance préventive conditionnelle). [20]

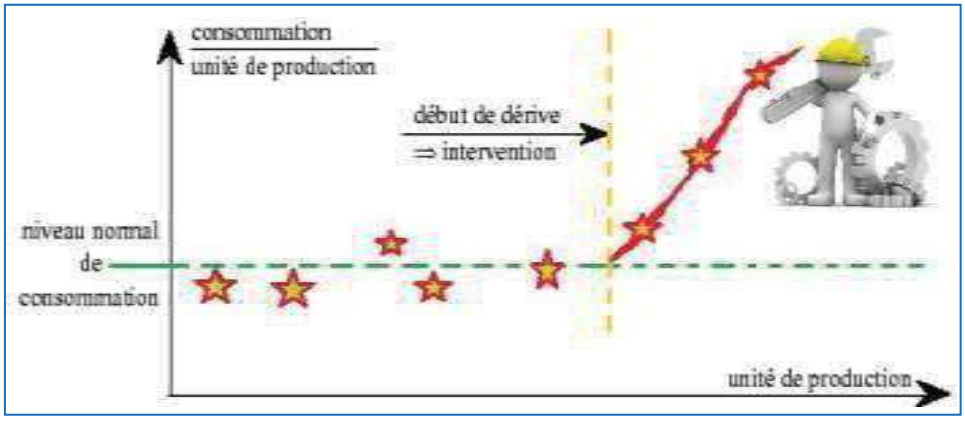


Figure II.25 Maintenance préventive conditionnelle.

CONCLUSION :

Ce chapitre a traité les différentes techniques de détection des défauts, nous avons présentés plusieurs techniques qui peuvent être utilisé seul ou d'une façon multiples, cela consiste dans tous les cas à estimer et suivre l'état de marche et son développement en cours détecter d'éventuels dysfonctionnements et à suivre leur évolution.

Nous remarquons que (balourd, défaut de roulement ou de palier etc.) le niveau de vibration augmente. En mesurant et en surveillant le niveau de vibration produit par une machine,

De manière à détecter des anomalies et programmer à l'avance les interventions de maintenance.

On obtient un indicateurs des vibrations pour déterminer le type et en le détecter défauts les prosimètre l'accéléromètre, pour détection des défaillances et du diagnostic de façon précoce un défaut avant qu'il ne conduise à un état de défaillance.

CHAPITRE 03 :
Diagnostic des défauts par analyse d’huile

Introduction :

Le message contenu dans le lubrifiant en service au moment de la vidange se compose de tout ou partie des informations que l'analyse physico-chimique par ses mesures qualitatives ou quantitatives va s'efforcer de mettre en évidence.

Le Diagnostic est établi par traitement informatique des résultats de l'analyse.

Ce traitement exploite statistiquement l'ensemble des données recueillies à partir de tous les échantillons traités dont les valeurs sont stockées dans une base de données remise à jour quotidiennement.

Pour chaque type de moteurs identiques et fonctionnant dans les mêmes conditions, l'ensemble des résultats des échantillons traités forme un groupe de référence. Le traitement statistique consiste à effectuer un diagnostic pour chaque élément mesuré en comparant la valeur de l'élément contenu dans l'échantillons à la valeur moyenne du même élément mesuré sur l'ensemble des moteurs constituant le groupe auquel le moteur objet du prélèvement appartient, en fonction de son identification initiale. Pour chaque élément mesuré, le résultat de ce calcul est exprimé très simplement sous forme d'une flèche positionnée sur une zone de couleur exprimant le niveau d'importance de la valeur. Le choix des couleurs en analogie avec les feux tricolores permettent au lecteur d'évaluer immédiatement la situation.

En fonction des résultats et du diagnostic, des spécialistes en moteurs et lubrifiants établissent un commentaire d'interprétation de l'analyse indiquant, si une anomalie est détectée, ses causes, ses conséquences, les préconisations d'interventions nécessaires à sa correction.

Principe de raffinage des huiles lubrifiantes :

Le pétrole brut le produit de base pour tous les lubrifiants, indépendamment du fait qu'ils soient à base d'huile minérale ou synthétique. La fabrication de lubrifiant industriels nécessite plusieurs traitements de raffinage.

La première étape comprend la distillation atmosphérique du pétrole brut à la température de 350°C. Celle-ci produit un résidu atmosphérique constitué de produits lourds qui serviront en partie, à la récupération des huiles lubrifiantes après une distillation sous -vide .D'autres opérations de raffinage sont également nécessaires pour pouvoir séparer les différentes fractions de résidus.

Le craquage catalytique est le premier traitement thermique subi par le résidu pour obtenir des molécules d'hydrocarbures de courtes chaines et par conséquent des produits légers.

Le deuxième traitement des huiles consiste en une extraction partielle des structures aromatiques par solvatation. Le produit subit une troisième opération de raffinage qui est un déparaffinage par solvant en utilisant le MEC. La dernière opération de traitement est un hydrotraitementquipermetd'éliminerenviron90%descontaminants,ycomprisl'azote,lesoufre, les métaux et les hydrocarbures non saturés. [21]

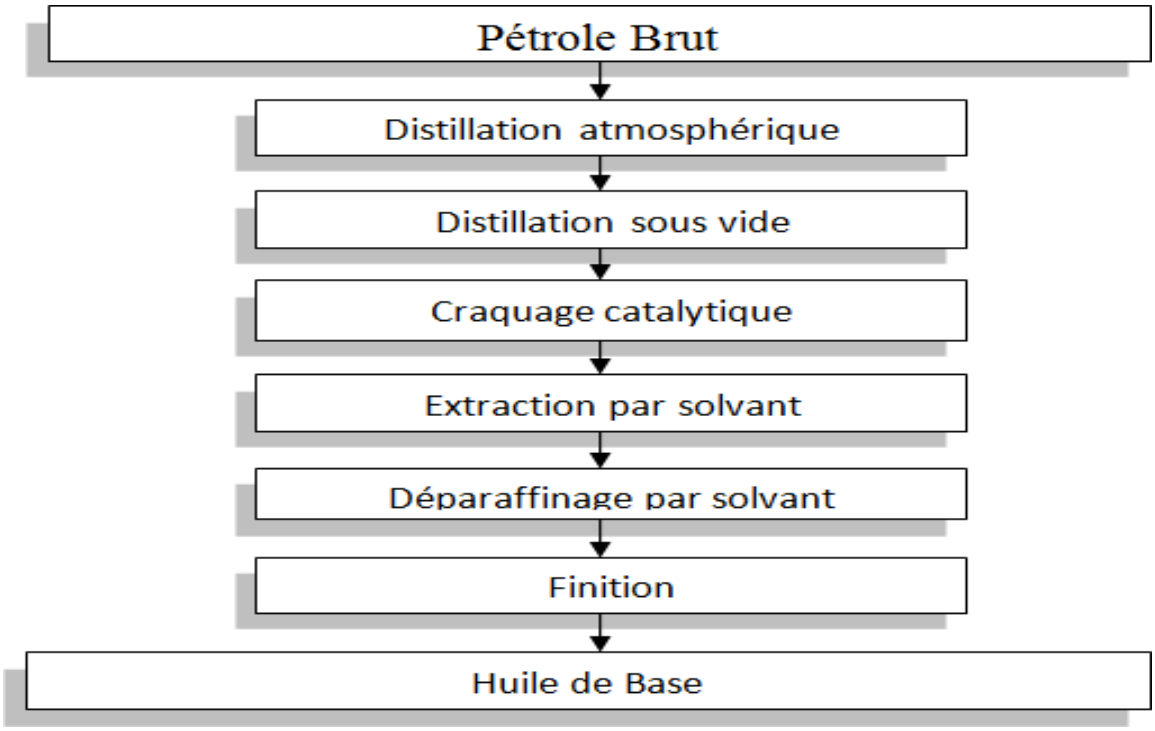


Figure III.1 : Fabrication d'une huile de base minérale issue de l'extraction du pétrole brut.

Composition des huiles de lubrification de base

Une huile de lubrification de base est une huile automobile, industrielle ou pour aviation ayant les propriétés demandées pour une utilisation donnée, Elles sont constituées d'une huile de base minérale ou synthétique, et d'un groupe d'additifs ajoutant chacun une propriété particulière afin d'améliorer le rôle de ces huiles.

- **Les huiles minérales**

Ce sont les huiles les plus utilisées aussi bien dans les applications automobiles, qu'industrielles, Elles proviennent de la distillation sous vide du pétrole brut, plus des quantités d'additifs,

Ellessecaractérisentpardebonnespropriétéstellesquelastabilitéàl'oxydation,la stabilité thermique. Ces huiles minérales sont dites à base paraffinique, à base naphténique, ou aromatique, selon le type d'hydrocarbures qui détermine ces caractéristiques physico-

chimiques de l'ensemble du composé. Le tableau suivant montre le classement des huiles minérales selon la base des structures moléculaire: [22]

Tableau III.1 Classification d'une huile minérale sur la base des structures moléculaire.

Structure	Fraction principale	Caractéristiques
A base de paraffine Chaines rectilignes ou ramifiées	+ de 75% de paraffines	Densité < 900 kg/m^3 Indice de viscosité 93-105
A base de naphtène	+ de 70% de naphtènes	Densité 900-940 kg/m^3 Indice de viscosité 30-80
Aromatique	+ de 50% d'aromatiques	Densité > 940 kg/m^3 Indice de viscosité 0-40

- **Les huiles de base synthétiques**

Ce sont des huiles obtenues par voie chimique, dans ce cas, on fabrique la molécule de base dont on a besoin, afin de créer le produit désiré qui est l'huile de base, dont les propriétés physiques et chimiques sont prédéterminées, On rajoute ensuite une quantité d'additifs nécessaires pour répondre au service. [18]

- **Les additifs**

Les additifs sont très nombreux ; ilsprésententenvirons25%delamassetotaledel'huile utilisée, chacun ayant une fonction bien définie. Leur rôle est d'améliorer les propriétés chimiques des huiles lubrifiantes, afin de prolonger la durée de vie soit du moteur soit de l'huile et pour interdire la dégradation rapide des huiles usagées. Les additifs généralement utilisés sont :

- **Les antioxydants :**

Les antioxydants sont de nature à diminuer ou empêcher l'oxydation des huiles, afin de ralentir le vieillissement rapide de l'huile, ils agissent selon leurs structures chimiques, par l'arrivée de l'oxygène provenant de l'air de haute température et de métaux.

- **Les détergents :**

Les détergents sont des additifs qui possèdent des propriétés nettoyant vis-à-vis d'une surface solide mouillée, et de maintenir le circuit de distribution. Elles se caractérisent par un PH basique ou neutre pour prévenir de la formation des dépôts à chaud sur les surfaces chaudes. Garce à leur alcalinité, ils peuvent neutraliser également des produits acides, qui se forment du fait de la combustion de l'huile.

- **Les dispersants :**

Les dispersants sont des adjuvants, qui ont les propriétés de maintenir en suspension des particules solides dans l'huile, Ils évitent ainsi le risque de dépôt dans les parties froides du moteur. [4-6]

- **Les extrêmes pressions et protecteurs contre l'usure :**

Le rôle des protecteurs contre l'usure est de réduire le frottement et l'usure entre les organes métalliques du moteur. Ils agissent en séparant les parties métalliques par une couche fine d'additifs. Ainsi que pour les additifs extrêmes pressions qui se compose des molécules organo-soufrés et organochlorés. Ceux-ci créent une réaction superficielle qui empêche le contact métal-métal. [22]

- **Les antirouilles et anti corrosions :**

Les antirouilles et anti corrosions sont des additifs qui protègent les parties métalliques, ils retard entre l'apparition de la rouille qui provient de la corrosion humide. Ils s'évitent l'altération d'un matériau provenant des gaz de combustion contre la corrosion.

- **Les améliorants de l'indice de viscosité :**

Les améliorants de l'indice de viscosité qui ont pour rôle d'améliorer la diminution de la viscosité de l'huile lors de l'élévation de température dans le moteur.

- **Les abaisseurs du point d'écoulement :**

Les abaisseurs du point d'écoulement sont des additifs qui ont pour rôles le retardement de la formation des cristaux de paraffines, à basse température, pour lui permettre à un bon écoulement en les enveloppant avec ces additifs afin d'interdire leur fusionnement lors du refroidissement.

- **Les antis mousses :**

Les antis mousses sont des additifs solubles dans l'huile, à base de silicone, de très haute masse molaire, ils empêchent la formation des bulles liquide-air, qui se forment à la surface d'huile lubrifiante. [23].

2/Analyse d'huile :

L**'**analyse d'huile en tant qu'instrument de maintenance industrielle commence à être appliquée dans des secteurs précis de l'industrie dès les années 50 du siècle dernier. Elle est

peu à peu adoptée un peu partout comme méthode pour détecter des pannes précoces sur des équipements complexes comme les turbines à gaz.

Actuellement, le développement d'équipements de laboratoire ou l'innovation dans les pratiques de maintenance ont placé l'analyse d'huile parmi les méthodes incontournables dans de nombreux secteurs industriels, grâce aux bénéfices qu'elle apporte.

Un bon programme de maintenance fondé sur l'analyse d'huile permet de déterminer la condition de l'équipement, mais aussi l'état même de l'huile utilisée, puisqu'il détecte la contamination et la dégradation de l'huile elle-même, avant que ces circonstances provoquent la panne de l'équipement.

