

وزارة التعليم العالي و البحث العلمي

BADJI MOKHTAR-ANNABA UNIVERSITY
UNIVERSITE BADJI MOKHTAR-ANNABA



جامعة باجي مختار- عنابة

Faculté des sciences de l'ingénieur

Année 2009

Département d'Electromécanique

MEMOIRE

Présenté en vue de l'obtention du diplôme de **MAGISTER**

CONTRIBUTION A LA MISE EN PLACE D'UN CONTROLE SANTE INTEGRE SUR UN TURBOALTERNATEUR

Option :

Electromécanique

Par

KAIDI ISMAHENE

DIRECTEUR DE MEMOIRE Mr. BOURAS SLIMANE M.C U.ANNABA

DEVANT LE JURY

PRESIDENT: Mr. Aoul- Lyes HADJADJ M.C U.ANNABA

EXAMINATEURS: Mr. Mouhamed OUADI M.C U.ANNABA

Mr. Hocine CHEGUIB M.C U.ANNABA

Mr. Nassir CHEIKCHOUK M.C U.ANNABA

Remerciements

*Le grand **remerciement** revient à Dieu qui nous a donné la force et le courage à réaliser et à terminer ce modeste mémoire.*

Je tiens tout d'abord à remercier Mr Bouras Slimane maître de conférence à l'université de Annaba, pour son encadrement, sa disponibilité et pour m'avoir encouragé et conseillé durant toute la période du mémoire.

Je tiens à remercier vivement Mr Hadjadj Aoul lyes maître de conférence à l'université de Annaba pour toute l'aide qu'il m'a apportée en plus de sa disponibilité et son orientation.

Je remercie aussi tout le personnel de l'unité SPE SONELGAZ et en particulier Mr Graïria chef de service maintenance conditionnelle. Pour leurs aides et accueil durant toute la période du stage.

Je tiens à remercier tous les enseignants qui m'ont enseigné au département électromécanique.

Je remercie beaucoup mes parents pour toute l'éducation qu'ils m'ont inculquée et tous les membres de ma famille.

Enfin je remercie tous mes amis qui m'ont aidé même par leurs encouragements.

Résumé :

Dans le cadre d'une politique de maintenance préventive efficace une variété de technologie a donné lieu à la surveillance et le suivi de l'état de santé des machines. Surtout en ce qui concerne les critiques parmi eux. Tel que le turboalternateur d'une centrale thermique.

L'analyse vibratoire est le pilier dans une stratégie de maintenance : la maintenance préventive conditionnelle. En outre la surveillance par analyse vibratoire (courbes de tendance) n'est pas suffisante pour fournir les informations utiles à la mise en œuvre d'un programme de maintenance préventive.

Dans ce contexte l'intégration d'autres techniques est nécessaire pour mieux diagnostiquer les équipements et lui assure un niveau requis de fiabilité tel que les analyses d'huile.

Les chapitres suivants fournissent une description plus détaillée de ces techniques et comment ils devraient être employés en tant qu'élément de programme de maintenance efficace.

Abstract

A variety of technologies can, and should be, used as part of a comprehensive preventive maintenance program. Because mechanical systems or machines (turbo alternator) account for most plant equipment, vibration monitoring is generally the key component of most preventive maintenance programs. However, vibration monitoring (trend curves) cannot provide all of the information required for a successful preventive maintenance program.

Therefore, a comprehensive preventive maintenance must include other monitoring and diagnostic techniques; such as oil analyses.

Subsequent chapters provide a more detailed description of these techniques and how they should be used as part of an effective maintenance program.

ملخص:

في إطار سياسة فعالة للصيانة الوقائية مجموعة من الطرق و التقنيات تتدخل لمراقبة و متابعة الآلات الصناعية و خاصة الإستراتيجية منها، كالمولد الكهربائي بوحدة إنتاج الكهرباء. المراقبة باستعمال الاهتزازات تعد إحدى الدعامات الأساسية للصيانة الوقائية المشروطة . و لكن الاهتزازات (منحنيات التوجيه) غير كافية وحدها لتشخيص و مراقبة الأجهزة إذ يجب أن نضيف وسائل و تقنيات أخرى للمراقبة مثل تحاليل زيت التشحيم.

الفصول التالية تقدم مفاهيم أكثر تفصيلا هذه للتقنيات اللازمة و كيفية وجوب استعمالها كعنصر لبرنامج صيانة فعالة.

Listes des tableaux

Tableau 2.1	Relations entre $f(t)$, $F(t)$, $R(t)$ ou $\lambda(t)$	20
Tableau 2.2	Les fonction $F_e(t)$, $F_r(t)$ et D_n	25
Tableau 2.3	Les fonctions $F(t)$, $f(t)$, $R(t)$ et $\lambda(t)$	27
Tableau 3.1	Les principales anomalies	47
Tableau 5.1	Analyse d'un échantillon d'huile TORBA 32 pour l'année 2006.....	73
Tableau 5.2	Corrélation température huile- vibration (ax- hor- ver) palier 1.....	76
Tableau 5.3	Corrélation température huile- vibration (ax- hor- ver) palier 2.....	77
Tableau 5.4	Corrélation température huile- vibration (ax- hor- ver) palier 3.....	78
Tableau 5.5	Corrélation température huile- vibration (ax- hor- ver) palier 4.....	79
Tableau 5.6	Corrélation température huile- vibration (ax- hor- ver) palier 5.....	80
Tableau 5.7	Corrélation température huile- vibration (ax- hor- ver) palier 6.....	81

Table de matière

Résumé.....	I
Liste des figures.....	IV
Listes des tableaux.....	VI

Introduction générale.....	1
----------------------------	---

Chapitre 1 : Description de la centrale thermique

1. Présentation de la centrale thermique d'Annaba.....	3
2. Processus de production d'énergie électrique.....	4
▪ Phase 1 : génération de vapeur.....	5
▪ Phase 2 : La turbine.....	6
▪ Phase 3 : L'alternateur.....	6
▪ Phase 4 : Le poste d'eau.....	6
3. Cycle thermique de la centrale.....	7
Principe de fonctionnement.....	8
Description des principaux équipement de la centrale.....	8
4. La turbine.....	10
Définition de la turbine.....	10
Rôle de la turbine.....	11
Caractéristique.....	11
Principe de fonctionnement.....	11
Description.....	12
5. L'alternateur.....	15
6. Surveillance du groupe turboalternateur.....	17

Chapitre 2 : Etude de la fiabilité du turboalternateur

Introduction.....	19
1. Définition de la fiabilité.....	19
2. Indicateur de fiabilité λ et MTBF.....	20
3. La loi de Weibull.....	22
4. Calcul de la fiabilité du turboalternateur à partir du modèle Weibull.....	25

5. Commentaire.....	30
Conclusion.....	31

Chapitre 3 : Analyse vibratoire

Introduction.....	32
1. Définition	32
2. Natures des vibrations.....	32
3. Les paramètres caractéristiques.....	34
4. Mesure des vibrations.....	35
Capteur de vibration.....	35
4.2 Collecteur de donnée portable.....	38
4.3 Logiciel de traitement.....	38
4.4 Point de mesure.....	38
5. Mis en œuvre.....	40
5.1 Définition des alarmes.....	40
5.2 Outil de surveillance.....	40
5.3 Outils de diagnostic	44
6. Reconnaissance des principales anomalies.....	46
Conclusion	47

Chapitre 4 : Analyse des huiles

Introduction.....	48
1. Lubrifiants et additifs.....	48
1.1 Les lubrifiants.....	48
1.2 Les additifs	49
2. Caractéristiques des huiles	51
2.1 La viscosité	51
2.1.1 Viscosité dynamique	53
2.1.2 Viscosité cinématique	53
2.1.3 Variation de la viscosité avec la température	54
2.1.4 Indice de viscosité.....	55
2.1.5 Variation de la viscosité avec la pression	56
3. La dégradation et la contamination.....	59
3.1 Dégradation des lubrifiants.....	59

3.2 Contamination des lubrifiants.....	59
4. Méthodes d'analyses et maintenance préventive	60
4.1. Analyse de lubrifiant	60
4.2. Analyse des particules d'usure	62
4.3. La ferrographie	63
4. Coût, échantillonnage, et interprétation des résultats	64
Conclusion	65

Chapitre 5 : Expérimentation

Introduction.....	66
1. Applications de l'analyse vibratoire.....	66
1.1 Instrumentation.....	66
1.2 Présentation de l'appareil.....	67
1.3 Point de mesure.....	67
2. Analyse et traitement.....	68
Courbe de tendance en analyse vibratoire.....	68
Application des courbes de tendances du niveau vibratoire sur le turboalternateur...68	
3. Analyse d'huiles utilisées	72
Surveillance du circuit de lubrification.....	72
Instrument utilisé.....	73
Application des analyses d'huile.....	73
Analyse de la température d'huile utilisée.....	73
Outil statistiques.....	74
Conclusion.....	83

Conclusion générale.....	84
---------------------------------	-----------

Annexe 1 : Fiche des mesures de vibration.....	86
---	-----------

Annexe 2 : Fiche technique des huile TORBA.....	87
--	-----------

Annexe 3 : Tableau - distribution de Weibull.....	88
--	-----------

Annexe 4 : Tableau des Valeurs critiques pour le test de Kolmogorov smirnov.....	89
---	-----------

Bibliographie.....	90
---------------------------	-----------

Liste des figures :

Figure.1	La centrale thermique d'Annaba.....	3
Figure.2	Schéma du process.....	4
Figure.3	Cycle thermique de la centrale de Annaba	7
Figure.4.	Photographie de la turbine	11
Figure.5.	Photographie de l'alternateur	15
Figure.6.	Groupe turboalternateur GTA3.....	16
Figure.2.1	Evolution du taux de panne en courbe Baignoire.....	21
Figure.2.2	Allures caractéristiques du taux de panne	22
Figure.2.3	Courbes des fonctions densité de probabilité et taux d'avarie.....	24
Figure.2.4	Fonction de densité de probabilité.....	28
Figure.2.5	Fonction de répartition.....	28
Figure.2.6	Fonction de fiabilité.....	29
Figure.2.7	Fonction de risque.....	29
Figure.3.1	Système masse ressort.....	32
Figure.3.2	Vibration harmonique.....	33
Figure.3.3	Vibration périodique.....	33
Figure.3.4	Les paramètres caractéristiques des vibrations.....	34
Figure.3.5	Capteur piézo- électrique.....	36
Figure.3.6	Capteur électromagnétique.....	37
Figure.3.7	Capteur de déplacement.....	37
Figure.3.8	Mode de fixation du capteur.....	39
Figure.3.9	Déroulement d'une analyse vibratoire.....	40
Figure.3.10	Seuil d'alarme en basse et moyenne fréquence.....	41
Figure.3.11	Exemple d'utilisation d'un niveau globale.....	42
Figure. 3.12	Evolution du facteur crête en fonction du temps.....	44
Figure.3.13	Exemple de spectre PBC.....	45
Figure.4.1	Ecoulement d'un film d'huile (viscosité dynamique)	52
Figure.4.2	Viscosimètre de couette -principe-.....	53
Figure.4.3	Type de viscosimètre capillaire.....	54
Figure.4.4	Variation huile température pour différentes huiles	54
Figure.4.5	Indice de viscosité.....	55

Figure.4.6	Relation viscosité/pression en fonction de la température	56
Figure.5.1	photographie du vibrotest 60.....	67
Figure.5.2	Schéma synoptique du groupe turboalternateur.....	67
Figure.5.3	Courbe de tendance du niveau vibratoire palier 1 turbine.....	69
Figure.5.4	Courbe de tendance du niveau vibratoire palier 2 turbine.....	69
Figure.5.5	Courbe de tendance du niveau vibratoire palier 3 alternateur.....	70
Figure.5.6	Courbe de tendance du niveau vibratoire palier 4 alternateur.....	70
Figure.5.7	Courbe de tendance du niveau vibratoire palier 5 excitatrice.....	71
Figure.5.8	Courbe de tendance du niveau vibratoire palier 6 excitatrice.....	71
Figure.5.9	Courbe de tendance du T°huile sortie palier 1.....	74

Introduction générale

Aujourd'hui, la problématique de l'entreprise et d'être capable de fournir à son marché, dans les meilleures conditions de coût et de délai les plus courts, les produits de qualité que recherchent des clientèles de plus en plus exigeantes. C'est pourquoi composant majeure de l'utilisation optimale des moyens de production, **la maintenance** est passée progressivement de l'état de service improductif, cher et subalterne, au statut de fonction essentielle voire stratégique du système productif. Elle implique alors une parfaite maîtrise du processus de production. Elle fait appel à une approche systématique qui lui est propre et à des **méthodes et outils de plus en plus performants**. Élément stratégique du système productif, elle concerne tout un chacun dans l'entreprise et n'est plus la chasse gardée de quelques spécialistes.