De cette manière, et grâce à un programme de maintenance bien géré, les entreprises peuvent éviter les coûts que cela entraîne pour les pièces de rechange, le changement d'huile avant son heure et bien sûr les arrêts non programmés qui génèrent des problèmes plus importants pour l'entreprise.

Lubrification Management recommande d'analyser l'huile lubrifiante pour conserver les équipements dans des conditions optimales de rendement

/Effets de la pollution de l'huile.

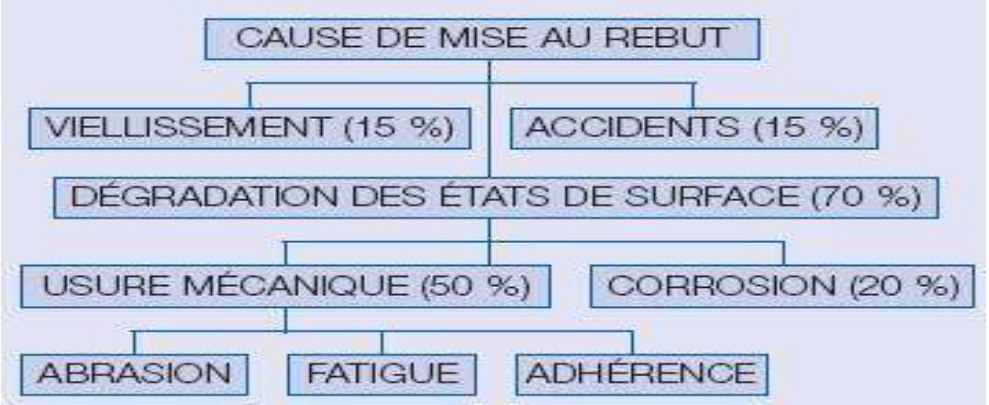


Figure III.2 : les effets de pollution.

/ Sources de pollution de l'huile:

- **Pollution de fabrication :**
  - Piston, fluide, moteurs hydrauliques.
  - Tuyauteries et flexible, pompes.
  - Réservoirs, vannes, etc.…
- **Pollution générée par l'usure Mécanique :**
  - Intégration en fonctionnement.
  - Phases de rodage.
  - Dégradation du fluide.

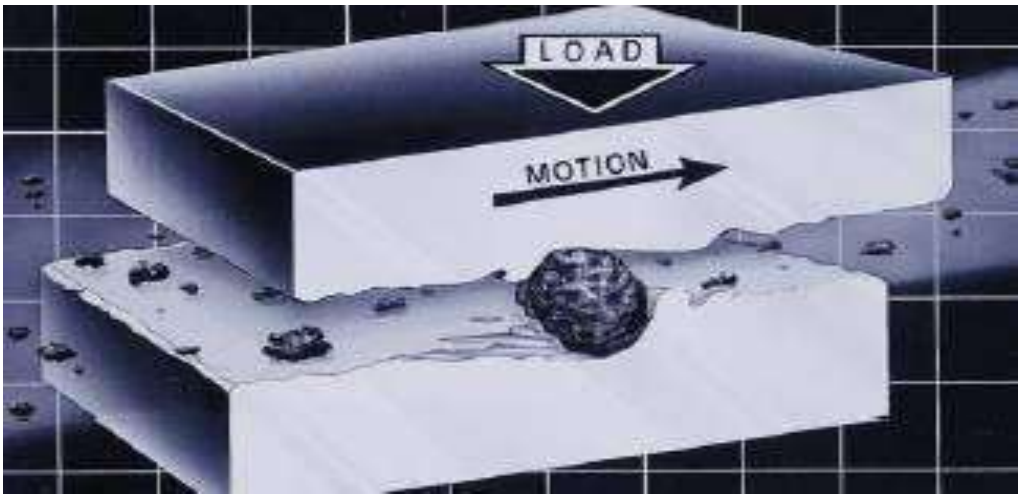
- **Pollution ingérée (atmosphérique) :**
  - Mouvements d'huile dans le réservoir.
  - Joints de tiges de vérin.
  - Joints d'arbres.

  Joints de composants.

- **Pollution de maintenance :**
  - Montage/démontage des composants.
  - Remplacement de flexibles.
  - Pleins et appoints d'huile.

Influence de la pollution de l'huile sur le fonctionnement.

Usures prématurées, colmatage, abrasion etc.…



composants	**Détails**	**jeux**
Vannes	Servo Proportionnel Directionnel	1-4 um 1-6 um 2-8 um
Pompes à piston a cylindré variable	Piston en chemise Piston en butée	5-40 um 0.5-5 um
Pompes à palettes	Palettes- corps de pompe (radiale) Palettes- corps de pompe (latérale)	0.5-1 um 5-13 um
Pompes à engrenages	Dont de pignon-corps de pompe Pignon-flasque	0.5-5 um 0.5-5 um
Roulements à bille	Epaisseur de film	0.1-0.7 um
Roulements à rouleaux	Epaisseur de film	0.4-1 um

Palies lisser	Epaisseur de film	0.5-125 um
Joints	Joints arbre d'entrainement	0.05-0.5 um

Figure III.2: différentes épaisseurs de pollution d'huile.

Objectifs visés par l'analyse de l'huile :

L'objectif sera de déceler les principales anomalies afin de donner au Responsable de Maintenance des informations précises sur l'état de la machine, et cela en recherchant dans le lubrifiant :

- Tous les phénomènes de pollution.
- Tous les phénomènes de contamination.
- L'ensemble des métaux provenant de l'usure.
- Le type d'usure.
- Pour les moteurs : l'étude de la qualité de la combustion.
- Dans certains cas et notamment lorsque les vidanges sont espacées, l'état du lubrifiant. [24].

III. 4/Impacts économiques :

- Etat de santé des machines.
- Visualisation de l'évolution des analyses par comparaison des résultats obtenus entre chaque analyse.
- Minimisation du temps d'arrêt des pièces maîtresses d'une machine.
- La minimisation des coûts de réparation grâce à des programmes de maintenance.
- L'optimisation des espacements de vidange grâce au suivi de la qualité du lubrifiant.

[25]

III.5 Méthodes d'analyses de la pollution des huiles :

Tableau III.3 : méthode d'analyse de la pollution des huiles.

Méthode	Unité	Avantages	Limites
Comptage optique des particules	Nombre/mL	Renseigne sur la distribution granulométrique Résultat non affecté par l'opacité du fluide ou la présence d'eau et	Méthode très technique, très Procédurière et très consommatrice de temps

		d'air non dissout dans le fluide	
Comptage automatique des particules	Nombre/mL	Rapide, précis et répétable	Sensible aux «boues», à l'eau, à l'air et aux gels
Membrane d'essai et comparateur de pollution des fluides	Comparaison visuelle/code de propreté	Analyse rapide des niveaux de propreté des fluides. Méthode adaptée au 'terrain Permet d'identifier les types de polluants.	Donne une estimation des niveaux de pollution solide Faible efficacité de
Ferro graphie	Nombre pondéré degrandes/petites particules	Fournit des informations sur les particules ferreuses et magnétiques	détection pour les particules non magnétiques de type laiton, silice, etc.
Spectrométrie	ppm	Permet d'identifier et de quantifier les polluants	Ne renseigne pas sur les tailles; limitée aux métaux dissous
Gravimétrie	mg/L	Indique la masse totale de polluants	Ne renseigne pas sur les tailles; ne convient pas aux fluides <ISO.

III.6/ Les techniques d'analyse des huiles :

D'une manière générale, tous les mécanismes lubrifiés, à la condition que le graissage ne se fasse à fond perdu, sont susceptibles d'être surveillés dans leur fonctionnement par analyse de leur lubrifiant en service. Les résultats permettent de déceler des anomalies caractéristiques telles que :

- la contamination par des particules internes à l'équipement
- l'évolution par comparaison des résultats obtenus à chaque analyse
- le type d'usure
- la pollution par des agents extérieurs

- **Approche sélective :**

La sélection des équipements concernés par l'analyse d'huile :

- Les transports des personnes, des marchandises et ferroviaire.
- Les industries (moteurs, réducteurs, les compresseurs, les systèmes hydrauliques)
- Le matériel agricole,
- La marine, l'aviation…

La sélection des composants et des défaillances :

- Sur moteur thermique : problèmes d'étanchéité de la filtration d'air, infiltration de liquide de refroidissement ...
- Sur multiplicateurs, réducteurs et engrenages : mauvais état d'un roulement ou d'un palier, transmission défectueuse (engrenages endommagés) ...
- Sur les systèmes hydrauliques : pollution interne telle que la cavitation, défaut d'étanchéité, défaut de filtration ...

La connaissance des symptômes : de dégradation et de contamination des lubrifiants annonce l'altération des caractéristiques physiques des huiles (performances en tant que lubrifiant).

La mise en place de la méthode :

- Sur site industriel :

- Par prélèvement d'échantillons et examens visuels (transparence, couleur, dépôts) des lubrifiants en service.

- Par un suivi continu de l'évolution des paramètres techniques tels que les schémas, température, débit, pression de fonctionnement et les historiques des vidanges et appoints d'huile, des opérations en maintenance corrective et des anomalies de fonctionnement pour chaque machine.

- En laboratoire :

- Par analyses physico-chimiques évaluant la qualité lubrifiante de l'huile, par la détermination de la teneur en produits d'usure, par examen microscopique et comptage de particules en suspension dans l'huile. L'interprétation de certains résultats de mesure est souvent délicate

notamment parce que l'évolution, jugée anormale, d'un élément de l'analyse peut avoir plusieurs causes, mais, grâce à une meilleure connaissance des phénomènes d'usure et de dégradation des matériaux ainsi qu'au développement de nouvelles technologies assistées de l'aide apportée par l'informatique, la maintenance conditionnelle par l'analyse des huiles représentera un outil de progrès à la disposition des responsables de service maintenance.

La sélection des moyens de mesure qui permettent d'analyser l'échantillon prélevé :

- les moyens d'échantillonnage : le pistolet vampire (pompe), la seringue, la vidange

- l'instrumentation associée : le viscosimètre de type Houillon, l'aquatest, la chromatographie en phase gazeuse, la méthode Karl Fisher, la mesure du point éclair en vase clos, l'analyseur photométrique de la tâche, le spectromètre à absorption infra-rouge ou d'émission à torche à plasma, le magnétiseur de particules, le compteur de particules.

La sélection des moyens de traitement associés aux outils d'acquisition :

Plusieurs modes opératoires peuvent être appliqués à un même échantillon ; d'une part pour analyser différents paramètres caractéristiques de l'huile, d'autre part pour établir un diagnostic objectif de plusieurs techniques concordant sur la même analyse. Aussi, cette sélection dépend de la requête émise par le service qui fait appel à l'analyse des huiles (politique de maintenance liée à l'équipement concerné). Une forte expérience, un travail de participation, sont des atouts qui permettent de définir les actions à entreprendre. Des plans d'analyses sont préétablis par les laboratoires (plan d'analyse moteur, engrenages sous carters, etc.…) [24]

Description des différentes moyens d'analyse d'huile :

Analyses physico-chimiques

• **La viscosité** : est essentielle puisque la comparaison avec celle du lubrifiant usagé permet de vérifier ses propriétés d'écoulement mais aussi son éventuelle dilution, par du carburant par exemple. Selon la norme NF T 60-100, il faut mesurer le temps d'écoulement d'une quantité de lubrifiant à travers un capillaire pourvu de deux repères déterminant une constante à une température donnée.

• **L'indice de viscosité (VI) :** caractérise le comportement de la viscosité en fonction de la Température. Pour analyser l'huile donnée, on choisi deux huiles de référence, une huile 0 et

Une huile 100 ayant même viscosité à 100°C que l'huile à caractériser puis on compare leur viscosité cinématique à 40°C.

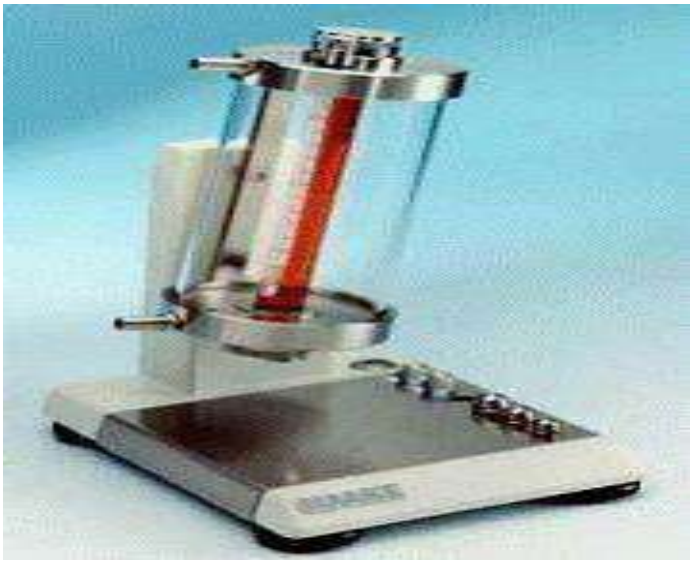


Figure III.3 : viscosimètre a chuté de bille.

• La recherche et le dosage d'eau

Par Aqua test ou par la méthode du réactif Karl Fischer selon la norme ASTM D-1744-64 ou par chromatographie en phase gazeuse (CPG), permettent de déterminer de la teneur en eau contenu dans un volume donné d'huile en service.