La fonction maintenance est la recherche permanente de l'amélioration en combinant tous les types de maintenance : préventive, corrective et prévisionnelle.

La maintenance corrective «exécutée après détection d'une panne et destinée à remettre un bien dans un état dans lequel il peut accomplir une fonction requise » NFEN 13306 est une forme de maintenance que tout utilisateur d'un bien ou patrimoine est amené à mettre en œuvre.

Les exigences de sûreté et de disponibilité nécessitent une importante fiabilité des systèmes, c'est donc une maintenance essentiellement préventive mise en œuvre pour limiter la probabilité des défaillances. La maintenance systématique a donné d'excellents résultats sous forme de disponibilité permanente d'équipement. Les opérations d'entretien sont mises en œuvre à intervalle régulier selon un calendrier préétabli et indépendamment de l'état de la machine, cette méthode est sûre mais relativement coûteuse car elle implique le changement de pièce dès fois encore utilisables et une intervention répétée sur la machine (démontage et remontage fréquent). [16]

C'est pour cela nous nous intéresserons dans notre recherche à la maintenance conditionnelle voire prévisionnelle qui est défini d'après AFNOR « La maintenance subordonnée à un type d'événement prédéterminé (autodiagnostic, information d'un capteur, mesure ...». [20] Le principe en est bien connu : on surveille le composant en suivant plus particulièrement certains paramètres considérés comme représentatifs de son état (ou, plus exactement représentatifs du risque de développement d'une forme de dégradation donnée) et quand ces paramètres atteignent un certain seuil, une intervention est déclenchée pour restaurer un état satisfaisant.

La **surveillance peut se faire de façon continue**, par le biais d'une instrumentation particulière ou en utilisant des données naturellement fournies par le process. [21]

Mais **la surveillance peut également être périodique** parce que nécessitant quand même une certaine forme « d'intrusion ». C'est dans cette dernière catégorie qu'il convient de mettre l'inspection en service qui utilise les techniques d'examens non destructifs pour juger de la santé d'un matériel avant de décider de le maintenir en l'état, de le rénover ou de le remplacer, sans attendre une véritable défaillance.

Les activités de maintenance conditionnelle des installations industrielles fait appel à des techniques de diagnostic de plus en plus sophistiquées. Plusieurs techniques de détection des défauts sont aujourd'hui à la disposition des ingénieurs de maintenance. Parmi celle-ci, on peut citer la thermographie infrarouge, l'analyse d'huile, la détection ultrason et l'analyse vibratoire.

Parmi ces techniques on souligne deux qui font l'objet de notre recherche qui sont : L'analyse vibratoire et l'analyse d'huile d'où nous essayerons d'intégrer ces deux techniques de contrôle sur le groupe turboalternateur pour surveiller et diagnostiquer l'état de santé de cette machine.

C'est dans ce contexte que notre recherche se déroule ;

- Chapitre 1 : Nous présenterons la centrale thermique et nous décrirons le groupe turboalternateur qui fera l'objet de la recherche pour le mieux exploiter et bien le maintenir.
- Chapitre 2 : Consiste à l'analyse de la fiabilité du turboalternateur en introduisant l'une des lois de fiabilité.
- Chapitre 3 : Présente un bref théorique sur l'analyse vibratoire nécessaire pour la surveillance de la machine.
- Chapitre 4 : Donne des notions essentielles sur la théorie des huiles avec la méthodologie de la mise en route d'un programme de maintenance préventive à travers les analyses d'huile.
- Chapitre 5 : Traite l'expérimentation réalisé en appliquant quelques outils parmi d'autres de la surveillance tels que les courbes de tendances du niveau vibratoire suivi d'un calcul statistique de la corrélation entre un paramètre de fonctionnement et l'évolution d'un indicateur de vibration.

Description de la centrale thermique

1. Présentation de la centrale thermique d'Annaba

Mise en service en octobre 1951, la centrale thermique d'Annaba était une des plus importantes centrales thermiques de l'Afrique du nord et demeure une des vieilles centrales que compte le parc de production du groupe SONELGAZ. [15]



Figure 1. La centrale thermique d'Annaba

Elle contient deux groupes :

- **Un groupe turboalternateur vapeur de 55 MW (GTA.3) :**

Couplé le 01.06.73, le groupe est constitué de :

- Une chaudière TIM/CO de 230 t/h à 100 Kg/Cm², timbre 110 Kg/Cm² fonctionnant au gaz naturel.
- Une turbine K50/90/4 de 55MW, 90 Kg/Cm² et 535°C à 8 soutirages.
- Un alternateur TB Ø 60/2T de 68,750 MVA et 3780 ampères Cos φ 0,8 refroidi à l'hydrogène.
- Un transformateur principal TCHIATISKI ELECTOTEHNISKI ZADON de 70 VA, 10.5/60 KV.

- **Un groupe turboalternateur vapeur de 75 MW (GTA.4) :**

Couplé le 07.07.72, le groupe est constitué de :

- Une chaudière BABCOCK - WILCOX à resurchauffe de 245t/h, 146 bars, Combustible de base : gaz naturel, de réserve : FOD
- Une turbine ANSALDO Meccanico Nucléaire de 75 MW à 127 bars au corps HP. et 36,5 bars à corps M.P., température 538°C à 6 soutirages.

- Un alternateur ASGEN de 93,750 MVA, 13,8 KV, 3920 ampères et $\cos \varphi$ 0,8 avec refroidissement à l'hydrogène.
- Un transformateur principal ASGEN de 93,750 MVA, 13,8 / 60 KV.

- **Matériel commun aux deux blocs (TV) :** composé de :

- Une station d'air comprimé.
- Un réservoir de 3000 m³ de FOD (NAFTAL).
- Une station de filtrage de l'eau de mer.
- Deux chaînes de déminéralisation de 12 t/h chacune.
- Une réserve d'eau brute de 5375 m³.
- Un réseau incendie.
- Une station de floculation de 300 m³.
- Une réserve d'eau déminéralisée de 6000 m³.

2. Process de production de l'énergie électrique:

Le processus de production de l'énergie électrique en détail du groupe GTA₃ comprend 4 phases :

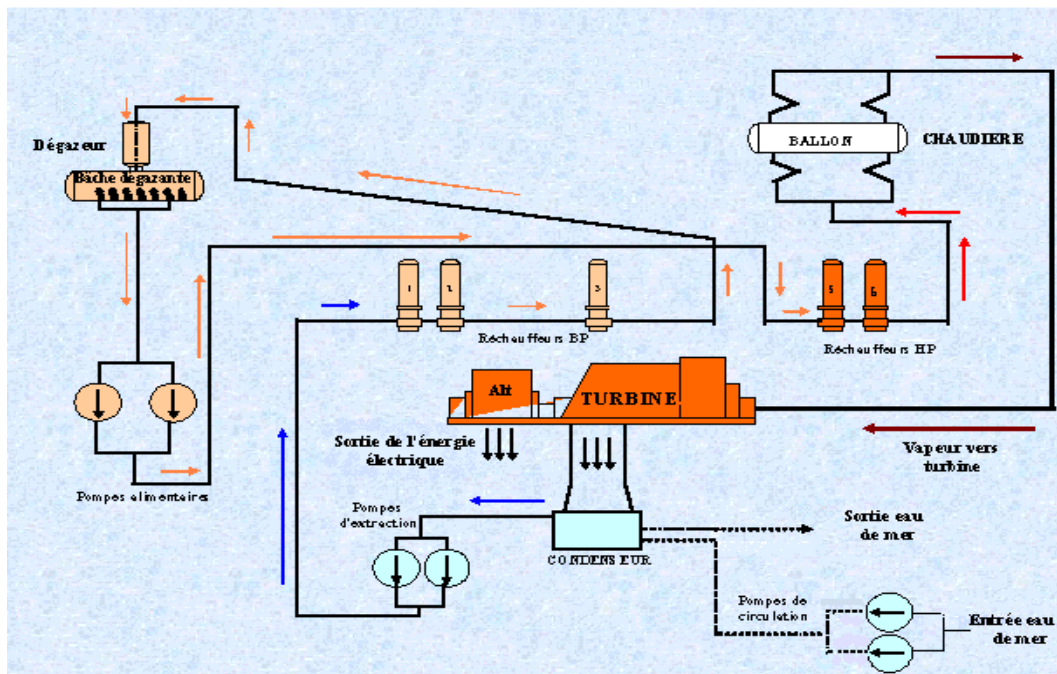


Figure 2 Schéma du process

PHASE I : Le générateur de vapeur

Le rôle du générateur de vapeur est d'extraire l'énergie calorifique du Combustible, pour le céder à l'eau et produire de la vapeur à des paramètres fixés, il constitue la source chaude du cycle thermodynamique.

Cette vapeur sera utilisée par la turbine pour fournir de l'énergie mécanique, le générateur de vapeur est chauffé au gaz naturel.

Le fuel-oil domestique est utilisé comme combustible de secours.

Il est constitué essentiellement :

1- D'une chambre à combustion : C'est dans cette enceinte qu'on brûle le mélange air – combustible, donc elle est la partie principale de générateur de vapeur, elle est tapissée des tubes écrans Jointifs soudés.

2- Des tubes écrans : Ou ont lieu les plus importants échanges thermiques.

3- D'un ballon : Qui est un recevoir d'eau et vapeur saturée.

4- Des surchauffeurs et resurchauffeurs et désurchauffeurs.

5- D'un économiseur : Récupère une partie des calories restantes dans les gaz de combustion pour élève la température de l'eau d'alimentation.

6- D'un circuit air et fumée : L'air nécessaire à la combustion est fournir par deux ventilateur de soufflage, ces ventilateurs aspirant l'air ambiant à travers un silencieux et refoulent cet air et les fumées à la cheminée à travers :

- les réchauffeurs d'air
- le foyer
- les différents échangeurs.

PHASE II : La turbine

La turbine réalise une chute d'enthalpie entre la source chaude et la source froide, assurant ainsi la transformation de l'énergie thermique en énergie mécanique de rotation.

A la sortie de la chaudière, la vapeur empreinte la conduit principale de vapeur surchauffée jusqu'à la vanne d'arrêt, à la sortie de la vanne d'arrêt deux conduits en Y alimentent respectivement les 04 soupapes régulatrices donc la vapeur pénétrant dans le corps HP avec une pression de 128 bar, elle est dirigé vers les aubages mobiles c- à- d : vers les roues faisant tournés le rotor.

A l'échappement du corps HP, la vapeur est reprise par 2 conduites vers les resurchauffeurs, en suite elle pénètre dans le corps MP et BP.

La température ayant baissé, la vapeur a perdu de l'énergie thermique, par contre elle a fourni du travail qui est en fonction de la pression, et au moyen de l'accouplement rigide, le couple transmet de l'arbre de la turbine vers l'arbre de l'alternateur.

PHASE III : L'alternateur

L'alternateur est une machine électrique du type génératrice à courant alternatif qui transforme l'énergie mécanique en énergie électrique il est entraîné par la turbine.

Une excitatrice : c'est une génératrice qui produit du courant continu nécessaire à l'excitation de rotor de l'alternateur.

PHASE IV : Le poste d'eau

Le flux de vapeur de l'échappement de la turbine est dirigé vers un condenseur qui est un équipement principale du cycle thermodynamique, car il fixe la température de la source froide qui intervient dans le rendement de l'installation, il reçoit et condense la vapeur provenant de l'échappement de la turbine, la condensation est assurée par l'eau de mer.

Après condensation de la vapeur, l'eau est recueillie au fond du condenseur est aspiré par les pompes d'extraction est la refoule au dégazeur à travers les éjecteurs principaux et les réchauffeur BP et HP

Le dégazeur assure le dégazage physique afin d'extraire les gaz dissous qui peuvent provoquer la corrosion dans les tubes de la chaudière.

L'eau dégazée est stockée par la bache alimentaire à une pression de 4,5 bar, et une température de 148°C.

L'eau de la bache alimentaire est aspiré par les pompes alimentaires, et la refoule à travers les réchauffeurs HP vers la chaudière.

3. Cycle thermique de la centrale

Le schéma de principe du cycle thermique de la centrale est présenté par la figure 3 (a, b)

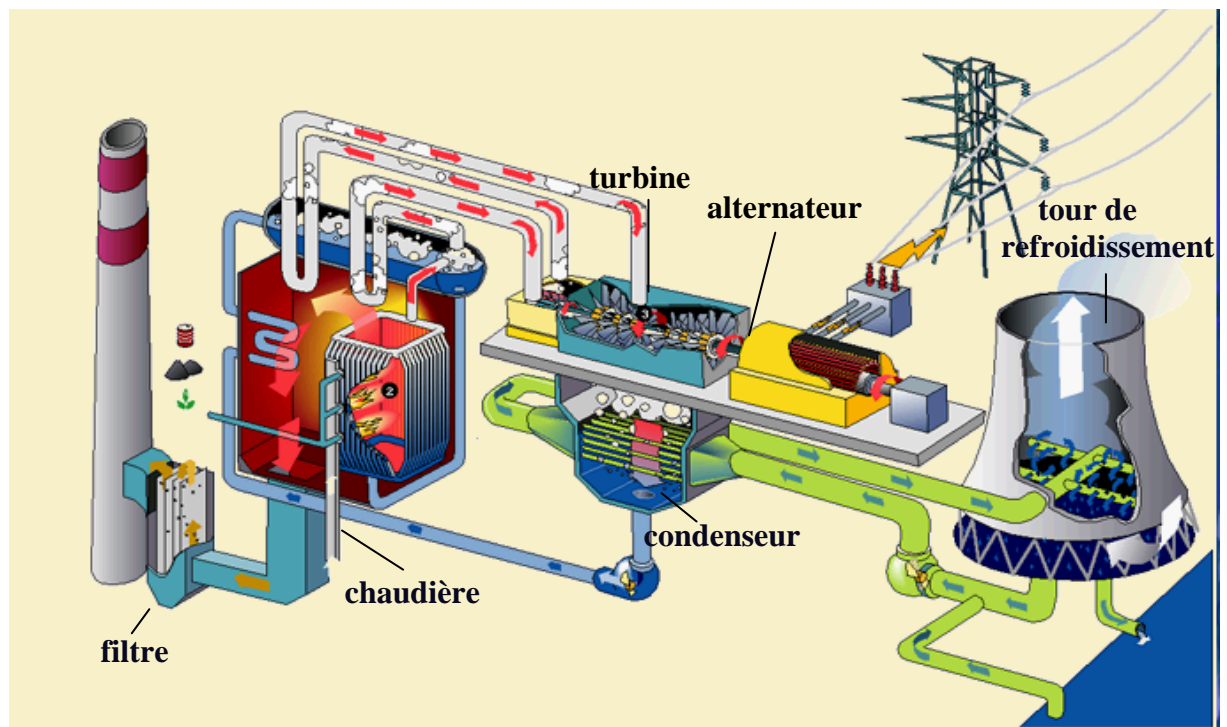
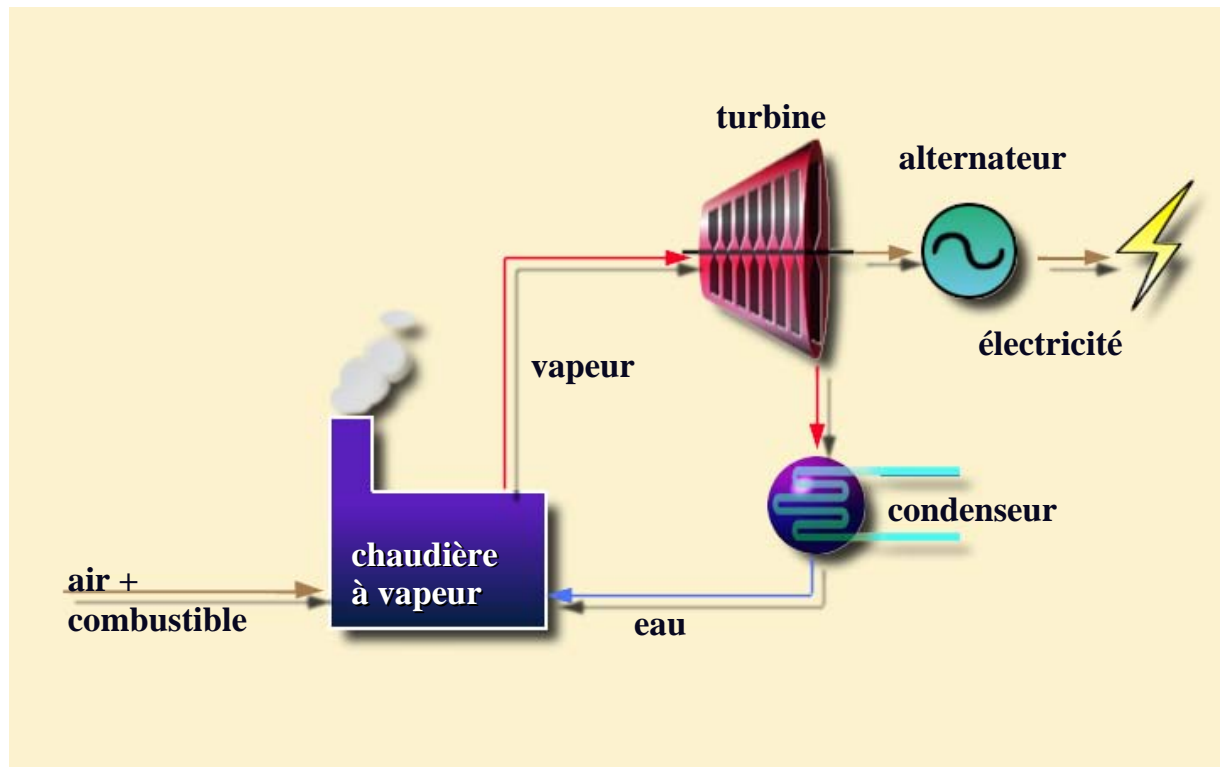


Figure.3 cycle thermique de la centrale de Annaba [13]

3.1 Principe de fonctionnement :

La chaleur produite dans les chaudières par la combustion du gaz naturel, vaporise de l'eau. Cette vapeur d'eau est alors transportée, sous haute pression et sous haute température vers les turbines. Sous la pression, les pales de la turbine se mettent à tourner. L'énergie thermique est donc transformée en énergie mécanique. Celle-ci sera, par la suite transformée à son tour en énergie électrique à travers un alternateur. Ce dernier est relié à son tour à un poste de transformation élévateur qui délivre la puissance produite au réseau de transport et de distribution. [1]

A la sortie de la turbine, la vapeur est transformée en eau (condensation) au contact des parois froides pour être renvoyée dans la chaudière où le cycle recommence.

3.2 Description des principaux équipements de la centrale

Les chaudières

Ce sont de grands générateurs de vapeurs construits en hauteur dans lesquels on brûle un combustible, généralement le gaz naturel. La chaleur produite est absorbée par l'eau circulant dans une série de tubes qui entourent les flammes. La circulation d'eau est forcée par une pompe.

Le rôle principal du générateur de vapeur est d'extraire l'énergie calorifique du combustible pour la céder à l'eau et produire une vapeur à des paramètres fixés. Cette vapeur est utilisée par la turbine pour fournir de l'énergie mécanique.

La turbine

Une turbine à vapeur est une machine où s'opère la transformation de l'énergie calorifique (vapeur) en énergie mécanique (rotation du rotor de la turbine).

Le rotor a pour rôle de transmettre l'énergie mécanique fournie par les aubages.

Le stator a pour rôle de canaliser la vapeur, il sert de bâti et assurer l'étanchéité à la vapeur.

La transformation de l'énergie se fait en deux temps :

- 1) Transformation de l'énergie potentielle, pression de la vapeur, en énergie cinétique (vitesse) par des tuyères.
- 2) Transformation de l'énergie cinétique en énergie mécanique (rotation) c'est à dire le transfert de l'énergie cinétique du jet vapeur à la jante d'une roue à ailette qui entre alors en rotation. La turbine est accouplée à l'alternateur au moyen d'accouplement rigide.

Les ventilateurs de soufflage

L'air nécessaire à la combustion est fourni par deux ventilateurs de soufflage du type centrifuge assurant chacun 50% de la charge. Ces ventilateurs aspirent l'air ambiant à travers le réchauffeur d'air.

Un ventilateur de recyclage aspire les fumées à la sortie de l'économiseur et les refoules dans la chambre de combustion. Le ventilateur de recyclage est de type centrifuge.

Les alternateurs

L'alternateur est une machine à courant alternatif de type génératrice qui transforme l'énergie mécanique qui arrive de la turbine en énergie électrique. L'alternateur est constitué de deux parties : l'une mobile appelée rotor ou inducteur, accouplé au rotor de la turbine et l'autre fixe appelée stator ou induit.

Le courant d'excitation est assuré par une excitatrice à travers un système de balais.

Aux deux extrémités du rotor sont fixées deux ventilateurs axiaux assurant la circulation de l'hydrogène pour le refroidissement de l'ensemble bobinage et circuit magnétique.

Le stator est situé à la partie inférieure de l'alternateur. Ces bornes sont prolongées par des barres d'évacuation sur lesquelles sont connectés des transformateurs de courant et de tension pour les mesures, la régulation, la protection...

L'alternateur est couplé à un transformateur triphasé principal qui transforme la tension de 13.8/63 kV

Les transformateurs

L'énergie produite par l'alternateur est évacuée sur le réseau haute tension à travers des transformateurs de puissance, élévateur de tension (13.8/63 kV). Ces principaux transformateurs représentent les premiers organes sensibles d'une centrale électrique. Les transformateurs de soutirage abaisseurs de tension (6300V/380V/220V), assurent l'alimentation des auxiliaires de la centrale tels que les ventilateurs, les moteurs des brûleurs, l'éclairage...

Le condenseur

Le condenseur est un élément du cycle thermodynamique, il fixe la température de la source froide qui intervient dans le rendement source froide qui intervient dans le rendement de l'installation. Il reçoit et condense la vapeur provenant de l'échappement de la turbine.

La pompe d'extraction

La pompe d'extraction aspire l'eau du condenseur et la refoule au dégazeur à travers les éjecteurs principaux, le condenseur des buées et les réchauffeurs basse pression.

Le réchauffeur

Il a un rôle énergétique très important dans le poste d'eau car il permet l'amélioration du rendement du cycle. On distingue les réchauffeurs à haute et basse pression.

Dégazeur

L'eau des réchauffeurs basse pression se dirige vers le dégazeur. Ce dernier intervient dans le poste d'eau comme un réchauffeur de mélange. C'est un échangeur qui réchauffe l'eau d'extraction jusqu'à la température de saturation de la vapeur de chauffe. Il assure le dégazage physique afin d'extraire le gaz dissous qui peuvent provoquer des corrosions dans la chaudière.

La bache d'eau (alimentaire)

C'est une bache cylindrique en acier d'un grand volume. Elle permet le stockage d'eau dégazée à haute pression et à haute température. Cette importante réserve d'eau est utilisée lors des perturbations qui peuvent affecter les circuits en amont, de cette bache, ce qui permet de maintenir dans des conditions normales l'alimentation du générateur de vapeur.

La pompe alimentaire

Elle aspire l'eau de la bache alimentaire et la refoule à travers les réchauffeurs haute pression vers la chaudière. Elle alimente le générateur de vapeur en quantité nécessaire d'eau pour maintenir le niveau normal du ballon de la chaudière.

4. La turbine**4.1 Définition de la turbine :**

La turbine à vapeur est un moteur thermique à combustion externe, fonctionnant selon le cycle thermodynamique dit Clausius-Rankine. Ce cycle se distingue par le changement d'état affectant le fluide moteur qui en générale de la vapeur d'eau. [15]

Ce cycle comprend au moins les étapes suivantes :

- L'eau liquide est comprimée par une pompe envoyée vers la chaudière.
- L'eau est chauffée, vaporisée et surchauffée.
- La vapeur se détend dans la turbine en fournissant de l'énergie mécanique.
- la vapeur détendue est condensée au contact de la source froide sous vide partiel.

4.2 Rôle de la turbine :

Le rôle de la turbine est de réaliser une chute d'enthalpie entre la source chaude et la source froide, assurant ainsi la transformation de l'énergie thermique en énergie mécanique de rotation.