- **Problèmes liés à la présence d'eau dans les systèmes :**

Dégradation de l'huile (oxydation, précipitation d'additifs, augmentation de l'acidité,etc.)
Diminution de l'épaisseur du film lubrifiant.
Accélération de la fatigue des surfaces métalliques.
Corrosion des composants.

- **Sources de pollution aqueuse :**
- Échangeurs thermiques poreux.
- Fuites au niveau des joints.
- Condensation de l'air humide et de vapeur.
- Mauvaise étanchéité des réservoirs.
- Usage de nettoyeurs hautes pression.

.Chute de température de l'huile favorisant le passage de l'eau dissoute en eaulibre.



Figure III.4 : appareillage la teneur en eau.

• **La mesure du point éclair en vase clos** selon la norme NF T 60-118 à l'aide de l'appareil Pensky Martens, permet d'estimer le niveau de dilution par le combustible d'un lubrifiant usagé.

• **L'essai à la tâche** : analyse photométrique évaluant le pouvoir dispersant résiduel et la concentration des résidus insolubles de la combustion d'une huile usagée. Le démérite pondéré (DP) ainsi mesuré représente une combinaison du manque de dispersion de l'huile et la pollution par des produits insolubles. [26]

• **L'indice d'Acide Total (TAN) :**

Est utilisé pour des lubrifiants dont le temps de service est élevé et permet de vérifier le niveau d'acidité du lubrifiant, de déterminer l'oxydation de l'huile, la présence de contaminants et la dépréciation des additifs. Il est mesuré suivant les normes NF T 60-112 et ASTM D664. Lorsque l'acidité devient trop importante et donc corrosive, l'indice d'acidité total devient un déclencheur de vidange.



Figure III.5: appareillage le TAN.

• **Indice de Base Total (TBN)** :

Permet de vérifier la réserve d'alcalinité de l'huile selon norme ASTMD 2896. Ce contrôle permet d'apprécier la faculté du produit à rester en service et de vérifier l'aptitude du Lubrifiant à neutraliser l'acidité contenue dans l'huile, devenant corrosive pour les éléments métalliques de l'organe lubrifié.

III .7.2 Analyses spectrométriques :

• **Analyse spectrométrique à émission optique** : permet de déterminer de manière rapide les concentrations, exprimées en ppm (particules par million) en masse, des différents éléments présents dans les huiles sous forme d'additifs (calcium, magnésium...), de particules d'usure métalliques (fer, nickel, chrome, étain, cuivre, aluminium...), ou de contaminants solides divers (poussières atmosphériques, silicone...).

• **Analyse spectrométrique à absorption** : permet de déterminer la structure chimique générale d'un corps ou d'un mélange de corps ainsi que la concentration dans le mélange des composés à l'aide d'un rayonnement infrarouge. La spectrométrie d'absorption permet d'identifier la nature des hydrocarbures de l'huile de base, la nature des additifs et de suivre leur état par une analyse différentielle huile neuve / huile en service. [27]

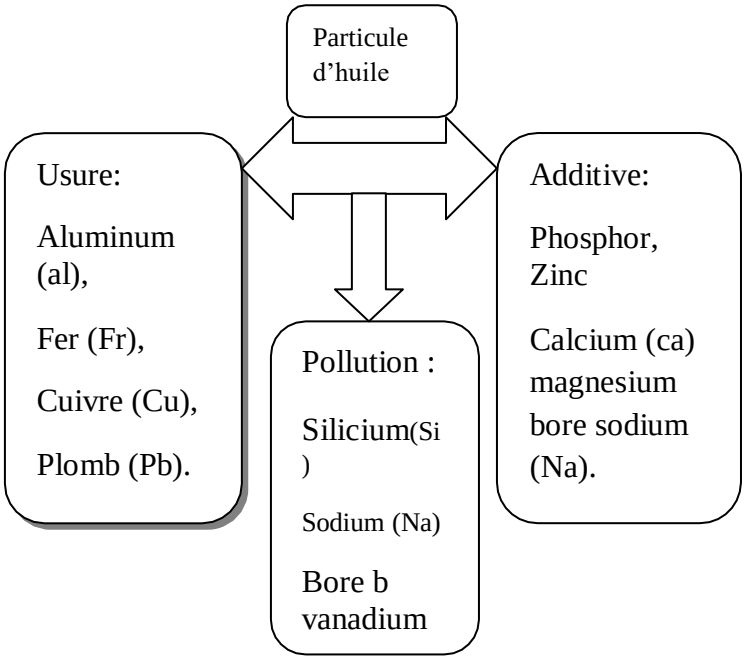


Figure III.6 : Différentes particules dans l'huile.

Pollution gravimétrique

Cette méthode est principalement utilisée pour le contrôle des fluides dont la contamination particulaire est élevée (fluides de lubrification et hydraulique sans exigence particulière de propreté). Elle renseigne sur le niveau de contamination globale d'un fluide, et fournit par conséquent des informations sur la propreté du circuit

Comptage de particules

Surveillance des dimensions et des quantités de particules contaminants solides dans les huiles hydrauliques. Le niveau de propreté ou de contamination est établit selon le code ISO 4406. Si l'échantillon contient plus de 300 ppm d'eau (c'est-à-dire l'équivalent de 0,3 % d'eau présent dans l'échantillon), ce test ne peut être effectué. Les méthodes employées (en laboratoire) sont des comptages au microscope et automatique.

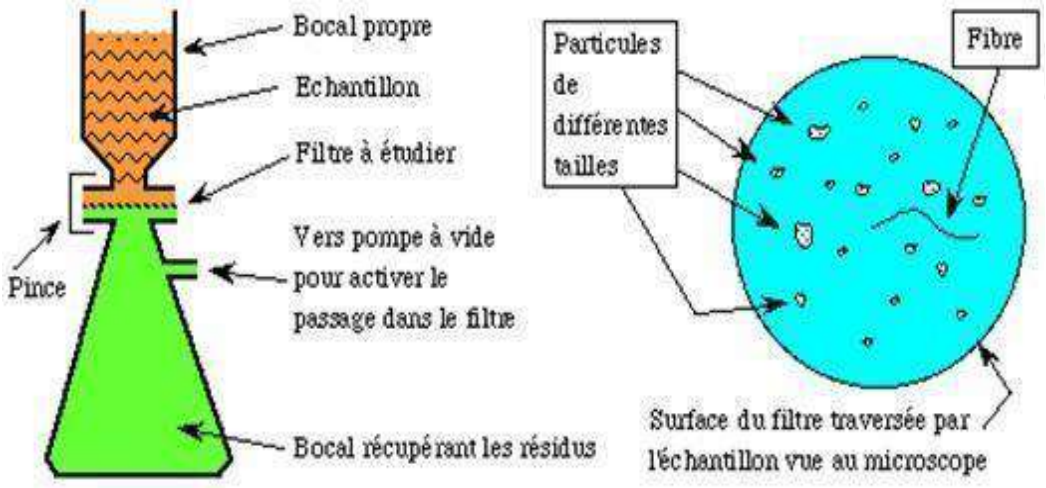


Figure III.7 : méthode de comptage des particules.

Ce comptage permet d'établir le nombre de particules solides par classe de grosseur de pollution. Par exemple la norme XP E48-655 Novembre 2002 réalise une autre classification. (Anciennement NF E 48-655)

Ces classes de pollution sont les suivantes : 0 à 5µ, 15 à 25µ, 25 à 50µ, 50 à 100µ, et supérieure à 100µ. Ce test est très utilisé pour les systèmes hydrauliques évolués pour lesquels les constructeurs indiquent la classe maximum à ne pas dépasser.

Tableau III.4 : Nombres maximaux de particules

Tailes (µ m)	Classe de pollution NF E 48-655											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
[2-5[	2500	5000	10000	20000	40000	80000	160000	320000	640000	1280000	2560000	5120000
[5-15[	500	1000	2000	4000	8000	16000	32000	64000	128000	256000	512000	1024000
[15-25[	89	178	356	712	1425	2850	5700	11400	22800	45600	91200	182400
[25-50[	16	32	63	126	253	506	1012	2025	4050	8100	16200	32400
[50-100[	3	6	11	22	45	90	180	360	720	1440	2880	5760
>=100	1	1	2	4	8	16	32	64	128	256	512	1024
	Nombres maximaux de particules ,par tailles ,rapportés à100Ml de fluide analysé											

Classes de pollution recommandées (à titre indicatif) :

- Servomécanismes de haute précision : classes 3 à 4
- Circuits avec servovalves classes 5 à 6
- Hydraulique haute pression (pistons) classes 6 à 8
- Hydraulique moyenne et basse pression classes 9 à 10

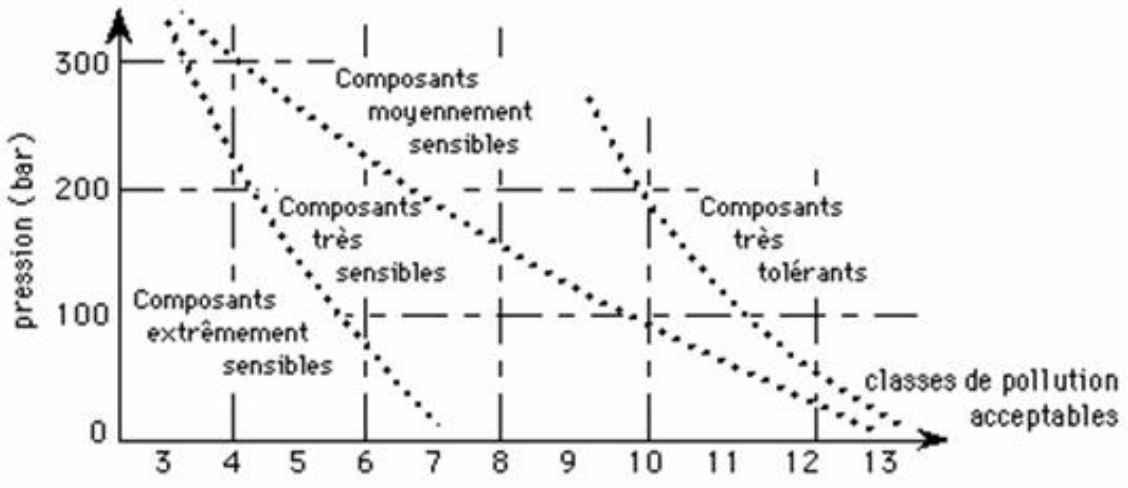


Figure III.8 : classe de pollution.

III .7.5. Analyses Ferro graphiques

• Analyse **Ferro graphique quantitative** (ou à lecture directe) : permet de déterminer des quantités relatives de petites et grosses particules ferreuses pour indiquer tout changement dans le taux et la sévérité de l'usure dans les roulements à éléments rotatifs et les réducteurs à engrenages.

• **Analyse Ferro graphique analytique** : procédure de diagnostic très avancé pour détecter les grosses particules jusqu'à 100 µm. L'examen microscopique des particules d'usure, des contaminants et des produits de dégradation par oxydation en suspension dans un échantillon d'huile usée, informe sur l'évolution du mode d'usure. Elle est utilisée pour effectuer une étude approfondie des particules contaminants lorsque la ferrographie à lecture directe indique une usure importante ou anormale. Elle est également utilisée pour les systèmes hydrauliques complexes. [28]

III .8 Descriptif de la mise en œuvre du contrôle :

Simple et rapide à mettre en œuvre, cette d'analyse vous apporte les informations suivantes sur l'état de votre système :

- Le système est-il contaminé par des éléments extérieurs (éléments non-ferreux)?
- Le système est-il pollué (dégradation interne du système révélant la présence de particules

ferreuses et autres …)?

- Le lubrifiant est-il dégradé (viscosité, présence d'eau, acidité...)? [29]

III .9 L'ECHANTILLONNAGE DES LUBRIFIANTS INDUSTRIELS

La corporation d'Entretien Prédictif offre le service d'échantillonnage pour la collection de vos échantillons d'huile de votre équipement pour l'analyse au laboratoire. Le service est offert sur la base d'heure. S'il vous plaît, notez que ce service n'est pas disponible dans tous secteurs.

Explications :

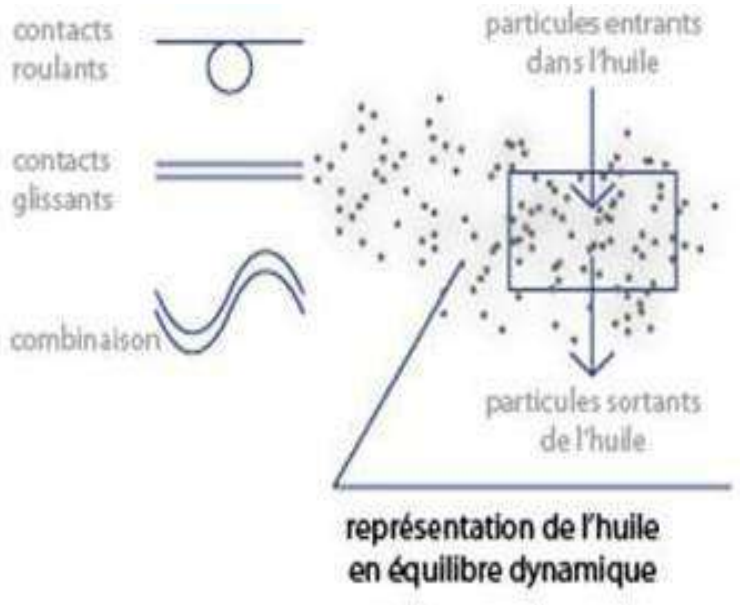


Figure III.9 : La génération et la perte des particules

La Corporation d'entretien prédictif a maintes fois démontré l'énorme potentiel de l'analyse des lubrifiants pour réduire les coûts d'entretien. Cependant, la prise de l'échantillon doit être faite de façon aussi soignée que possible. Tout échantillon incorrectement prélevé ou mal identifié peut conduire à des conclusions erronées. Ceci, parce que l'information qui peut être contenue dans un échantillon représentatif de lubrifiant usagé est une source précieuse d'indices nous permettant de déterminer à la fois la condition du lubrifiant et celle de la machine. [24]

Il existe deux conditions primordiales pour obtenir un échantillon de lubrifiant représentatif :

1. L'échantillon doit être extrait d'un volume de lubrifiant en mouvement. Si cette condition est respectée, l'échantillon sera un portait de la condition du lubrifiant et de la machine, à l'instant même où il a été pris.
2. L'échantillon doit être extrait "à chaud", c'est-à-dire que la machine aura été en opération depuis au moins une heure lors de l'échantillonnage.

Suite à leur génération, les particules sont en suspension dans l'huile. Elles en sont retirées par filtration et sédimentation. Le rythme auquel les particules entrent en suspension est égal à celui où elles en sortent. C'est ce qu'on appelle l'équilibre dynamique. Le nombre de particules présentes dans un échantillon représentatif, à un moment donné, dépend de deux choses :

1. La charge
2. La condition de la machine

Pour un système à lubrification sous pression, il est facile d'obtenir un échantillon représentatif. Il s'agit simplement d'installer une soupape d'échantillonnage à un point en amont du filtre et de s'assurer que la soupape et le raccord en "T" soient bien drainés avant chaque prise d'échantillon.

Pour un système non pressurisé, une prise d'échantillon représentatif est plus difficile. De toute façon, la règle d'or de la prise de l'échantillon depuis un volume de lubrifiant en mouvement, doit toujours être appliquée. Les figures 2 et 3 montrent les installations possibles.

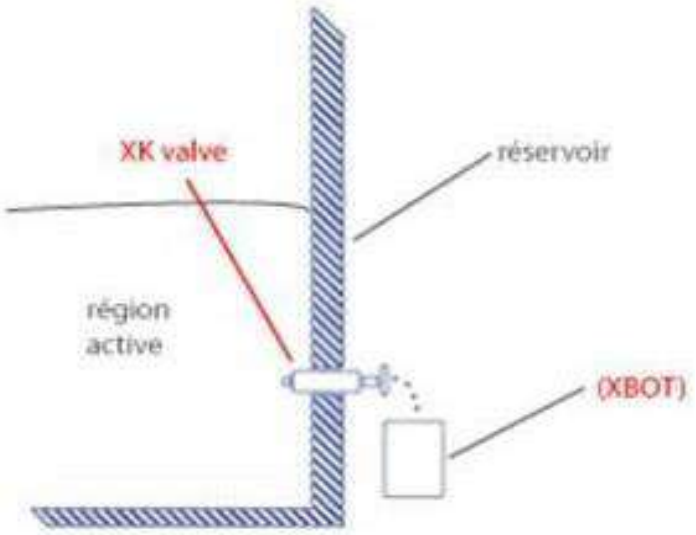


Figure III.10 : Echantillonnage d'une valve XK dans le réservoir.

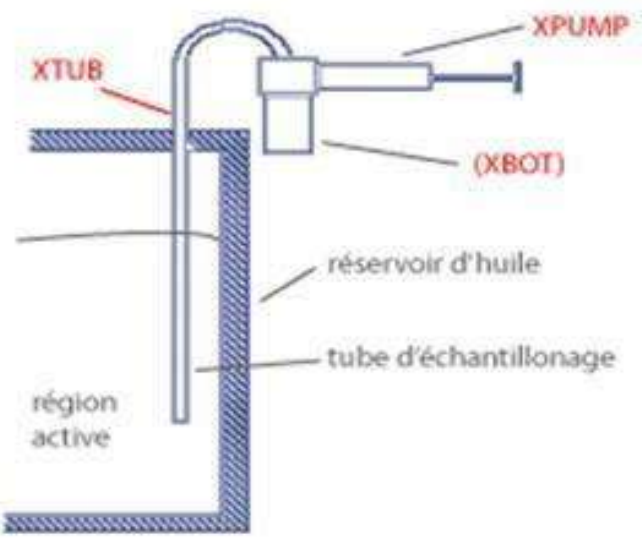


Figure III.11 : Comment utiliser un tube d'échantillonnage et pompe succion.

Il est pratique d'avoir un robinet de drainage sur le réservoir ou le boîtier de l'équipement. Seulement un léger drainage est nécessaire pour débarrasser la soupape de tous les débris accumulés. S'il n'y a pas de robinet d'échantillonnage sur l'équipement, un tube et une pompe à vide doivent être utilisés. Le tube peut être inséré dans le reniflard à chaque fois mais ceci est peu pratique et cette méthode est propice à la contamination de l'échantillon, lorsque le tube frotte sur les parois internes ou externes du boîtier de l'équipement. Il est recommandé d'installer le tube de façon permanente. L'échantillonnage devient donc plus facile et rapide, étant donné que l'on n'a qu'à brancher la pompe à l'extrémité du tube.

III .10 Analyse et diagnostic des lubrifiants :

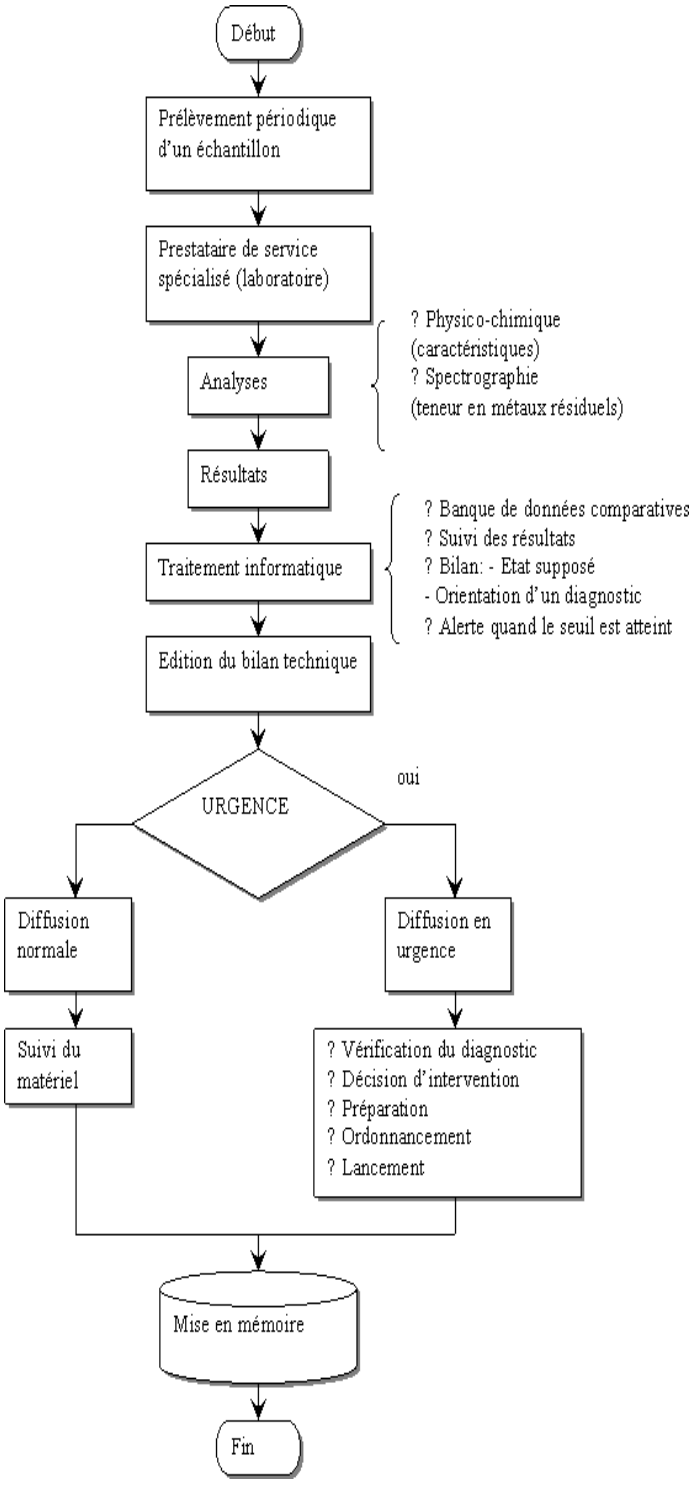


Figure III.12 : technique de diagnostic. [24].

Conclusion :

Le lubrifiant est comparable au sang de la machine. Il reflète le comportement et l'état du système dans lequel il circule. Le suivi de ses caractéristiques physico-chimiques permet d'apprécier l'état de dégradation de l'huile ainsi que l'usure de certains organes, ceci permet de connaitre son aptitude à remplir totalement ses fonctions initiales de lubrification.

Le diagnostic des machines tournants par analyse d'huile permet de diminue le cout de notre machine, et augmenter la dirie de vie, il faut faire l'analyse chaque période pour éviter le pane et la fatigue.

CHAPITRE 04 :

Application sur une turbine à gaz Siemens V94.3A

Introduction :

Les turbines à gaz font partie de la catégorie des turbomachines définie comme étant des appareils dans lesquels a lieu un échange d'énergie entre un moteur tournant autour d'un axe à vitesse constante et un fluide en écoulement permanant. Selon le type de fluide utilisé, dit fluide actif ou fluide moteur, on a affaire à une turbine hydraulique, une turbine à vapeur, une turbine à gaz. Dans ce dernier cas, le fluide moteur le plus fréquemment utilisé provient des gaz de combustion d'un combustible solide liquide ou gazeux. Selon le type d'énergie délivré, les turbines à gaz se répartissent en 2 classes : d'une part les turbomoteurs fournissent de l'énergie mécanique disponible sur un arbre et d'autre part, les turboréacteurs fournissent de l'énergie cinétique utilisable pour la propulsion.

IV .1/description de la turbine à gaz :

Les turbines à gaz siemens/KVU sont des machines à un seul arbre ayant une seule enveloppe. Elles sont aptes à faire fonctionner des générateurs dans des centrales à la charge de base et à la charge de crête. Ainsi qu'à des applications de commandes mécaniques.

On peut utiliser ces turbines dans des cycles combinés et pour des applications de réchauffage de district. Elles peuvent fonctionner par des combustibles liquides, tels que l'huile combustible légère, ou par des combustibles gazeux ayant des valeurs calorifiques différentes, tels que gaz Naturel ou gaz de haut fourneau.

IV .1.1Définition V94.3A:

C'est une machine qui transforme l'énergie thermique en énergie mécanique. Elle est composée d'un ou plusieurs compresseurs rotatifs, de dispositifs thermiques pour chauffer le combustible (chambre de combustion), une ou plusieurs turbines, système de contrôle et autres équipements auxiliaires essentiels.

Tout échangeur (sauf l'échangeur de récupération de chaleur) installé dans le circuit du combustible principal est considérée comme étant partie de la turbine à gaz. [1]

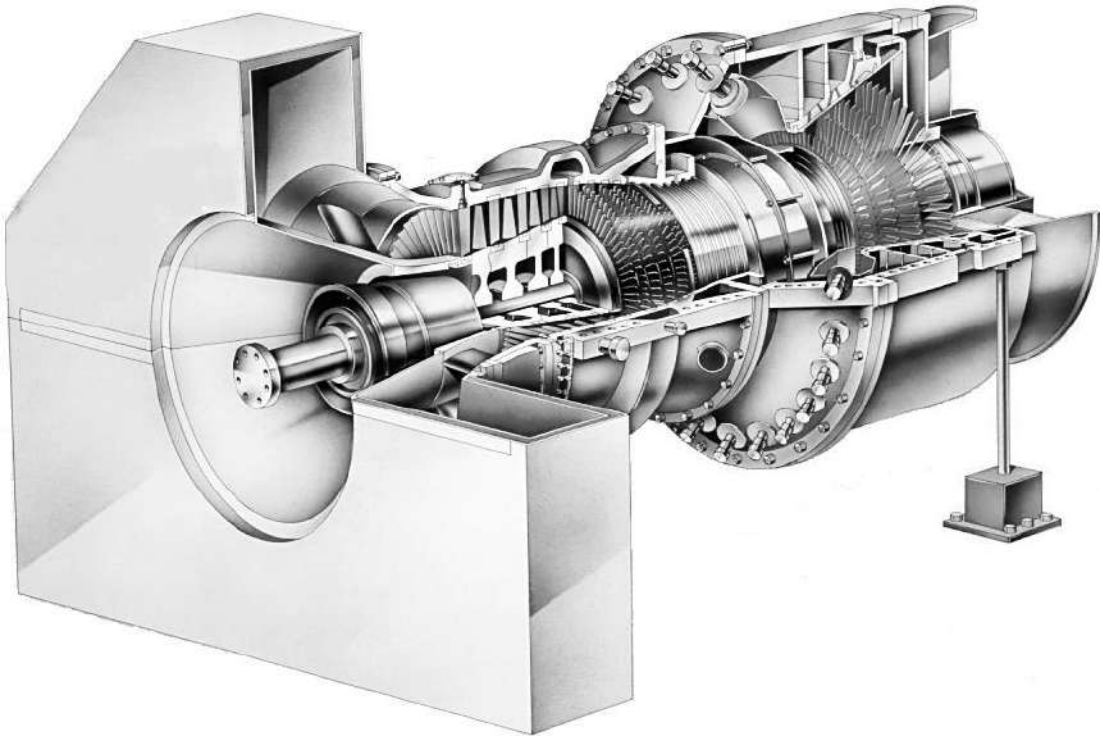


Figure IV.1 : Turbine à gaz avec chambre de combustion annulaire et bruleur hybrides (HBR).