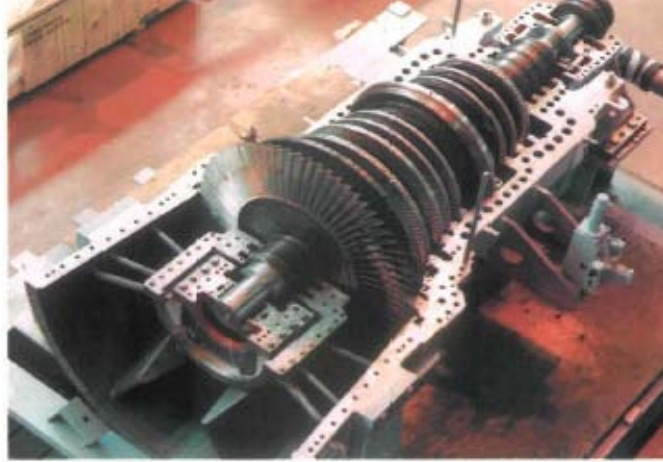


Figure 4. Photographie de la turbine

4.3 Caractéristiques :

- Puissance nominale.....75MW
- Puissance maximale.....78MW
- Débit de vapeur.....245 t/h
- Vitesse.....3000 tr/mn
- Pression de vapeur surchauffée..... 128 K/Cm²
- Température de vapeur surchauffée.....538°C
- Pression de Vapeur resurchauffée.....33 Kg/ Cm²
- Température de vapeur resurchauffée.....538°C
- Pression de vapeur à l'échappement.....0.052 Kg/ Cm²
- Nombre de Soutirage.....06
- Nombre d'étage.....28

4.4 Principe de fonctionnement :

La vapeur surchauffée (128 bar, 540°C) provenant de la chaudière passe par la vanne d'arrêt vapeur surchauffée, puis par les soupapes régulatrices, disposées sur le corps de la turbine haute pression (4 soupapes à la partie supérieur et 4 à la partie inférieur).

Après sa détente dans le corps HP (330°C, 35 bar) la vapeur à resurchauffée, retourne au resurchauffeur de la chaudière à travers les clapets HP de la turbine.

La vapeur reprend sa température nominale (540°C avec une pression de 33 bar).

Cette vapeur resurchauffée revient à la turbine au corps MP en passant par deux vanes d'arrêt vapeur resurchauffée, puis par deux soupapes d'interception.

Après sa détente dans le corps MP, la vapeur est canalisée directement dans la turbine au corps BP à double flux. Après sa détente dans le corps BP la vapeur est dirigée vers le condenseur pour être condensée et renvoyée à la chaudière après son réchauffage dans le poste d'eau.

4.5 Description :

La turbine est du type TANDEM - COMPOUND avec le corps basse pression à double flux. Les entrées de vapeur surchauffée et resurchauffée sont contiguës dans la zone centrale du corps HP, par contre les flux de vapeur dans le corps HP et MP sont en opposition.

La turbine est composée de 03 corps :

- 01 corps HP
- 01 corps MP
- 01 corps BP à double flux et deux échappements.

Elle est accouplée à l'alternateur au moyen d'un accouplement rigide.

Elle est formée de trois cylindres

- Un cylindre HP du type à action avec un léger degré de réaction et avec 09 étages.
- Un cylindre MP du type à action avec un léger degré de réaction et avec 14 étages.
- Un cylindre BP du type à action avec un degré modéré de réaction à double flux et à 05 étages.

1) Rotor

Le rotor transmet l'énergie mécanique fournie par les aubages. C'est une pièce forgée en acier allié de haute qualité. Il est du type multicellulaire avec des disques formant une seule pièce avec l'arbre.

Les disques sont usinés pour l'accrochage des ailettes. L'arbre est composé de 02 rotors boulonnés entre eux.

La 1 ère roue de CURTIS est double. Elle réalise une chute importante de pression et de température, réduisant ainsi la longueur de l'arbre de la turbine.

Le système d'accrochage des ailettes HP et MP est à emmanchement en pied de sapin.

Les ailettes BP sont à emmanchement à doigts. L'extrémité de l'ailette est usinée en forme de tenon.

Ces tenons sont rivés de manière à retenir le bandage par groupe de 05 ailettes.

Pour les ailettes BP en plus du bandage, elles sont renforcées par un fil de liaison.

- La longueur de la dernière ailette est de584 mm
- Le diamètre de la dernière roue à la base est de1258 mm
- Le poids du rotor HP, MP est de12,5 Tonnes
- Le poids du rotor BP est de18,5 Tonnes

2) Stator

Le stator canalise la vapeur:

- vers les étages de la turbine
- vers les installations extérieures de la turbine
- entre les étages
- à l'intérieur de chaque étage

Il sert de bâti et assure l'étanchéité à la vapeur. Le stator est réalisé en deux parties coupé par un plan de joint horizontal. Les deux pièces sont assemblées par des boulons.

Les corps HP et MP sont à double enveloppe ; avec un corps interne et un autre externe. Cette disposition permet de réduire l'inertie thermique du corps et permet des variations de températures de réchauffage et de refroidissement assez rapides.

Le stator est supporté par la caisse de commande d'un côté et de l'autre par la caisse BP.

Des membranes d'éclatement sont montées sur la partie supérieure des boîtes d'échappement de la caisse BP; car elle n'est pas prévue pour supporter de fortes pressions.

Elles s'ouvrent à une pression de 0,30 Kg / Cm².

Les échappements de la turbine comprennent aussi des injecteurs d'eau pour son refroidissement, en cas de mauvais vide et lors des démarrages. Ses injecteurs sont alimentés par de l'eau d'extraction. Du côté de la caisse de commande il y a 04 clavettes radiales qui permettent au corps HP de se dilater dans toutes les directions sans compromettre l'alignement.

Sur les corps internes sont disposés les diaphragmes; qui sont des demi disques usinés en 02 parties ajustables avec le plan de joint.

Ces diaphragmes portent les aubes fixes. L'accrochage des aubes est à queue d'aronde.

3) Accouplement

Il transmet le couple de l'arbre de la turbine à l'arbre de l'alternateur.

Il permet le réglage de la position des deux rotors.

L'accouplement est du type rigide avec 12 boulons ajustés et freinés.

4) Vireur

Il entraîne le rotor à une faible vitesse de 3 tr/mn pendant le refroidissement et le réchauffage de la turbine.

En effet on a une courbure du rotor par défaut de virage à chaud et une flèche de l'arbre sous l'effet de son poids lors d'un arrêt prolongé.

Le virage est nécessaire pour éliminer cette déformation. Il sert en outre à produire des petits déplacements angulaires du rotor pour les différents contrôles.

L'arbre de la turbine se termine par une couronne dentée, et qui sert de plateau d'accouplement.

Un moteur électrique, par l'intermédiaire d'une chaîne et un ensemble d'engrenages, qui s'engrène sur la couronne dentée, entraîne le rotor. L'ensemble est lubrifié par l'huile de graissage.

5) Les soutirages et les clapets

La turbine est équipée de 06 soutirages.

Le soutirage 6 est prélevé sur la conduite de la vapeur à resurchauffer.

On prélève la vapeur au :

- 14^{ème} étage pour le soutirage 5
- 18^{ème} étage pour le soutirage 4
- 21^{ème} étage pour le soutirage 3
- 24^{ème} étage pour le soutirage 2
- 26^{ème} étage pour le soutirage 1

Les soutirages 6,5 et 3 sont munis de clapets anti-retour, commandés par servomoteur pneumatique, leur fermeture automatique est commandée par le niveau détresse des réchauffeurs et le déclenchement de la turbine, afin d'éviter le retour de vapeur ou d'eau à la turbine. Le soutirage 4 est muni de deux clapets anti-retour en série commandés par servomoteurs pneumatiques, ils se ferment uniquement par le déclenchement de la turbine. Ces 04 soutirages sont munis de vannes motorisées.

5. L'alternateur

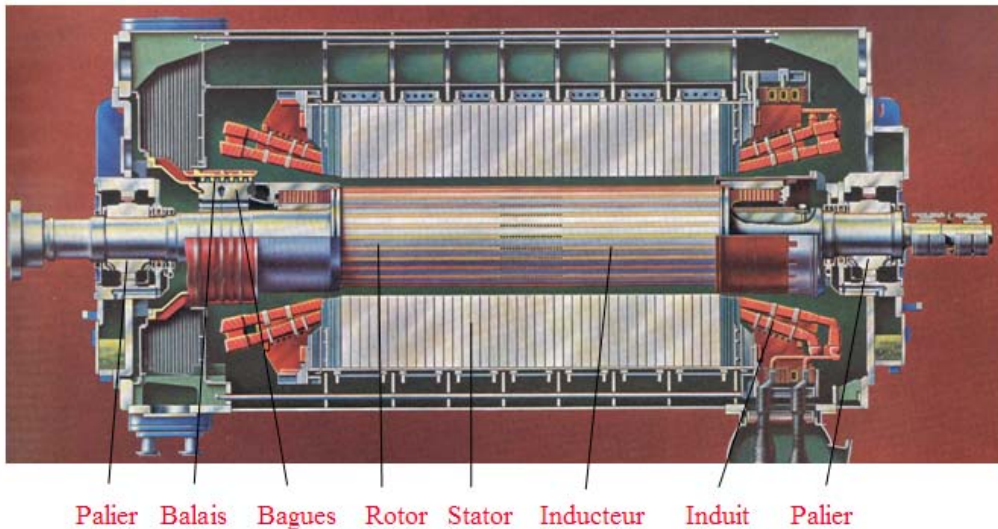


Figure 5. Photographie de l'alternateur [13]

A) Rôle

L'alternateur est une machine électrique du type génératrice à courant alternatif qui transforme l'énergie mécanique en énergie électrique il est entraîné par la turbine.

B) Caractéristiques :

L'Alternateur est caractérisé par :

- Puissance apparente.....93750 KVA
- puissance active..... 75000KW
- Puissance réactive a $\cos\phi = 0.8$ 35000KVAR
- Tension13800V
- Intensité nominale3920A
- fréquence50HZ
- Vitesse.....3000tr/min

C) Description

L'alternateur est constitué de deux parties :

- Une partie mobile appelée rotor ou inducteur accouplé au rotor de la turbine.
- Une partie fixe appelé stator ou induit

Rotor :

Il est constitué par un cylindre en acier forgé.

Des encoches sont usinées sur la périphérie du rotor et reçoivent le bobinage rotorique.

Ce bobinage est maintenu dans des encoches par des cales.

Les deux extrémités du bobinage sont reliées à deux bagues isolées entre elles et calées sur l'arbre.

Le courant d'excitation provient d'une excitatrice par l'intermédiaire de balais qui frottent sur les bagues. La liaison excitatrice – balais est assurée par 4 câbles. Le rotor est menu de canaux de ventilation pour la circulation d'hydrogène assurant ainsi la réfrigération de l'ensemble bobinage et circuit magnétique.

Aux deux extrémités du rotor, sont fixées deux ventilateurs axiaux assurant la circulation de l'hydrogène. La liaison du rotor à la turbine est assurée par accouplement rigide, par contre celle qui lie le rotor au réducteur est un accouplement élastique à ressort.

Stator :

Il est composé d'un circuit magnétique constitué par un ensemble de tôles en forme de couronne. Ces tôles sont munies d'encoche qui reçoit le bobinage statorique.

Les bobines sont maintenues dans les encoches par des cales. Les extrémités des bobines sont raccordées à des bornes de traversée situées dans un caisson à la partie inférieure arrière de l'alternateur. Ces bornes de traversée sont prolongées des barres d'évacuations sur lesquelles sont connectés des transformateurs de courant et de tension pour les mesures, la régulation et protections. Dans la carcasse du stator sont incorporés 4 réfrigérants d'hydrogènes verticaux.

Palier :

Le rotor de l'alternateur repose sur deux paliers repérés trois et quatre. Le palier trois est isolé pour éviter toute circulation de courant à la terre.



Figure 6. Groupe turboalternateur GTA3

6. Surveillance du groupe turboalternateur

Le turboalternateur est un des matériels stratégiques des installations de production d'énergie électrique. Son indisponibilité entraîne la perte de production d'énergie électrique, contrairement à d'autres matériels (pompe alimentaires, pompes de circulation assistée, ventilateurs..) dont la redondance permet de poursuivre l'exploitation des installations soit en pleine charge partielle.

Par ailleurs, le turboalternateur peut être le siège d'incidents graves, qualifiés d'accidents majeurs, caractérisés par la destruction de la machine, voir l'émission de projectiles des parties tournantes. Ces accidents, heureusement rares, présentent des risques notables pour la sécurité des personnes et l'intégrité des installations.

La maintenance du turboalternateur revêt un caractère important qui vise deux objectifs:

- La prévention des accidents majeurs
- La limitation des indisponibilités fortuites

Cette préoccupation d'éviter l'accident majeur est prise en compte par la mise en place de moyens de contrôle et de surveillance.