IV .1.2 Principes de fonctionnement :

La fonction de la turbine a combustion est de convertir l'énergie chimique en provenance de combustible fossile en énergie mécanique tournante pour actionner un générateur électrique.

Le modèle Siemens V94.3A de turbine à gaz est une turbine à gaz monobloc de conception lourde avec un axe commun pour le compresseur et la turbine, et une puissance nominale approximativement de 271 MW en fonctionnant avec du méthane 100%. Elle est conçue pour assurer un fonctionnement continu, sûr, et économique fournissant la fiabilité maximum et sans chauffage, vibration, ou bruits excessifs.

La turbine à combustion V94.A3 comporte une grande variété d'avancées techniques d'ingénierie et de caractéristiques de conception qui ont été prouvés par un fonctionnement opérationnel à succès.

La turbine à gaz est un moteur constitué de trois éléments Principaux

- **Compresseur CR :**

Composé par une série d'aubes mobiles (rotor), qui communiquent de l'énergie cinétique au fluide (air) et qui sont suivies alternativement par des aubes fixes (stator) qui transforment l'énergie cinétique en énergie potentielle de pression



Figure IV.2 : Compresseur.

La perte de puissance due à l'encrassement des aubes peut être récupérée par un lavage du compresseur. La périodicité de nettoyage est déterminée en fonction de la baisse des performances de la turbine. La procédure de nettoyage comprend une période de refroidissement.

- **Chambre de combustion CC :**

Figure IV.3: Chambre de combustion CC



Une chambre de combustion CC dans laquelle est introduit un combustible liquide ou gazeux qui, en brûlant, consomme partiellement l'air amené par le compresseur et

élève la température de ce mélange air-gaz de combustion, ce qui augmente en même temps son volume.

La turbine à gaz est dotée de 24 bruleurs hybrides répartis régulièrement sur le périmètre de la chambre de combustion annulaire afin d'assurer une zone de température homogène dans l'enceinte. Cette conception assure l'écoulement concentrique de l'air entre le compresseur et la chambre de combustion, puis des gaz entre la chambre de combustion et la turbine, ce qui se traduit par une perte de charge minimale.

- **La turbine TU :**

Une turbine TU, dans laquelle le mélange air-gaz sortant de la chambre de combustion à la pression obtenue après compression se détend dans plusieurs étages pour produire de l'énergie mécanique. Cette énergie sert à entraîner le compresseur d'air et à fournir à l'arbre une puissance utilisable, recueillie par exemple par un alternateur.

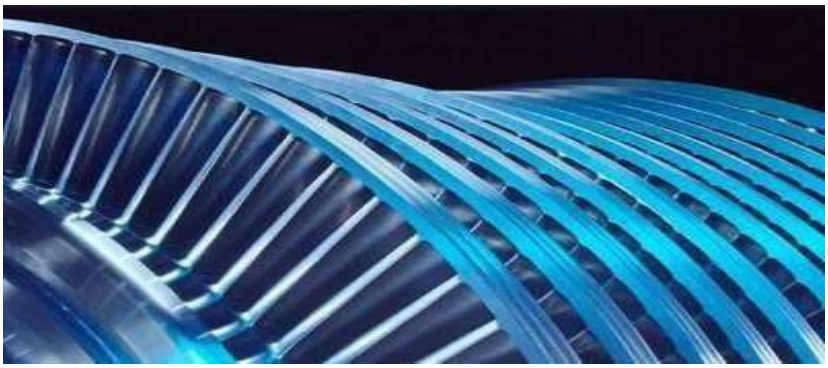


Figure IV.4: Turbine.

Les gaz chauds issus de la chambre de combustion se détendent dans une turbine à quatre étages. Les aubes mobiles de la turbine sont constituées d'une paie, d'un bandage intérieur et du pied. En raison des importantes contraintes thermiques et mécaniques auxquelles elles sont soumises, les aubes des trois premiers étages sont dotées d'un revêtement de protection contre la corrosion à hautes températures. [1-30]

- **Schéma de base :**

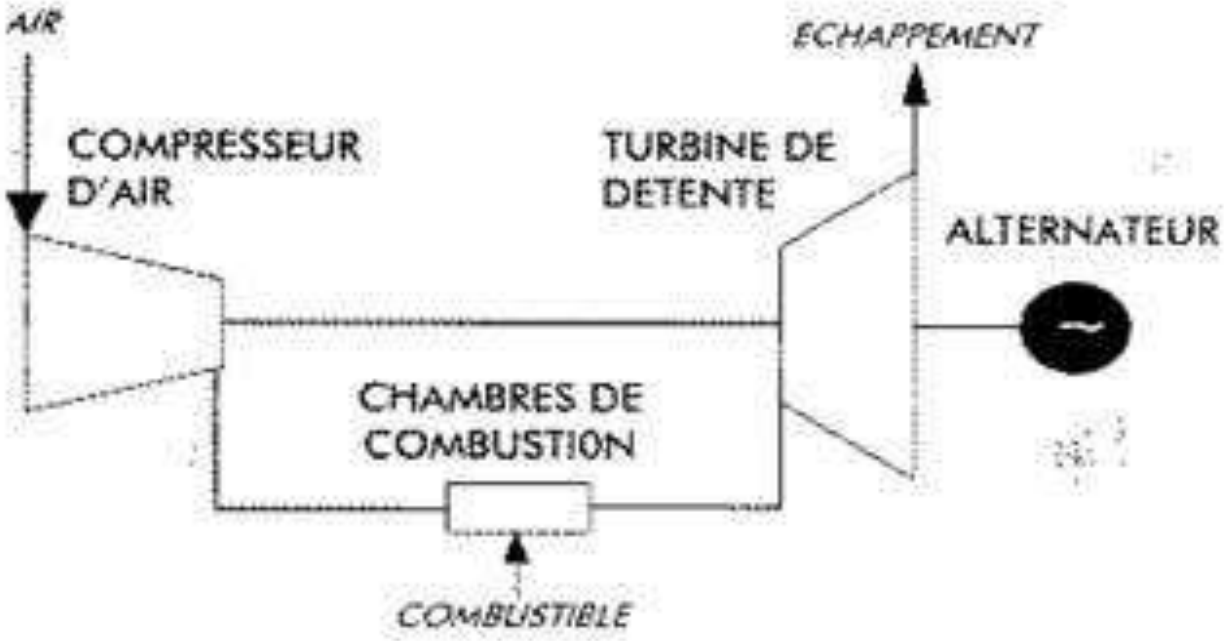


Figure IV.5 : Schéma descriptive de la turbine à gaz

IV .1.3 les différents circuits :

IV .1.3.1 circuits de lubrification (graissage par huile) :

Fonction :

La fonction du système d'huile de lubrification est d'assurer une alimentation continue en huile filtrée à la température et à la pression requise afin de répondre aux besoins de lubrification et de refroidissements de l'alternateur et de la turbine de combustion. Par ailleurs, le système d'huile de lubrification:

Soulève l'arbre avec de l'huile de soulèvement lorsque la turbine tourne à faible vitesse.

Fournit le liquide de fonctionnement pour le vireur hydraulique de la turbine à combustion.

Maintient un vide dans la tuyauterie de retour et dans le réservoir pour éviter les fuites d'huile et de vapeur.

Refroidit l'huile pour extraire la chaleur produite par les frottements, par les pertes de charge et par l'arbre chaud de la turbine.

BASE DE CONCEPTION :

Le système d'huile de lubrification doit fournir un débit d'huile adéquat tout en maintenant la température de l'huile d'alimentation des paliers entre environ 43 et 54 °C. Les pompes à huile de lubrification ont pour tâche de créer une pression de refoulement d'environ 5,5 bars. La baisse de pression de l'huile de lubrification active automatiquement la pompe en réserve et/ou de secours, les alarmes et le déclenchement de la turbine.

Le système sert également à soulever l'arbre quand il tourne à faible vitesse, pour protéger les paliers, et à faire tourner le rotor à petite vitesse afin d'éviter tout fléchissement de celui-ci.

- **DESCRIPTION :**

Les principaux composants du système d'huile de lubrification sont :

- .deux pompes principales entraînées par un moteur à courant alternatif pour l'alimentation des paliers en huile (pompes de pleinecharge).
- .une pompe à huile de secours entraînée par un moteur à courant continu
- .deux pompes à huile de soulèvement entraînées par un moteur à courant alternatif
- . un réservoir
- .un filtre duplex à huile de palier.
- .trois réfrigérants d'huile qui contiennent chacun deux ventilateurs.
- .deux ventilateurs d'extraction de vapeur.
- .un filtre duplex à huile de soulèvement.
- .des orifices réglables.
- .un vireur hydraulique.

.une vanne de régulation de la température.

- .Le système utilise divers commutateurs et indicateurs de pression et de niveau pour surveiller l'état du système.

.Les pompes à huile principales alimentent les paliers en huile de lubrification pendant toutes les périodes de fonctionnement normal de la turbine. La pompe de secours alimente les paliers en huile de lubrification lorsque la pression de refoulement de la pompe principale est trop faible. La turbine à combustion (CT) ne

peut fonctionner quand l'alimentation en huile se fait uniquement par le biais de la pompe de secours. Les pompes à huile de soulèvement alimentent en huile à haute pression les paliers ainsi que le vireur hydraulique de la turbine à combustion durant les opérations d'huile de soulèvement. Une pompe principale et deux pompes de soulèvement sont utilisées pour l'alimentation en huile de lubrification, en huile de soulèvement et en huile du vireur lors du fonctionnement en virage.
Avant de pouvoir commencer à faire tourner la turbine à combustion, il faut que la température de l'huile de lubrification soit supérieure à 25 °C. Les pompes à huile principales permettent de chauffer l'huile durant les arrêts de la turbine à combustion et à vapeur en transférant de la chaleur par friction et par circulation. Une pompe à huile de palier démarre si la température du réservoir descend au-dessous de 25°C mais est protégée lorsque la température atteint 35°C. Un réfrigérant empêche la température d'augmenter au-delà de la plage de sûreté durant le fonctionnement de la turbine. [30]

Le tableau (IV.1) donne la désignation des instruments de mesure et les valeurs de consigne de température du système d'huile de lubrification.

Tableau IV.1. Valeurs de consigne de température de l'huile.

Tableau 1. Valeurs de consigne de température de l'huile		
Appareil	**Consigne**	**Action**
MBV10CT001A/B LO TANK TEMP	<10° C	Alarme de température basse
	<10° C	Empêche démarrage pompe huile (Etape 1 - MAV10EC001)
	<15° C	Active la pompe d'huile de lubrification pour chauffage
	>10° C	Autorise démarrage CT
	>20° C	Désactive pompe huile lubrification si pour chauffage
MBV23CT010A/B LO Cooler Fan Control	>40° C	Démarre groupes ventilateurs AN10 et AN20
	>50°C	Démarre groupe ventilateur AN30
	<35° C	Démarre groupe ventilateur AN30
	<20° C	Démarre groupe ventilateur AN20
	<0° C	Démarre groupe ventilateur AN10
MBV26CT101A/B Bearing Supply Temp	>58° C	Alarme de température haute
Temp Control Valve	38° C	Valeur maximum du contournement réfrigérant
	49° C	Valeur minimum du contournement réfrigérant

Réservoir d'huile de lubrification principal:

Le réservoir d'huile principal contient l'huile nécessaire à la lubrification et au refroidissement des paliers, au système d'huile de soulèvement et aux vireurs hydrauliques. La capacité du réservoir est telle que l'huile qu'il contient ne circule pas plus de 10 fois par heure. L'huile séjourne donc environ 6 minutes entre son entrée dans le réservoir et son aspiration par les pompes. au système d'huile de soulèvement et aux vireurs hydrauliques. [31]

Pompes à huile principales (MAV21AP021 & 022), (pompe de pleine charge):

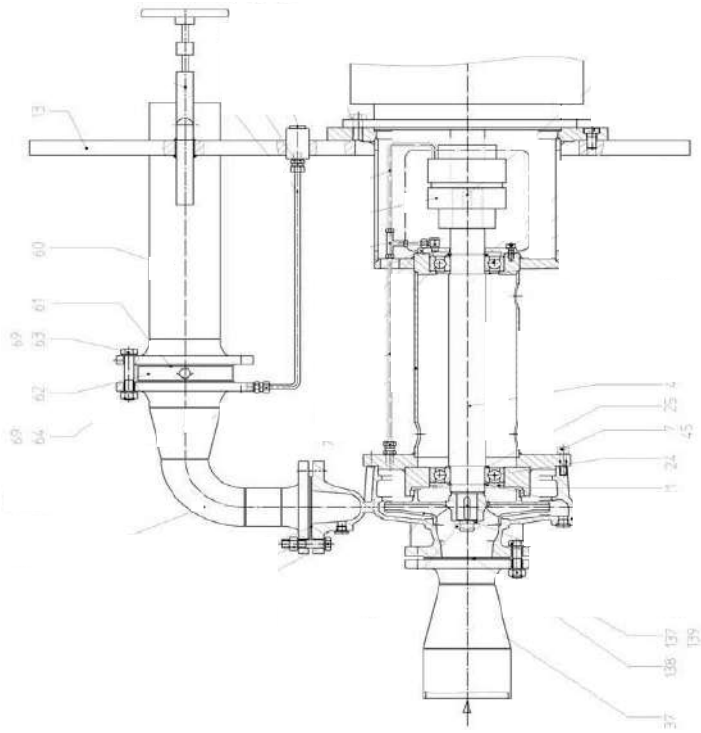


Figure IV.6: Pompe à huile de lubrification.

Les pompes principales (de pleine charge) sont des pompes centrifuges monocellulaires à admission unilatérale et à axe vertical. Elles sont installées sur le couvercle du réservoir d'huile et immergées dans l'huile du réservoir principal. L'huile entre dans le corps d'aspiration par le bas et est envoyée dans le système d'huile via la conduite de refoulement.

Les deux pompes à huile de lubrification, qui sont conçues pour fonctionner à 100 % du débit nominal du système. Leur hauteur de refoulement est d'environ 5.5 bars.

IV .1.3.2 circuit de refroidissement (circuit d'air):

- **Fonction :**

Le système d'air d'étanchéité apporte l'air froid provenant de la sortie du compresseur aux brûleurs à combustible liquide (fioul) durant les opérations de combustible liquide. Les turbines à gaz équipées de brûleurs à combustible liquide et qui fonctionnent également au gaz combustible ont besoin d'un débit d'air froid provenant de la sortie du compresseur, qui approvisionne au moyen des tuyères de brûleur, empêche la surchauffe et protège les becs de brûleur de combustible liquide d'éventuelles défaillances. L'air d'étanchéité empêche la recirculation de gaz chauds qui pourrait se produire durant le fonctionnement au gaz naturel. La recirculation des gaz chauds peut détériorer les tuyères de combustible liquide. L'air de sortie du compresseur est refroidi afin d'atteindre la réduction de température nécessaire. Un échangeur thermique d'air froid que fournit le ventilateur d'air d'étanchéité avec l'air atmosphérique refroidit le débit d'air échappé du compresseur.

- **Base de conception** :

Sans une étanchéité/un refroidissement actif des brûleurs, les gaz chauds provenant de la chambre de combustion pourraient surchauffer et endommager les brûleurs. Un air d'étanchéité actif empêche le cokage du combustible liquide et l'entartage des lances du brûleur de combustible liquide.

- **Discussion :**

L'air échappé de la sortie du compresseur est utilisé comme air d'étanchéité. L'air échappé de la sortie du compresseur passe par une conduite à travers un échangeur thermique (refroidisseur air-air). L'agent de refroidissement (air atmosphérique) est aspiré au travers d'un filtre par deux ventilateurs fonctionnant à 50%. Les ventilateurs déchargent vers l'atmosphère après que l'air soit passé par un filtre.

Tableau IV.2 : différents détecteur de température.

Point de consign	**Action**	**Détecteurs**
90C	Température de refroidissement d'air d'étanchéité < Alarm MIN	Moyenne des 3 Détecteurs
130C	Point de consigne de la température de l'air d'étanchéité	Moyenne des 3 Détecteurs
180C	Température de refroidissement d'air d'étanchéité > Alarm MAX	Moyenne des 3 Détecteurs
220C	Déclenchement de protection de température d'air d'étanchéité	Déclenchement de la TG 2 sur 3

La température de l'air d'étanchéité froid se mesure par une série de trois thermomètres à résistance. Les points de consigne correspondant à ces détecteurs de température sont indiqués ci-dessous:

Selon les positions des robinets à sphère tournante d'air d'étanchéité, l'air d'étanchéité est déchargé par les brûleurs de diffusion et de pré mélange de combustible liquide.

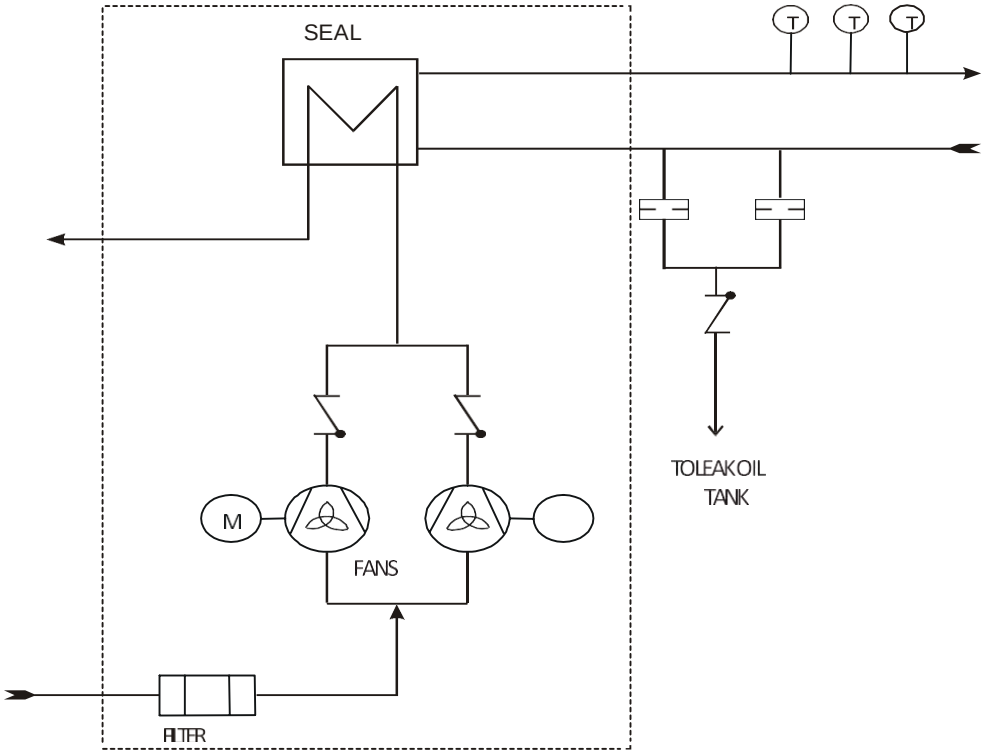


Figure IV.7 : Système D'Air d'Etanchéité pour les Brûleurs.

- **Fonction principale du refroidissement :**

L'alimentation d'air aux ventilateurs à fréquence variable par le refroidisseur s'effectue indépendamment de la sortie du turbo-alternateur. Ce qui signifie que l'air d'étanchéité provenant de la sortie du compresseur est toujours activement refroidi par le fonctionnement des ventilateurs.
Le ventilateur pour le refroidisseur d'air d'étanchéité s'arrête seulement durant le fonctionnement en mode de pré mélange de combustible liquide (Les brûleurs de diffusion et de pré mélange de combustible liquide sont actifs et tous les robinets à tournant sphérique d'air d'étanchéité sont fermés). Lorsque la turbine à gaz fonctionne au gaz naturel, en revanche, de l'air d'étanchéité activement refroidi approvisionne les brûleurs de diffusion et de pré mélange de combustible liquide.

méthode de prélèvement de l'huile de lubrification :

Placer le tuyau au fond de la bouteille d'échantillonnage. Ouvrir vite la vis d'arrêt ou la vanne et remplir la bouteille. Rincer la bouteille avec un soin et la vider jusqu'à ce qu'environ 3 à 5 fois son volume alt. écoule dans le réservoir e trop-plein.

Ensuite réduire le flux de l'huile et déplacer la bouteille d'échantillonnage vers le bas afin de l'écarter du tuyau dès que la bouteille est écartée du bout du tuyau, continuer le remplissage jusqu'au bord, et fermer la bouteille tout de suite pour qu'elle soit étanche a air .la procédure décrite doit être effectuée rapidement er doucement, sans interruption, il s'agit de réduire le contacte entre l'échantillon et l'atmosphère autant que possible. [1-31]

méthode de mesure et appareillage :

IV .3.1 La densité

Principe :

Le but de cette propriété est de mesurer le rapport de masse volumique de l'huile de lubrification de TAG et le liquide de référence (l'eau), pour l'identification et le contrôle de la dégradation de l'huile TAG ISO VG 46 vierge et en fonction de son usage dans la TAG

- .Appareillages
- .Pycnomètres
- .Une balance
- .Un bain thermostat

- .Thermomètre



Figure IV.8 : Pycnomètre.

Les conditions opératoires :

Teau= 4 C°, TH= 15 C°

- **Le mode opératoire :**

Peser le pycnomètre vide (m0), ensuite le remplir avec de l'eau distillée prise à4°C.
Placer le pycnomètre rempli d'eau dans le bain thermostat pendant au moins 15 min. à une température donnée (15C°). Retire le pycnomètre du bain.
l'essuyer avec du papier absorbant et le peser à nouveau remplis avec de l'eau(m1).
Remplir le pycnomètre vidé et séché de l'huile à tester, puis le plonger dans le bain à la même température que l'essai précédent (15C°), attendre15min.
Finalement, peser le pycnomètre avec l'huile (m2). Le calcul de la densité se fait comme suit:

$$D4^{15} = (m2 - m0) / (m1 - m0).$$

IV .3.2 La viscosité

- **Principe :**

Le but de cette manipulation est la détermination de temps nécessaire pour qu'un volume de produit s'écoule, dans des conditions normalisées. La viscosité l'huile de lubrification se mesure à 40°C et à 100°C, par un capillaire calibré.

- **Appareillages :**

- viscosimètre Cannon-Fenske présenté dans la figure (IV.9) suivante, à tube ascendant pour liquides opaques (2 boules), série 300 constante 0.25 Viscosité minimum 50 cSt, viscosité maximum 200 cSt, selon ASTM D445-IP71, avec certificat d'étalonnage.

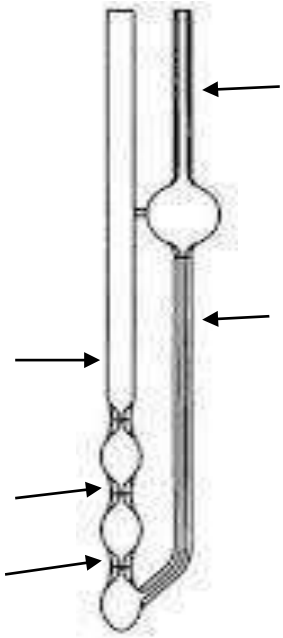


Figure IV.9 : Viscosimètre à capillaire Cannon-Fenske.

Bain viscosimètrique rempli d'eau, pour une viscosité à 40 °C de modèle PMT TV2000 comme le représente la figure (IV.10.a).

Bain viscosi mètrique rempli de l'huile de silicone pour une viscosité à 100°C de modèle ISL TVB445 comme la représente la figure(IV.10.b).

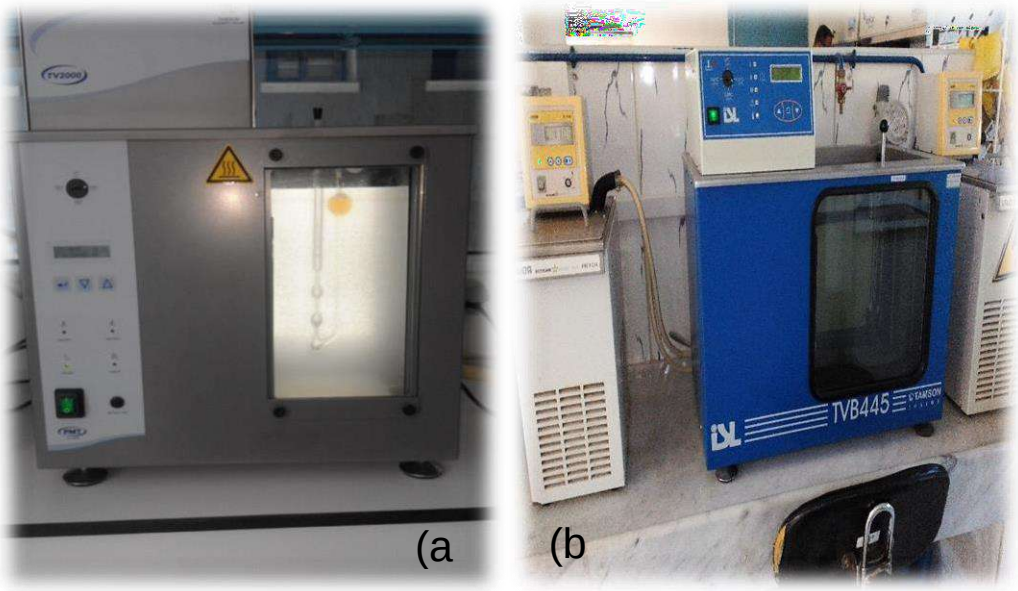


Figure IV.10: Bain viscosimètrique à 40°C (a) et bain viscosimètrique à 100°C (b).

- **Mode opératoire:**

Mettre en place le viscosimètre à l'aide du support adapté, obturer le tube « N » avec un bouchon.

Attendre que le liquide contenu dans le viscosimètre atteigne la température de mesure. Un temps de 20 minutes est généralement suffisant.

Enlever le bouchon obturant le tube « N » et laisser le liquide s'écouler librement à travers le capillaire « R».

A l'aide d'un chronomètre mesurer en secondes le temps mis par le ménisque pour passer de la marque « E » à la marque « F », et avec un autre chronomètre de la marque « F » à la marque « I».