Surveillance des paramètres d'exploitation

Il est essentiel d'effectuer un suivi de l'évolution de l'ensemble des paramètres mesurés en exploitation qui sont pour la plupart, enregistrés en salle de commande des tranches de production. Cette surveillance est réalisée lors des installations aux conditions nominales mais elle s'avère également utile lors des phases transitoires d'exploitation (démarrage, arrêt, prise de charge...). L'objectif n'est pas seulement de vérifier que les critères admissibles ou les seuils d'alarme ne sont pas atteints, l'analyse doit porter sur toute évolution anormale, même si celle-ci reste en deçà des limites préconisées par les consignes. Les variations de certains paramètres (par exemple, les vibrations de la ligne d'arbre ou la température des coussinets), représentatifs du comportement des machines, peuvent alerter sur l'apparition ou l'évolution d'un processus de dégradation. [26]

L'exploitation hors des domaines préconisés par les consignes est susceptible d'affecter à terme la durée de vie des machines. C'est le cas par exemple des consignes de température du métal turbine est des spécifications chimiques du circuit eau vapeur.

Parmi les paramètres d'exploitation enregistrés en salle de commande, on peut relever :

- Les caractéristiques pression – température de la vapeur à l'admission de la turbine ;
- Les températures du métal stator en différents points de la ligne de détente ;

- Les dilatations des parties fixes et des parties tournantes, leur dilatation différentielle étant particulièrement surveillée lors des démarrages ;
- L'usure de la température de la butée ;
- L'amplitude des vibrations de la ligne d'arbre ;
- La température du métal antifriction des coussinets qui supporte la ligne d'arbre ;
- L'écart de température avant/ arrière de chaque coussinet, représentatif de la position de la ligne d'arbre en service ;
- La température d'huile de graissage, à la sortie du réfrigérant et sur le retour d'huile après passage dans les paliers ;
- Le vide au condenseur ;

Certains de ces paramètres sont assortis de seuil d'alarme et de déclenchement du groupe turboalternateur.

Il faut noter que les enregistreurs d'exploitation disposent des performances limitées pour ce qui concerne l'analyse du comportement vibratoire des lignes d'arbres. L'évolution des capteurs et la mise en œuvre de baies de surveillance spécialisées permettent le traitement et l'analyse des différents composantes harmonique du signale vibratoire.

Analyse de la fiabilité du turboalternateur

Introduction

La fiabilité est la science des défaillances basée sur l'expérience. Elle est indissociable de la qualité. La fiabilité d'une machine a tendance à diminuer avec le nombre de ses composants. Lorsque les composants sont trop nombreux ou trop complexes, il arrive fréquemment un moment où la maîtrise de la fiabilité n'est plus possible et l'hypothèse d'une défaillance très probable. [12]

Pour un ensemble, une très haute qualité pour chacun des composants n'implique pas nécessairement une grande fiabilité, après assemblage. Les interactions qui se produisent entre les composants diminuent la capacité de l'ensemble.

De même, une grande fiabilité sous certaines conditions n'entraîne pas forcément une grande fiabilité sous d'autres conditions. Par exemple, une huile moteur prévue pour des climats tempérés froids ne conviendra pas nécessairement sous des climats très chauds. La meilleure connaissance de la fiabilité provient de l'analyse des défaillances lorsque les produits sont en service. Il est ainsi possible d'établir des lois statistiques sur une population importante et sur un temps long à partir de données collectées en après-vente par le service maintenance. C'est là une des missions importantes et essentielles d'un service maintenance parfaitement géré. L'expérimentation en laboratoire sur des échantillons est la deuxième voie possible pour faire des analyses de fiabilité, notamment au stade de la conception.

1. Définition de fiabilité

La fiabilité est la caractéristique d'un système exprimée par la probabilité qu'il accomplisse la fonction pour laquelle il a été conçu, dans des conditions données et pendant une durée donnée (NF X 060-010) [6]. Ainsi, la durée de vie d'un système est utilisée pour mesurer la quantité de service rendu. D'une manière générale, on mesure la durée de vie d'un système par le nombre d'heures durant lesquelles il a effectivement fonctionné [7].

La durée de vie (T) d'un système est une variable aléatoire non négative, à partir de laquelle la loi de dégradation du système peut être déterminée. L'équation (1) exprime la probabilité que la durée de vie T du système soit comprise entre t et $t+dt$, ou encore la probabilité qu'il tombe en panne entre t et $t+dt$. [30]

$$f(t) \cdot dt = \Pr (t < \text{durée de vie } T \leq t + dt) \quad (1)$$

Avec $f(t)$ la fonction de densité de probabilité associée aux durées de vie. Quant à la distribution des durées de vie $F(t)$ et la fonction de fiabilité $R(t)$, elles sont reliées par l'équation (2).

$$F(t) = \Pr(\text{durée de vie } T \leq t) \text{ et } R(t) = \Pr(\text{durée de vie } T > t) \quad (2)$$

Le taux de panne, $\lambda(t)$, est la quatrième fonction permettant de caractériser la loi de dégradation d'un système. Il s'agit de la probabilité conditionnelle de défaillance par unité de temps d'un système ayant survécu jusqu'à t . Cependant, la loi de dégradation d'un système est complètement définie par la connaissance d'une seule de ces 4 caractéristiques. Le Tableau 2.1 présente ces relations.

Tableau 2.1 : Relations entre $f(t)$, $F(t)$, $R(t)$ ou $\lambda(t)$ [30]

	$f(t)$	$F(t)$	$R(t)$	$r(t)$
$f(t) =$	-	$\frac{dF(t)}{dt}$	$-\frac{dR(t)}{dt}$	$r(t) \cdot e^{-\int_0^t r(x) dx}$
$F(t) =$	$\int_0^t f(x) dx$	-	$1 - R(t)$	$1 - e^{-\int_0^t r(x) dx}$
$R(t) =$	$\int_t^\infty f(x) dx$	$1 - F(t)$	-	$e^{-\int_0^t r(x) dx}$
$r(t) =$	$\frac{f(t)}{\int_t^\infty f(x) dx}$	$\frac{\frac{dF(t)}{dt}}{1 - F(t)}$	$-\frac{1}{R(t)} \cdot \frac{dR(t)}{dt}$	-

- **Fiabilité et qualité**

Ces notions sont indissociables. Si la qualité est prise dans son sens général de « satisfaction du besoin des utilisateurs », il est évident que la fiabilité (ou la disponibilité) est un des éléments de la satisfaction de l'utilisateur : fiabilité = probabilité de bon fonctionnement. Si la qualité est prise dans le sens de « qualité initial », nous pourrions dire que la qualité initiale garantit la conformité d'un produit à ces spécifications, alors que la fiabilité mesure son aptitude à y demeurer conforme au long de sa vie. [24]

2. Indicateurs de fiabilité λ et MTBF

λ et le **MTBF** sont les deux principaux indicateurs de la fiabilité utilisés industriellement.

Taux de défaillance λ .

Définition: λ représente le taux de défaillance ou le taux d'avarie. Il caractérise la vitesse de variation de la fiabilité au cours du temps.

Pour une période de travail donnée, durée totale en service actif:

$$\lambda = \frac{\text{nombre total de défaillances pendant le service}}{\text{durée totale de bon fonctionnement}}$$

MTBF ou moyenne des temps de bon fonctionnement Définition : la (le) MTBF (qui vient de l'anglais Mean Time Before Failure) représente la moyenne des temps de bon fonctionnement entre deux défaillances d'un système réparable ou le temps moyen entre défaillances.

$$MTBF = \frac{\text{somme des temps de bon fonctionnement entre les } n \text{ défaillances}}{\text{nombre des temps de bon fonctionnement}}$$

Remarques: si λ est constant le $MTBF = 1/\lambda$.

Allures typiques du graphe $\lambda(t)$ en fonction du temps t :

En pratique, le taux de panne λ peut être constant, mais aussi croissant ou décroissant au cours du temps, avec changement graduel, sans discontinuités.

Pour la majorité des produits industriels, les variations de $\lambda(t)$ au cours du temps (« courbes dites en baignoire » figure a et b) présentent trois zones typiques :

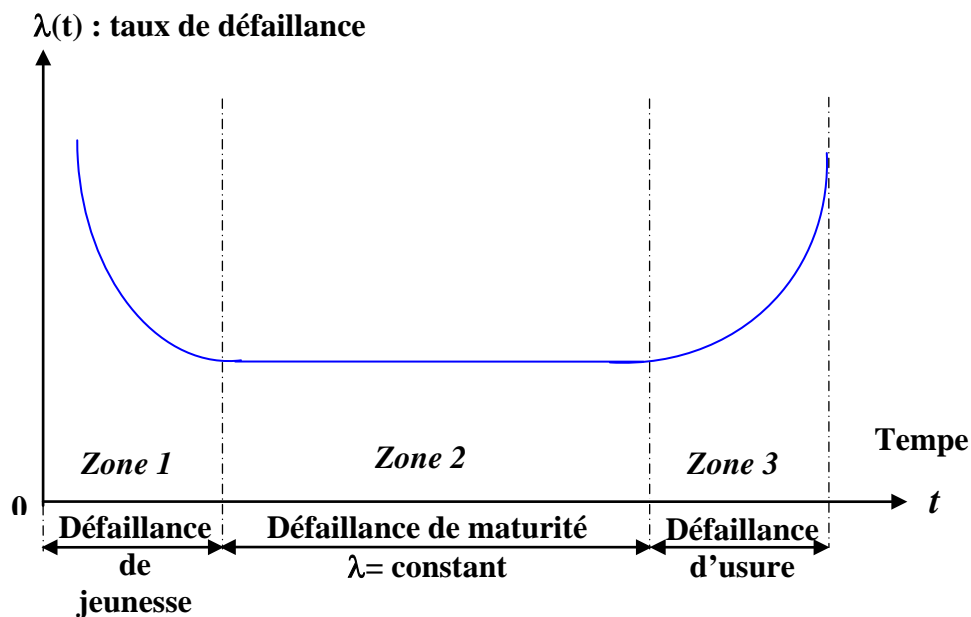


Figure 2.1- Evolution du taux de panne en courbe Baignoire

• **Zone 1. Période de défaillance précoce (ou période de jeunesse)** : c'est le début de la vie du produit et les défaillances sont dites « de jeunesse » (composants neufs présentant des défauts de fabrication...). Le taux de défaillance λ décroît rapidement au cours du temps. Préventions possibles : déverminage, rodage, contrôles et tests renforcés avant livraison, etc. La loi de Weibull (avec $\beta < 1$ et $\gamma = 0$) est utilisable pour décrire ce type de défaillance.

• **Zone 2. Période de défaillance à taux constant (ou sensiblement constant)** : c'est la zone de maturité ou de pleine activité du produit pour laquelle le taux de défaillance λ est sensiblement constant. C'est également le domaine des défaillances imprévisibles se produisant de façon aléatoire. En étude de probabilité, la loi de fiabilité adaptée à cette zone ($\lambda = \lambda(t) = \text{constante}$) est la distribution exponentielle, forme $R(t) = e^{-\lambda \cdot t}$. Le phénomène d'arrivée des pannes dans le temps est dit « poissonnien » ou encore appelé « processus de Poisson ».

• **Zone 3. Période de défaillance par vieillissement**: c'est la période de fin de vie du produit caractérisée par des défaillances dues à l'âge ou à l'usure des composants. Le taux de défaillances λ croît rapidement avec le temps, du fait de la dégradation du matériel (usures mécaniques, phénomènes de fatigue, dérive des composants électroniques...). Les lois de fiabilité adaptées à cette zone sont : les lois normales, Gamma, log-normale ou encore Weibull (avec $\beta > 2$ et $\gamma > 0$).

Selon le type de produit (électronique, informatique ou mécanique), l'allure de la courbe peut changer. Elle présente plusieurs types de courbes en baignoire (Figure 2.2).

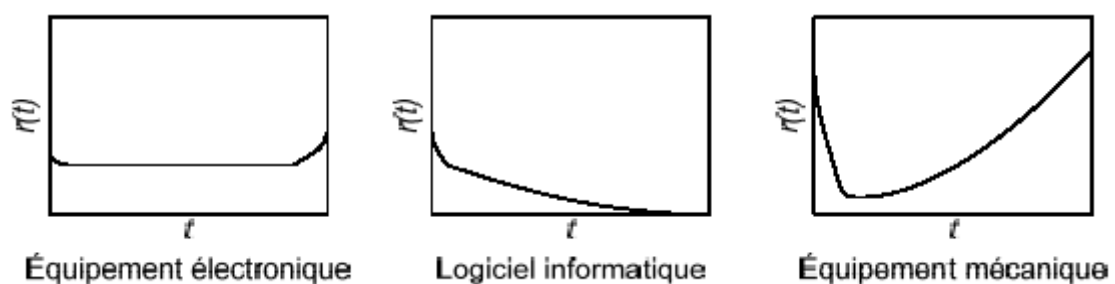


Figure 2.2. Allures caractéristiques du taux de panne [23]

3. La loi de Weibull

Pour un grand nombre de composants (mécaniques et électromécaniques, notamment), λ n'est pas constant dans la zone 1 et 3 de la figure 2.1.