Calcule de la viscosité cinématique en utilisant le coefficient d'étalonnage de chaque bulbe comme suite :

$\mu = C1 \times t1 + C2 \times t2$

D'où : C_1 et C_2 : sont les coefficients d'étalonnage des bulbes 1 et 2 respectivement.

IV .3.3 Indice de viscosité

- **Le Principe:**

  Le but de l'indice de viscosité est la caractérisation de la qualité d'une huile lubrifiant vierge ou usagée, à avoir une viscosité plus ou moins stable en fonction de la température.

- **Méthode de mesure** :

L'indice de viscosité de l'huile étudiée a été déterminé suivant la norme ASTM D 2270 à l'aide de la table ASTM (abaque de Groff) représentée sur la figure (II-1-4). Cette table fixe directement l'indice de viscosité en croisant des valeurs de viscosité cinématique à 40°C et à 100°C.

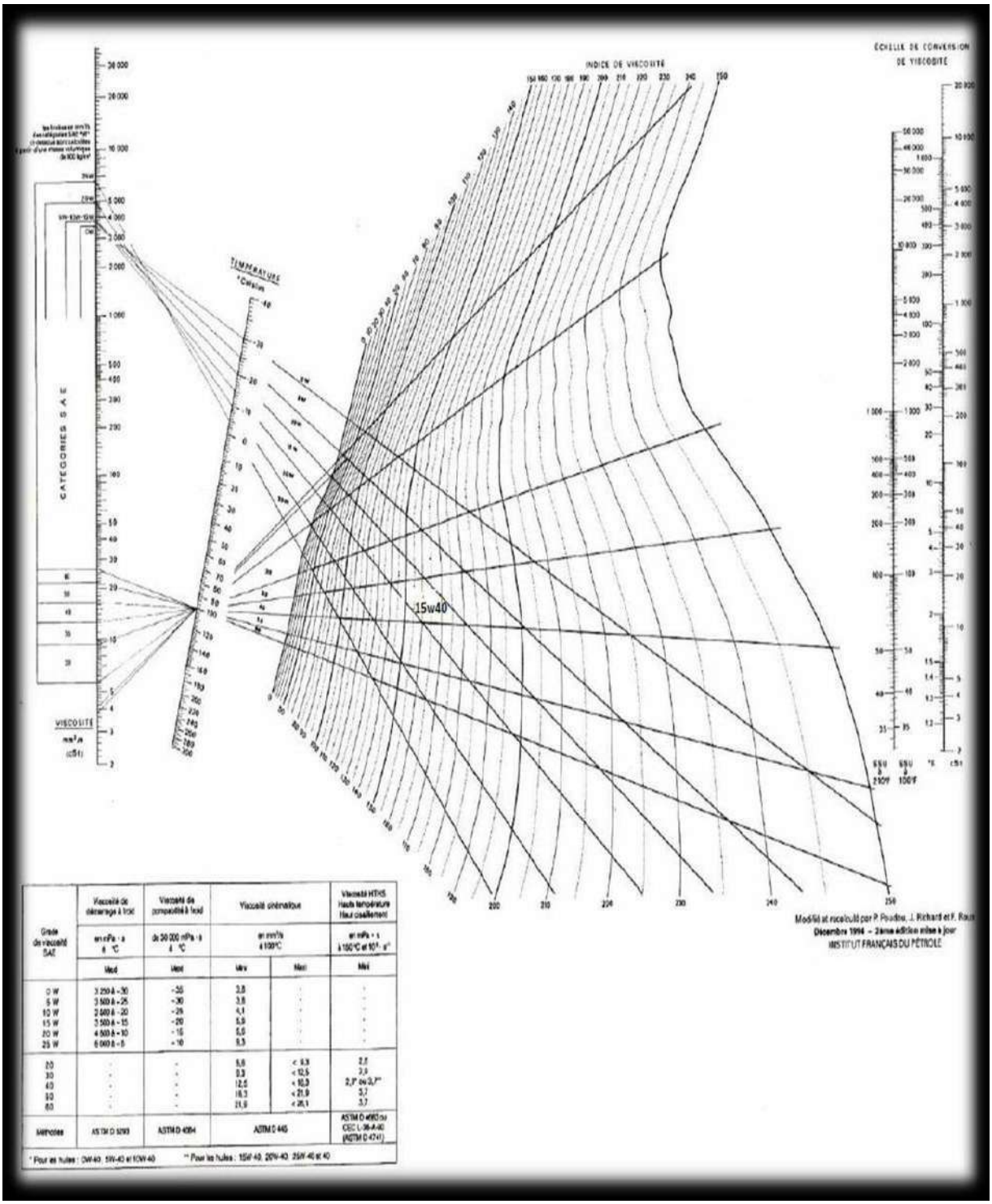


Figure IV.11. Abaque de Groff.

Résultats et discussion :

D'apprêt l'appareillage on va présenter les résultats expérimentaux de caractéristique physico-chimique d'une huile de TAG V94.3A de ISO VG 46 de signification Shell

turbo oïlT46 par un tableau comparatif et on va faire un diagnostic sur les caractéristiques basics :

comparaison des résultats

Tableau(IV.3) : Tableau comparatif de TG11 :

Paramètre	Norme	Unité de mesure	Fiche techniques	Résultat d'Analyse				
				Résultat du 03/05/2015	Résultat du 16/08/2016	Résultat du 20/03/2017	Résultat du 20/11/2018	Résultat du 20/06/2019
Aspect	IEC 60296	Visuel		Limpide	Limpide	Limpide		
Couleur	ASTM D 1500	-		5.0	5.6	5.9	3.9	5.0
Masse volumique à 15°C	SO 3675	g/cm3		0,886	0,880	0.873	0.870	0.780
Viscosité cinématique à 40°C	ASTM D 455	Cst	41,4-50,6	47,77	47,48	46,8	45,43	45.33
Viscosité cinématique à 100°C	ASTMD 445	Cst		6,88	6,83	6,82	6,79	6,78
indice de viscosité	ASTM D 2270			117	113	109	106	96
acidité totale	NF ISO 6618	mg KOH/g huile		0.112	0.089	0,089	0.088	0.112
teneur en eau	CEI 60814	ppm		0,15	0,146	-	-	
Point d'éclair (vase clos)	ASTM D 93	C°	>185	220.5	194.5	194.5	190.0	188.0
test de des émulsions	NF ISO 6614	mlH/mlE/mlEM/min		39/38/03/08	39/38/03/18	39/38/03/16	38/39/03/12	39/38/03/08
propriétés antirouille	ASTM D 665	-		pas de corrosion	pas de corrosion	pas de corrosion	-	-

Tableau(IV.4) : Tableau comparatif de TG12 :

Paramètre	Norme	Unité de mesure	Résultat d'Analyse					
			Fiche techniques	Résultat du 03/05/2015	Résultat du 16/08/2016	Résultat du 20/03/2017	Résultat du 20/11/2018	Résultat du 20/06/2019
Aspect	IEC 60296	Visuel		Limpide	Limpide	Limpide		
Couleur	ASTM D 1500	-		5.0	3.0	3.1	6.5	6.4
Masse volumique à 15°C	SO 3675	g/cm3		0.877	0.876	0.876	0.874	0.870
Viscosité cinématique à 40°C	ASTM D 455	Cst	41,4-50,6	47,85	47,56	47,36	45,48	45.43
Viscosité cinématique à 100°C	ASTMD 445	Cst		7,01	7,00	6,88	6,84	6.72
indice de viscosité	ASTM D 2270			103	103	102	94	94
acidité totale	NF ISO 6618	mg KOH/g huile		0.112	0.056	0.076	0.231	0.074
teneur en eau	CEI 60814	ppm		0,15	0,146	-	-	
Point d'éclair (vase clos)	ASTM D 93	C°	>185	218.5	197	196.0	194.5	194
test de des émulsions	NF ISO 6614	mlH/mlE/mlEM/min		38/39/03/10	39/38/03/16	39/38/03/16	38/39/03/08	39/38/03/08
propriétés antirouille	ASTM D 665			pas de corrosion	pas de corrosion	pas de corrosion	-	-

IV .4.2/Diagnostic et interprétation :

La densité :

La figure (IV.12) représente l'allure de l'évolution de la densité d'huile en fonction des années. D'après les résultats obtenus, on remarque que la densité de l'huile turbine diminue au cours de l'utilisation cela dû à une contamination de l'huile en raison d'une dilution du carburant et/ou de l'eau provenance à partir de la combustion du carburant dans TAG. [32]

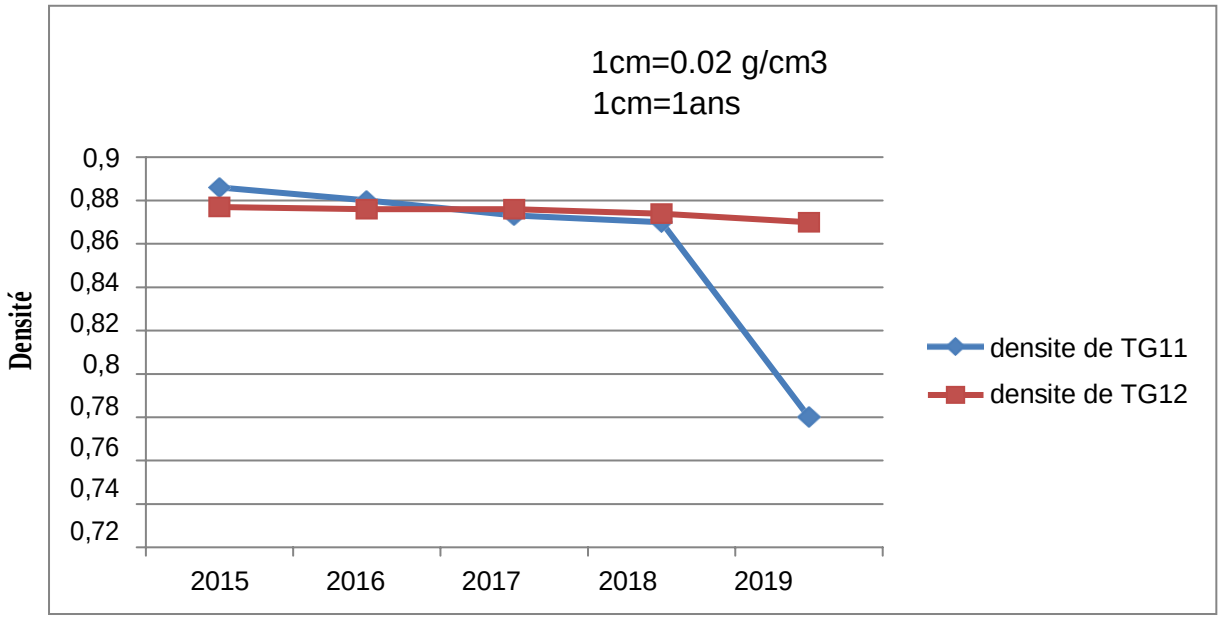


Figure IV.12. Evolution de la densité de l'huile TG11 et TG12 en fonction des années.

La viscosité

Les deux figures ci-dessus (IV.(13/14)) représentent l'évolution de la viscosité de l'huile de TG11 et TG12 mesuré à 40°C et à 100°C ; d'après les résultats obtenus on remarque une diminution de la viscosité en fonction des années, nous pouvons considérer il y'a un problème d'augmentation dans la température et une diminution dans la pression, aussi la diminution de la viscosité dépend par l'oxydation qui

diminue le pouvoir épaississant des additifs polymère améliorant l'indice de viscosité ,aussi la pollution d'huile par l'eau qui produise l'humidité qui diminue la viscosité par la cisaillement mécanique des molécule d'huile.

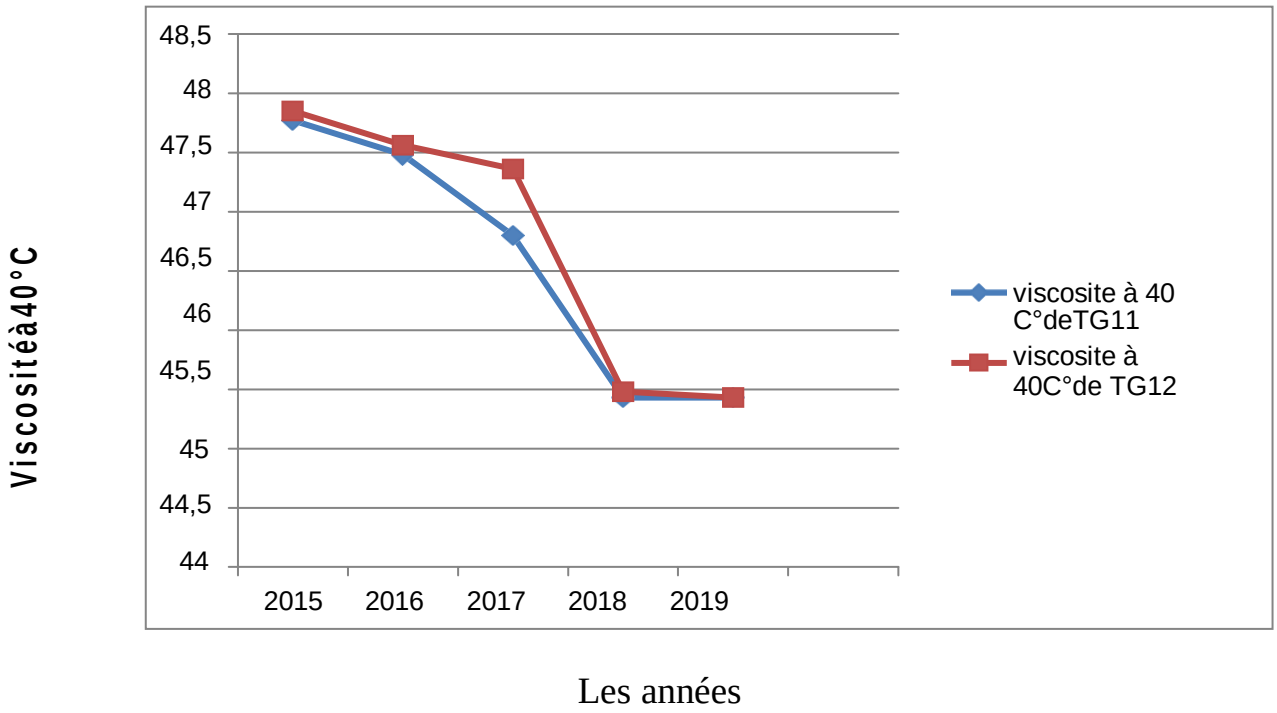


Figure IV.13: Evolution de la viscosité de l'huile de TG11 et TG12 à 40°C en fonction des années.