La manière la plus pratique est de considérer que la défaillance est distribuée d'après la loi de Weibull. Cette loi est, en effet, bien adaptée à l'étude statistique des défaillances, en particulier de jeunesse et d'usure.

La distribution de Weibull est une sorte de loi caméléon, très souple, qui, grâce à ses trois paramètres (γ, β, η) , peut s'ajuster à un grand nombre de données statistiques : elle peut suivre une distribution non symétrique, faire l'approximation de la loi normale, devenir une distribution exponentielle, etc. Elle est également utilisée pour décrire des phénomènes de fatigue, des durées de vie (roulements...), des probabilités de rupture sous charge, etc.

Loi de Weibull à trois paramètres :

- γ : Paramètre des temps ou de position ($0 \leq \gamma \leq \infty$), unité du temps ;
- η : Paramètre d'échelle ($\eta > 0$), unité du temps ;
- β : Paramètre de forme ($\beta > 0$), sans unités.

Le paramètre d'origine des temps γ - On considère que : [29]

$\gamma = 0$ si tous les composants de l'échantillon sont neufs.

$\gamma < 0$ si le système a déjà été utilisé et qu'il y a eu des pannes avant le temps d'origine adopté pour l'étude.

$\gamma > 0$ si le système a déjà fonctionné entre $t = 0$ et $t = \gamma$, mais sans subir de panne

Le paramètre de forme β - On distingue les périodes et phénomène suivants :

$\beta < 1$ correspond à la période de panne infantile

$\beta = 1$ correspond à la période de vie utile (lois de fiabilité exponentielle)

β compris entre 1.5 et 3 correspond aux phénomènes de fatigue.

$\beta = 2$ correspond à la loi log normale.

β compris entre 3 et 4 correspond aux phénomènes d'usure (β est toujours inférieur à 4)

$\beta = 3.45$ correspond à la loi normal

Les différentes formules utilisées pour la distribution de Weibull sont :

⊕ La fonction défaillance, ou fonction de répartition $F(t)$, est définie par :

$$F(t) = 1 - \exp\left[-\left(\frac{t-\gamma}{\eta}\right)^\beta\right] = 1 - e^{-\left(\frac{t-\gamma}{\eta}\right)^\beta}$$

Avec : $t \geq 0$ (en généra $(\beta, \eta) > 0, t - \gamma > 0$

⊕ La fiabilité $R(t)$

$$R(t) = 1 - F(t) = e^{-\left(\frac{t-\gamma}{\eta}\right)^\beta}$$

⊕ Fonction densité de probabilité $f(t)$

$$f(t) = \frac{dF(t)}{dt} = \frac{\beta}{\eta} \left(\frac{t-\gamma}{\eta}\right)^{\beta-1} \cdot e^{-\left(\frac{t-\gamma}{\eta}\right)^\beta}$$

⊕ Taux de défaillance $\lambda(t)$

$$\lambda(t) = \frac{f(t)}{R(t)} = \frac{\beta}{\eta} \left(\frac{t-\gamma}{\eta}\right)^{\beta-1}$$

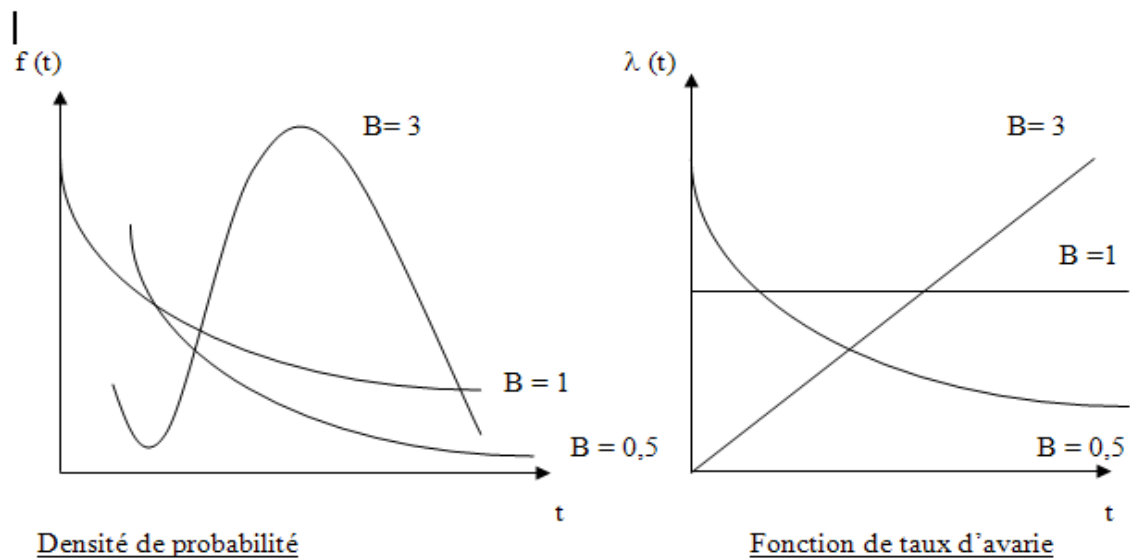


Figure 2.3 - Courbes des fonctions densité de probabilité et taux d'avarie

4. Calcul de la fiabilité du turboalternateur à partir du modèle Weibull

Ordre	TBF	Classement TBF	Ni	$\sum Ni$	Fe(t)	Fr(t)	Dn
1	645.66	0.78	1	1	0.038	0.067	0.029
2	0.85	0.85	1	2	0.092	0.069	0.023
3	192.43	4.15	1	3	0.146	0.13	0.012
4	486.08	31.9	1	4	0.201	0.290	0.089
5	1213.66	94.76	1	5	0.255	0.422	0.167
6	133.28	113.43	1	6	0.309	0.447	0.138
7	0.78	133.28	1	7	0.364	0.471	0.107
8	886.76	192.43	1	8	0.418	0.524	0.106
9	4.15	301.11	1	9	0.472	0.594	0.122
10	1115.96	323.36	1	10	0.527	0.605	0.078
11	323.36	486.08	1	11	0.581	0.670	0.089
12	301.11	487.66	1	12	0.635	0.670	0.035
13	31.9	509.03	1	13	0.690	0.677	0.012
14	763.35	645.66	1	14	0.744	0.714	0.029
15	487.66	763.35	1	15	0.798	0.739	0.058
16	509.03	886.76	1	16	0.853	0.762	0.090
17	113.43	1115.96	1	17	0.907	0.795	0.111
18	94.76	1213.66	1	18	0.961	0.806	0.154

Tableau 2 .2– Les fonction Fe(t), Fr(t) et Dn

$$F_e(t_i) = i - 0.3 / N + 0.4 \quad \text{ou } N \leq 20$$

Il est primordial pour valider une loi de fiabilité de tester les hypothèses pour savoir si nous devons accepter ou rejeter le modèle proposé.

N=18 < 50, le test de KOLMOGROV – SMIRNOV s'adapte mieux dans ce cas, ce dernier apporte une information supplémentaire en ce qui concerne l'adéquation des fréquences cumulées étudiées au modèle de weibull.

Validation du modèle choisi par le test de kolmogrov- smirnov:

On se fixe à un seuil de confiance $\alpha = 5\%$ (0,05), dépendant de la politique exigée.

Il s'agit de calculer l'écart entre la fonction théorique $F_e(t)$ et la fonction réelle $F_r(t)$ et de prendre le maximum de leur différence en valeur absolue:

$$D_{n,\max} = |F_t(t_i) - F_r(t_i)|$$

On compare celle-ci à la valeur $D_{n,\alpha}$ donnée par la table de K-S ce qui donne les valeurs suivantes:

La fréquence maximum $D_{n,\max} = 0,167$ et selon le tableau de K-S avec $n = 18$ et $\alpha = 0,05$ on a :

$$D_{n,\alpha} = D_{15; 0,05} = 0.309$$

$$\text{Donc: } D_{n,\max} < D_{n,\alpha}$$

$$\text{Où: } 0,167 < 0,309$$

D'où: *le modèle de weibull est accepté*

On utilisant le logiciel de fiabilité **esyfit** en obtient les paramètres suivant :

$\beta = 0.52961$
$\eta = 321.48$
$\gamma = 0.78$

Détermination du temps moyen de bon fonctionnement t_{moy} (MTBF)

$$t_{\text{moy}} = \gamma + \eta \Gamma(1+1/\beta) = \text{MTBF}$$

Le tableau de l'annexe 3 donne les valeurs de a en fonction de β

$$a = t_{\text{moy}} / \eta = \Gamma(1+1/\beta) + \gamma.$$

$$\text{D'où } \text{MTBF} = \gamma + a \eta$$

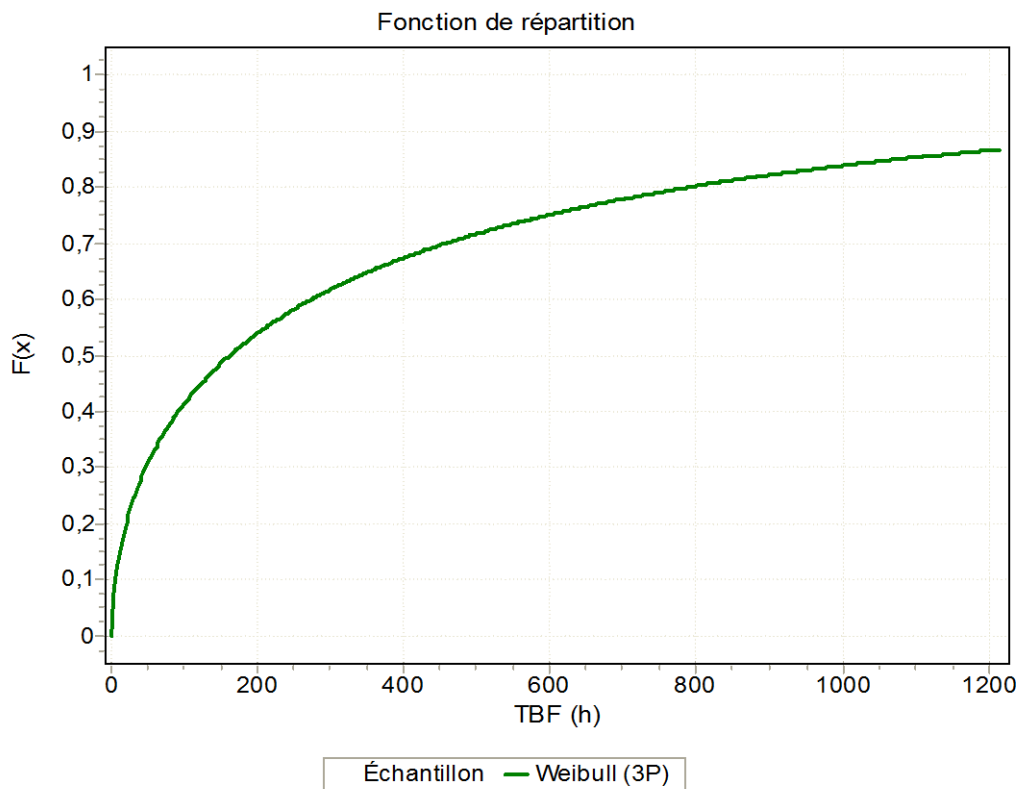
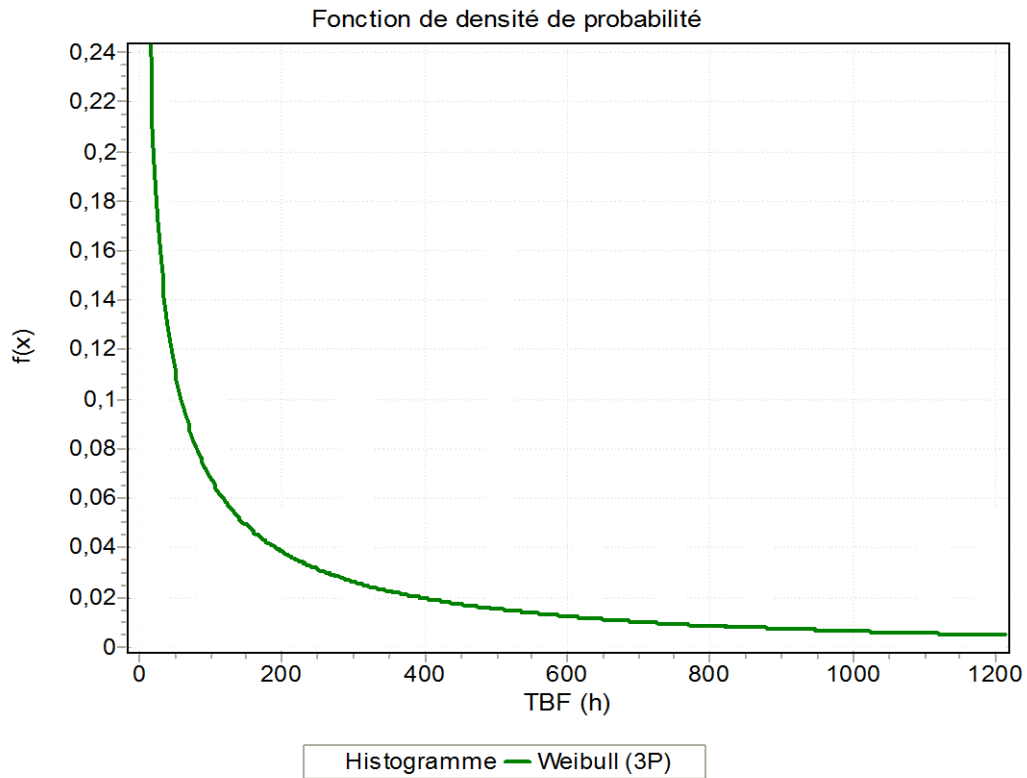
$$\text{Pour } \beta = 0.52, a = 2$$

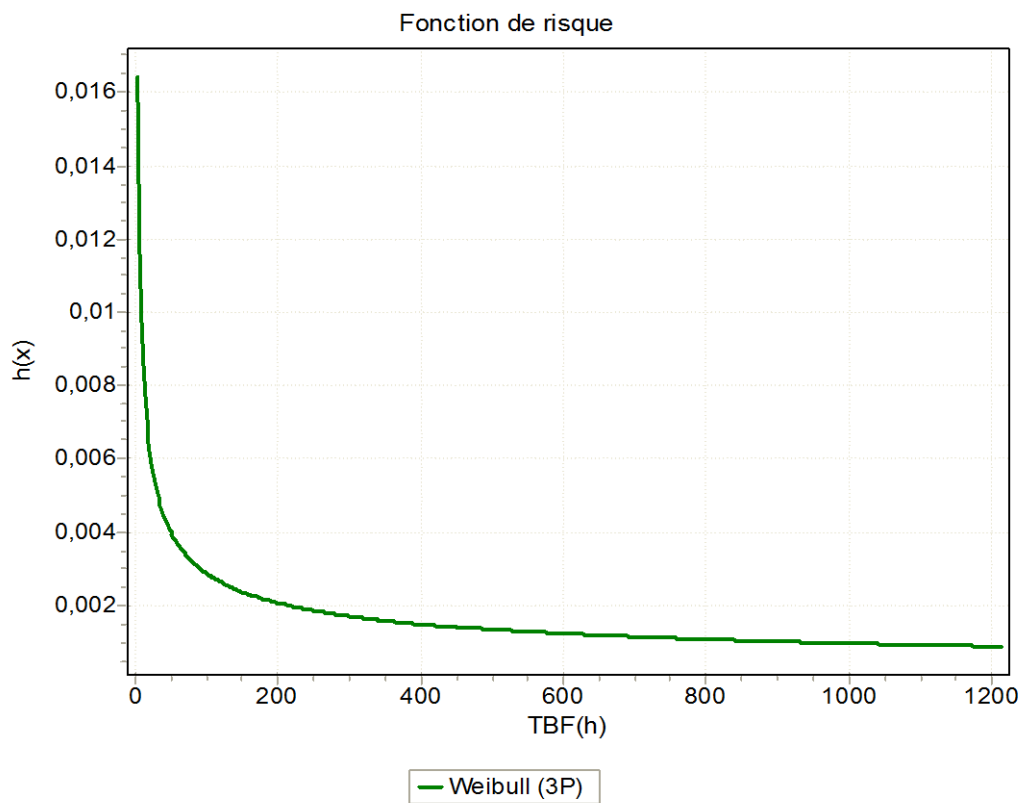
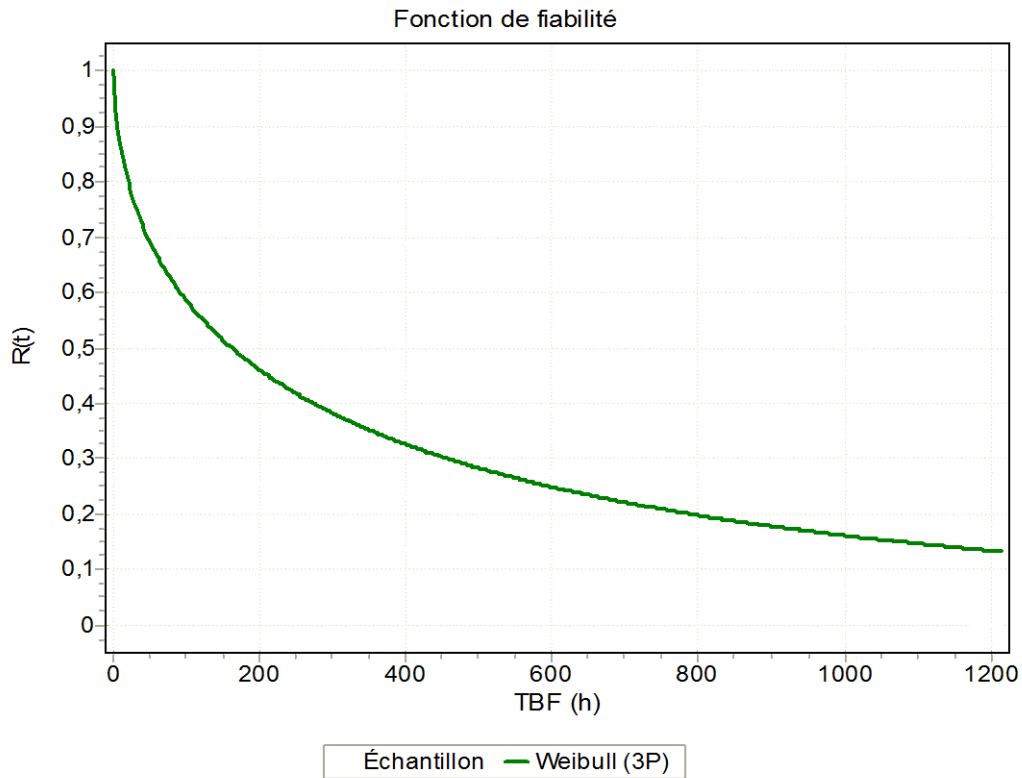
$$\text{D'où } \text{MTBF} = 2 * 321.48 + 0.78 = 643.74 \text{ h}$$

MTBF = 643.74 (h)

TBF	f (t)	F (t)	R (t)	λ (t)
0.78	0	0	1	0
0.85	0.09	0.013	0.987	0.092
4.15	0.001	0.088	0.911	0.014
31.9	0.0036	0.256	0.743	0.0049
94.76	0.0017	0.408	0.591	0.0029
113.43	0.0014	0.438	0.561	0.0026
133.28	0.0012	0.466	0.533	0.0024
192.43	0.00092	0.533	0.466	0.0020
301.11	0.00063	0.617	0.382	0.0016
323.36	0.00058	0.631	0.290	0.0016
486.08	0.00038	0.709	0.290	0.00132
487.66	0.00036	0.709	0.282	0.00131
509.03	0.00026	0.717	0.238	0.00129
645.66	0.00021	0.762	0.209	0.00115
763.35	0.00017	0.790	0.184	0.00010
886.76	0.00016	0.815	0.181	0.0009
1115.96	0.00014	0.850	0.149	0.0008
1213.66	0.00011	0.863	0.136	0.00085

Tableau 2.3- Les fonctions $F(t)$, $f(t)$, $R(t)$ et $\lambda(t)$





5. Commentaire :

1. Fonction de densité de probabilité $f(t)$

L'intérêt de cette fonction est de voir comment se distribuent les défaillances enregistrées et leur répartition autour de la moyenne de tenue d'un matériel.

Pour notre application la densité de probabilité devient presque nulle lorsque l'équipement dépasse le MTBF : $f(\text{MTBF}) = 0.00026$. Ce qui signifie que les pannes se minimisent après l'utilisation moyenne c.à.d la probabilité de la défaillance diminue avec le temps pour qu'elle reste presque stable quelle que soit le temps.

2. La fonction de répartition $F(t)$

La fonction de répartition est inversement proportionnelle à la fiabilité. Elle présente le risque de tomber en panne c'est à dire plus que la fiabilité diminue plus que le risque de tomber en panne augmente.

D'après notre graphe la probabilité de défaillance entre $t = 0$ et $t = \text{MTBF}$ est pratiquement croissante.

Le taux de défaillance $\lambda(t)$:

Après la comparaison avec la courbe en baignoire et les résultats obtenus on constate que le taux d'avarie est décroissant ($\beta < 1$) cela correspond à la période de jeunesse, mais sa variation est plus ou moins stable ce qui correspond à la zone de défaillance aléatoire.

On note que pour : $\lambda(\text{MTBF}) = 0.0011$

3. La fiabilité :

La fonction de fiabilité est décroissante avec le temps et d'après la forme de la courbe on constate que nous sommes en présence de défauts de jeunesse ; les avaries seront stabilisées et leur apparition seront parfaitement aléatoires vers le temps t

On note que pour :

$$R(\text{MTBF}) = 0.23 = 23\%$$

Conclusion

Dans ce chapitre on a étudié la fiabilité d'un turboalternateur de 55MW en exploitant son historique de panne durant l'année 2006 et en calculant sa fiabilité par l'intermédiaire de l'une des lois statistique la lois Weibull qui est la plus adapté au matériels électromécaniques.

D'où on a obtenu une faible valeur de 23 %, cette dernière n'est pas souhaitable sur les deux plans techniques et économiques de l'entreprise. Une mauvaise fiabilité entraîne l'indisponibilité de la machine et diminue la sûreté qui est un enjeu essentiel à la maintenance, et par conséquent l'augmentation du coût de maintenance et la diminution de la productivité. Plusieurs facteurs influe au manque de fiabilité tel que :

- l'erreur humaine qui est due à la mauvaise exploitation, à l'ignorance, à la négligence et à la baisse de vigilance.
- L'usure des différentes pièces à cause des facteurs environnementaux
- Défaut de conception (montage, usinage ...)

En outre pour atteindre un niveau de fiabilité requis nous envisagerons les actions suivantes

- Réduire la fréquence de panne répétitivité
- Optimiser la période d'intervention systématique
- Optimiser la gestion de rechange
- Développer le plan préventif
- Prendre des mesures prédictives

Dans ce souci nous ferons appel à d'autre outil et méthode plus performant de la maintenance conditionnelle tel que l'analyse vibratoire qui se présente dans la chapitre suivant.

L'analyse vibratoire

Introduction

Toutes les machines en fonctionnement génèrent des vibrations. Celles-ci parce qu'elles sont représentatives des efforts dynamiques engendrés par les pièces en mouvements, occupent une place privilégiée parmi les paramètres à prendre en considération pour assurer une surveillance efficace du bon état de fonctionnement des machines. Cette place se justifie d'autant plus que toute modification de la signature «vibratoire» d'une machine constitue souvent la première manifestation physique d'une anomalie, cause potentielle, à plus ou moins long terme, d'une panne ou d'une dégradation préjudiciables soit à la production, soit à la qualité du produit fini, soit enfin à la sécurité du personnel.