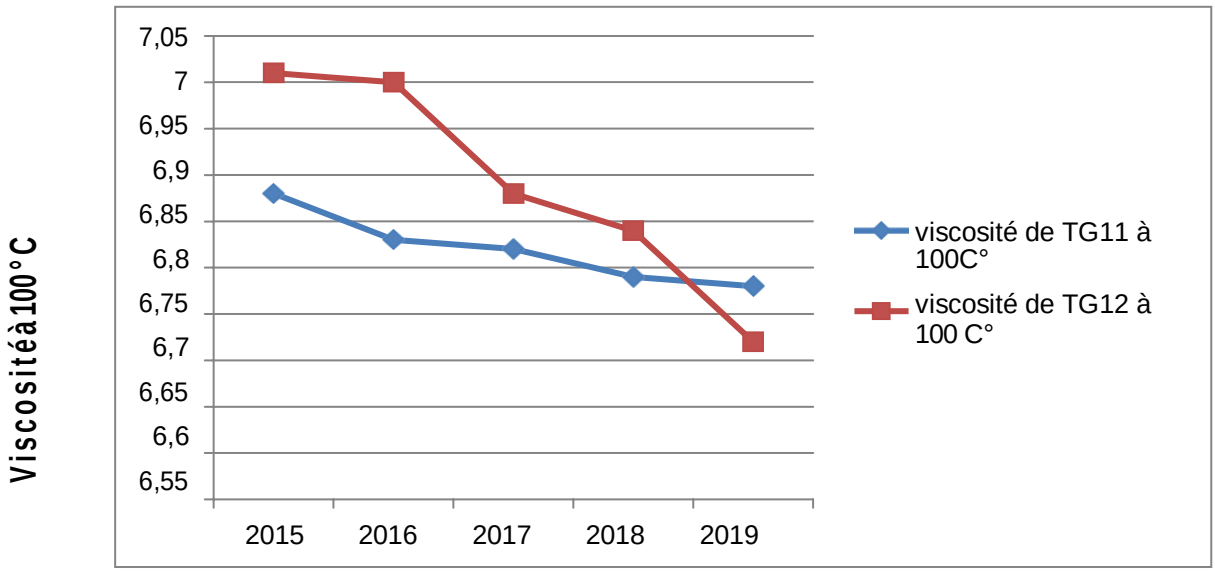


Figure IV.14: Evolution de la viscosité de l'huile de TG11 et TG12 à 100°C en fonction des années

Indice de Viscosité :

La figure (IV.15) représentent l'évolution de l'indice de viscosité de l'huile de TG11 et TG12 ; on remarque que cet Indice a baissé, cela signifie qu'il y avait une dégradation du polymère qui améliore l'indice de viscosité, par cisaillement, ou par des coupures thermiques, ou bien thermo oxydant. En sachant que l'huile devient très sensible au gradient de température. [32]

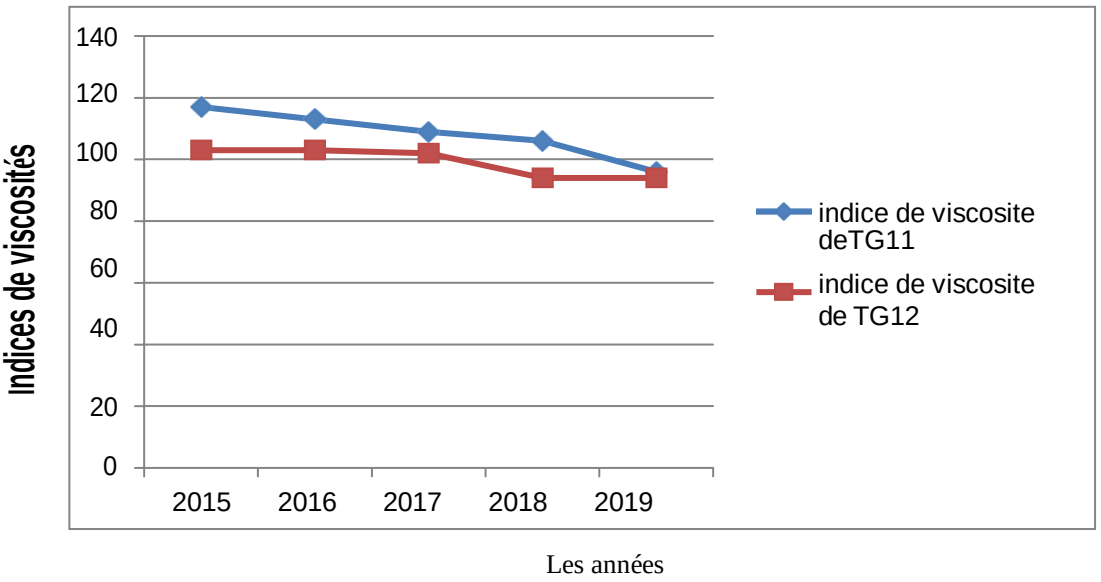


Figure IV.15: Evolution de la l'Indice de Viscosité de l'huile de TG11 et TG12 en fonction des années.

Conclusion :

Dans ce chapitre nous avons vu un cas pratique (machine de la fatigue), sur les deux turbines TG11 et TG12, et par la méthode d'analyse d'huile nous avons effectué des essaies sur les caractéristique physico chimique de lubrifiant de TG11 et TG12 'ISO VG64'.

Nous avons comparé ces résultats, et nous avons dessiné des graphes. D'apprêt les trois caractéristiques basics .nous remarquons que ces caractéristiques diminuent cause d'augmentation de la température et l'oxygène dans la chambre de combustion .ces problèmes diminuent la fiabilité et la dirie de vue de TG11 et TG12, par l'oxydation qui se produisant sous l'action conjuguée de l'oxygène et de la température.

Conclusion Générale

Conclusion Générale

L'analyse d'huile en tant qu'instrument de maintenance industrielle commence à être appliquée dans des secteurs précis de l'industrie. Elle est peu à peu adoptée un peu partout comme méthode pour détecter des pannes précoces sur des équipements complexes comme les turbines à gaz.

Actuellement, le développement d'équipements de laboratoire ou l'innovation dans les pratiques de maintenance ont placé l'analyse d'huile parmi les méthodes incontournables dans de nombreux secteurs industriels, grâce aux bénéfices qu'elle apporte.

L'analyse d'huile permet de déterminer la condition de l'équipement, mais aussi l'état même de l'huile utilisée, puisqu'il détecte la contamination et la dégradation de l'huile elle-même, avant que ces circonstances provoquent la panne de l'équipement.de cette manière, et grâce à un programme de maintenance bien géré, les entreprises peuvent éviter les coûts que cela entraîne pour les pièces de rechange, le changement d'huile avant son heure et bien sûr les arrêts non programmés qui génèrent des problèmes plus.

On va la maintenance de planification des actions de maintenir et de rétablir l'état de bon fonctionnement d'une turbine à gaz et d'assurer leur disponibilité pour la production avec une préservation de l'environnement et la sécurité par des coûts optimaux.

Malgré tous les développements et amélioration de la technologie d'analyse d'huile. et parfois .nous ne pouvons pas déterminer l'erreur en raison de la difficulté à détecter et la méthode d'analyse d'huile n'est pas suffisante.

Dans le cadre de la surveillance par l'analyse d'huile, et du diagnostic de défauts dans les turbine, les paliers ont fait et font encore l'objet de nombreuses études, ce sont des éléments très sollicités et susceptibles de présenter des défauts qui évoluent rapidement vers la détérioration.

Il y aura de développement dans le future pour travailler sur la maintenance en générale, là nous espérons donc trouve des moyens plus faciles et meilleurs, afin diagnostic des défauts les machines tournantes par analyse d'huile.

Références bibliographiques

Les références bibliographiques

[1].fiche technique de la centrale SKB.centrale électrique : turbines a GAZ BERROUAGIYA 2x271.

[2]. Héng Jean, « Pratique de la maintenance préventive ». Edition Dunod 2002.

[3]. Gilles DUCHEMIN, « Maintenance des machines et des moteurs », Technique de l'ingénieur BM 4 188, Edition 2006.

[4].Centrale Turbine à Gaz de Berrouaghia Manuel d'exploitation (centrale complète) Démarrage.

[5] Ch. Abdelali, et A Elamarty.PFE : « Maintenance des Machines Tournantes par Analyse Vibratoire ». Université sidi Mohamed Ben Abdellah de FFS. (Maroc), 2007.

[6] Landolsi Foued, «Cours De Techniques de Surveillance, Partie I Surveillance Des Machines Par Analyse Vibratoire».

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

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

[9] Bolaers F, Dron J.P, Rasolofondraibe L, «Prédiction et suivi de l'évolution d'un 134 écaillage de fatigue de roulement par analyse vibratoire». XVIème Congrès Français de mécanique, Nice, (2003).

[10] Philippe Arquès, Diagnostic prédictif et défaillances des machines : Théorie, traitement, analyse, reconnaissance, prédiction, TECHNIp, 2009.

[11] M .T. Nabti, « Etude de l'évolution des indicateurs spectraux et cepstraux dans la détection des défauts mécaniques ».Mémoire de Magister. Université Ferhat Abbas Sétif (2011).

[12] Dominique Pajani et Pierre Bremond, Thermographie infrarouge appliquéeà la maintenance industrielle, 110 pages,Edition broché, 1994.

[13] S. Boularand, Thermographie en maintenance, TSMI, Jean Dupuy- Tarbes, 2014.

[14] La thermographi infrarouge : https://energie.wallonie.be/servlet/Repository/thermo.PDF?IDR=456

[15] La thermographie infrarougeen maintenance prédictive, energie.wallonie.be. Édition.

[16] François Berthelot, Benoit Dupont, Guide ultrasons multiéléments, Principes et applications pour le contrôle non destructif, 2013.

[17] J.Perdijon, Le contrôle non destructif par ultrasons, Hermes 1993

[18] Manuel d'utilisation des produits et guide des services: SDT Ultrasound solutions, SKF, Fluk, Bernstein, Balluff, Baumer, Chauvin Arnaud, Testo, Ht, Flir,mps-maintenance, VIBREXON, 2018.

[19] The American Society for Non destructive Testing, Non destructive Testing Handbook, Third Edition: Volume 7, Ultrasonic Testing (UT), ISBN: 978-1-57117-105-4.

[20] N. Ben Salem, Contrôle, surveillance et analyse des huiles, 2014.

[21]. Hidaya, IZZA. Thèse doctorat. Contribution à l'étude de l'extraction par solvant des aromatiques en vue de l'obtention des huiles lubrifiantes. Université Kasdi Marbah d'OUARGLA: 10/01/2017.

[22]. CASTROL. ABC du graissage-Structure, Utilisation et propriétés des lubrifiants. Switzerland: HC-04/2006.

[23]. Ministère de l'économie des finances et de l'industrie,. Lubrifiant et produits connexes pour l'automobile : Direction des affaires juridiques, 2000.

[24]. F. MOHAMMED. Étude de la qualité des huiles lubrifiantes par des méthodes chimiométriques .thèse de master.2017.EST FES.

[25]. Lubrifiants et produits connexes pour l'automobile. Guide pratique à l'attention des acheteurs publics de lubrifiants et de produits connexes pour véhicule terrestre à moteur thermiques: Collection marchés publics, Edition 2000.

[26]. J. DENIS, J. BRIANT, J-C. HIPEAUX. Physico-Chimie des lubrifiants: analyses et essais. Paris : Edition Technip,1997.

[27]. CH. Soraya. Caractérisation physico-chimique d'une huile moteur usagée et possibilité de récupération. Thèse de master.2017.

[28].Dominique Pajani et Pierre Bremond, Thermographie infrarouge appliquéeà la Maintenance industrielle, 110 pages, Edition broché, 1994.

[29].Ondel O., «Diagnostic par reconnaissance des formes : Application a un ensemble Convertisseur – machine asynchrone» Thèse de Doctorat, Ecole centrale de Lyon, France, 2006.

[30]. Turbine à Gaz V94.3A (4) Inition à l'Exploitation BERROUAGHIA.

[31]. Centrale Turbine à Gaz de Berrouaghia Manuel d'exploitation (centrale complète) Démarrage.

[32].O. SEGHIR. L'effet du tensio-actif sur les caractéristiques des huiles lubrifiantes