Ces particularités font de l'analyse des vibrations, qu'elle soit faite par la mise en place du suivi périodique de l'évolution d'un indicateur (ou d'un ensemble d'indicateurs) sélectionnés jusqu'au dépassement d'un seuil d'alarme, ou bien par l'établissement d'un diagnostic statuant sur la nature et la gravité d'une défaillance ainsi que sur l'urgence de l'intervention, l'un des principaux outils pour la prévention des pannes et l'étude de leur mode d'apparition. [11]

1. Définition :

On désigne par vibration dans le temps d'une grandeur quelconque. Il existe de nombreux exemples, qu'ils soient artificiels ou naturels, pour lesquels on observe un tel phénomène de va et vient autour d'une position de repos. [28]

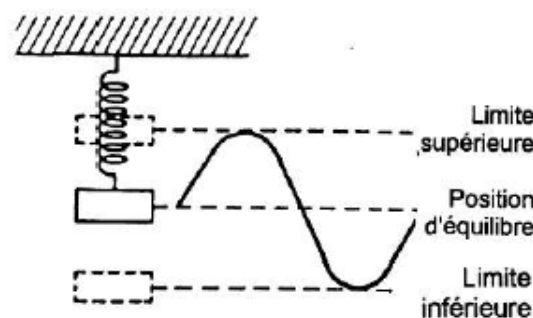


Figure 3.1 Système masse ressort [20]

2. Natures des vibrations

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

- Les vibrations harmoniques.
- Les vibrations périodiques.
- Les vibrations apériodiques.

2.1 Vibration harmonique

Une vibration harmonique est une vibration dont le diagramme amplitude –temps est représenté par une sinusoïde.

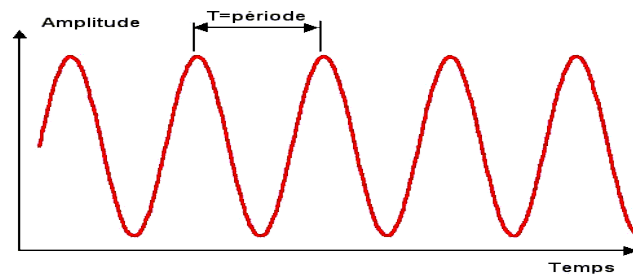


Figure 3.2 Vibration harmonique

Une vibration harmonique est caractérisée par sa fréquence et son amplitude :

- les fréquences sont mesurées en :
 - * Hz : nombre de cycle par seconde
 - * CPM : nombre de cycle par minute
 - * Ordre : nombre de cycle par révolution
- les amplitudes sont mesurées en :
 - * pic à pic
 - * pic : $1/2 \times \text{amplitude}_{\text{pic à pic}}$
 - * RMS : $0.707 \times \text{amplitude}_{\text{pic}}$

2.2 Vibrations périodiques

Une vibration périodique est telle qu'elle se reproduit exactement après un certain temps appelé période figure. Une telle vibration est créée par une excitation elle-même périodique.

Une vibration périodique est la composée de plusieurs vibrations harmoniques

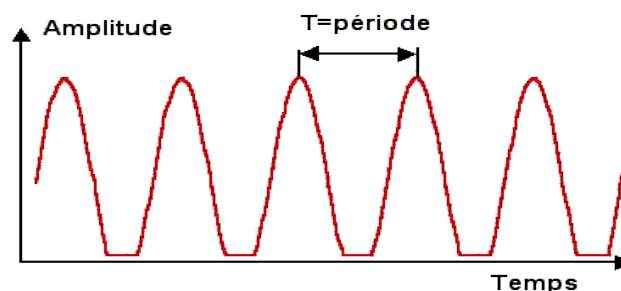


Figure 3.3 Vibration périodique

2.3 Vibrations apériodiques

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

3. Les paramètres caractéristiques

Une vibration peut se représenter sous diverses formes.

Si l'on observe un système mécanique simple constitué d'une masselotte suspendue à un ressort, on constate que le mouvement de la masselotte se traduit par un déplacement, une vitesse et une accélération.

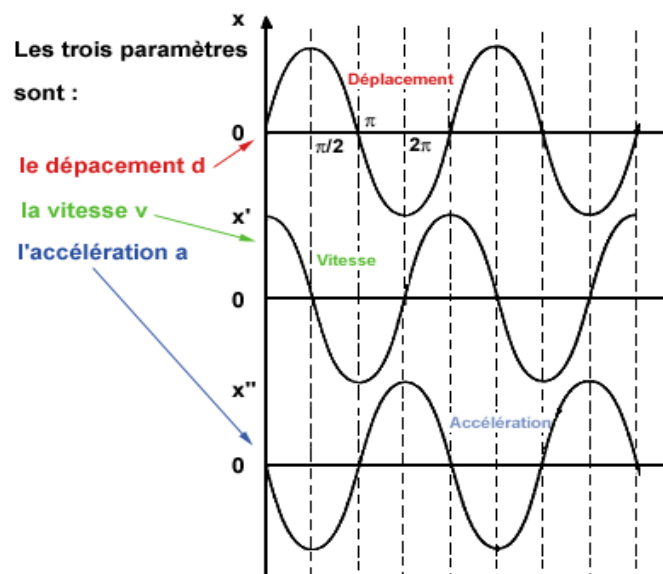


Figure 3.4 Les paramètres caractéristiques des vibrations

Il faut également noter qu'il existe une relation mathématique entre déplacement, vitesse et accélération.

La vitesse n'étant que l'expression d'une distance parcourue en temps donnés, et l'accélération n'étant que l'expression d'une variation de vitesse par unité de temps, il s'ensuit que, mathématiquement, la vitesse est définie comme étant la dérivée du déplacement et l'accélération comme la dérivée de la vitesse. [8]

$$x(t) = A \sin(2\pi \cdot ft)$$

$$v(t) = \frac{dx}{dt} = 2\pi \cdot fA \cos(2\pi \cdot ft)$$

$$a(t) = \frac{d^2x}{dt^2} = -(2\pi \cdot ft)^2 A \sin(2\pi \cdot ft)$$

4. Mesure des vibrations

Les trois grandeurs que l'on est amenées à mesurer en technique vibratoire : le déplacement, la vitesse et l'accélération peuvent être appréhendées par des systèmes très différents les uns des autres. [28]

On distingue trois principes plus particulièrement utilisés :

- Déplacement : principe des courant de Foucault
- Vitesse : principe électrodynamique
- Accélération : principe piézo- électrique

L'ensemble complet de mesure et d'analyse comporte

- un capteur
- Un collecteur de donnée
- Un calculateur ou un micro-ordinateur avec un logiciel d'exploitation.

4.1 Capteur de vibration

Le rôle du capteur est de transformer l'énergie mécanique dispensée par la machine en un signal électrique proportionnel mesurable de manière reproductible. Il existe deux grandes familles de capteurs, les absolus (accéléromètre, vélocimétrie) et les relatifs (proximités). [20]

- **Accéléromètre**

Il est constitué principalement d'un matériaux piézo électrique (habituellement une céramique ferro- électrique artificiellement polarisé). Lorsque ce matériau subit une contrainte mécanique, en extension, compression ou cisaillement il engendre une charge électrique proportionnelle à la force appliquée. Le capteur piézo- électrique ou l'accéléromètre sont les plus utilisés en raison de leur large gamme de fréquence d'utilisation

Figure 1

Les différents types d'accéléromètre sont destinés :

- aux mesures axiales
- à la surveillance continue
- à l'utilisation à haute température
- à la mesure de chocs de fort intensités...

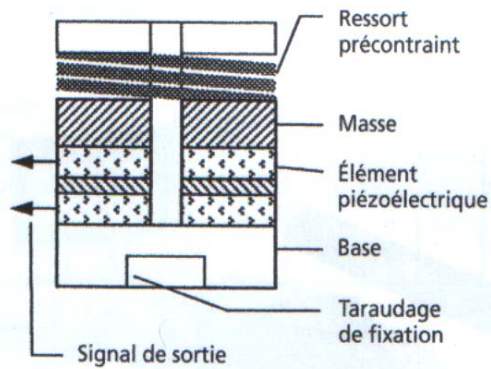


Figure 3.5 - Capteur piézo- électrique

- **Vélocimètre**

C'est un capteur électrodynamique, autogénérateur d'une tension proportionnelle à la vitesse de déplacement de la bobine (figure 2).

Le mouvement de la pièce métallique dans les spires provoque une variation du flux. Donc une induction de courant dans la bobine.

Avantages :

- pas d'amplificateur à haute impédance, ni d'électronique d'excitation,
- signal de sortie de haut niveau et de faible impédance.

Inconvénient :

- pièce métallique en mouvement (usure)
- sensibilité latérale
- faible bande passante (10-1000hz)

Figure 3.6- Capteur électromagnétique

- **Capteur de déplacement**

Le pont d'impédance est alimenté par un oscillateur de fréquence supérieur à 100kHz. La partie variable du pont est constituée par un self.

Le pont est équilibré lorsque il n'a y pas de tension aux bornes du démodulateur.

Dés qu'il y a modification de l'impédance de la bobine, il y a un déséquilibre du pont, donc une tension aux bornes du démodulateur à la fréquence de l'oscillateur. Cette tension est proportionnelle à la distance entre la cible et la bobine (figure 3)

Avantages

- mesure sans contact,
- mesure en continu (il existe un signale pour une fréquence nulle),
- mesure réelle du déplacement de l'axe dans son logement.

Inconvénients :

- sensible aux haute fréquence,
- qualité de mesure dépendant de la qualité du surface,
- phase relative des vibrations de l'arbre et du palier influençant la mesure,
- implantation difficile.

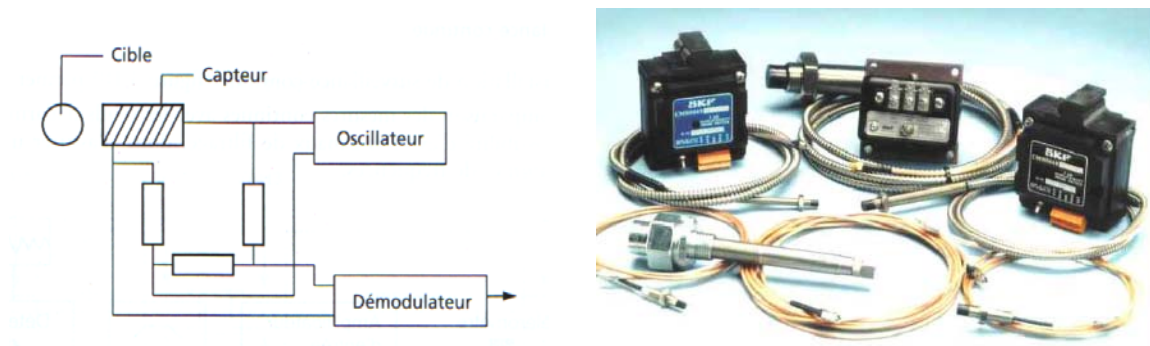


Figure 3.7 -Capteur de déplacement

4.2 Collecteur de donnée portable

Ces appareils présentent l'ensemble des mesures : déplacement, vitesse et accélération. Ils contiennent une mémoire interne importante pour stocker les données et permettent une communication facile avec un ordinateur.

Les paramètres de choix sont essentiellement les fonctions de gestion des circuits de mesure, le dialogue avec l'opérateur, l'ergonomie et le poids.

Certains appareils proposent des fonctions correctives supplémentaires comme l'équilibrage sur site le lignage d'arbre au laser.

4.3 Logiciel de traitement

Les logiciels associés aux électroniques de mesure assurent le stockage des données, la mise à jour des historiques, la configuration des appareils, l'établissement des courbes de tendance, l'élaboration de rapports, la gestion des alarmes et aident aux diagnostics.

Par ailleurs, ils possèdent aussi les fonctions nécessaires à leur intégration dans le système de communication existant.

4.4 Point de mesure

L'implantation de l'accéléromètre sur les machines est, elle aussi, très importante. Chaque campagne de mesure doit être effectuée en des points précis et toujours les mêmes. En effet, un phénomène mécanique peut donner des images vibratoires sensiblement différentes en fonction des points de mesure. [2]

On essaiera toujours de rapprocher le plus possible les points des paliers. Cela permet d'obtenir les images les plus fidèles des défauts mécaniques (bande passante de la chaîne d'acquisition maximale, amortissement minimisé).

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

4.5 Mode de fixation du capteur

Plusieurs modes de fixation existent : par goujon vissé ou embase collée, par embase magnétique ou par simple pression avec une pointe de touche. Le mode de fixation d'un capteur à une incidence considérable sur la bande passante de ce dernier figure et surtout sur la répétitivité de la mesure qui est le fondement même de la surveillance. Seules les modes de fixation par goujon vissé ou par embase collée offrent une réelle garantie sur la répétitivité de prise de mesures et une bande passante maximale. Cependant avec quelques précautions, la fixation par embase magnétique donne des résultats acceptables tout en réduisant sensiblement le temps de collecte. Par contre l'utilisation de pointe de touche offre une mauvaise répétitivité des mesures et une très mauvaise bande passante. Malgré sa facilité de mise en œuvre, cette technique de prise des mesures doit vivement être déconseillée. [10]

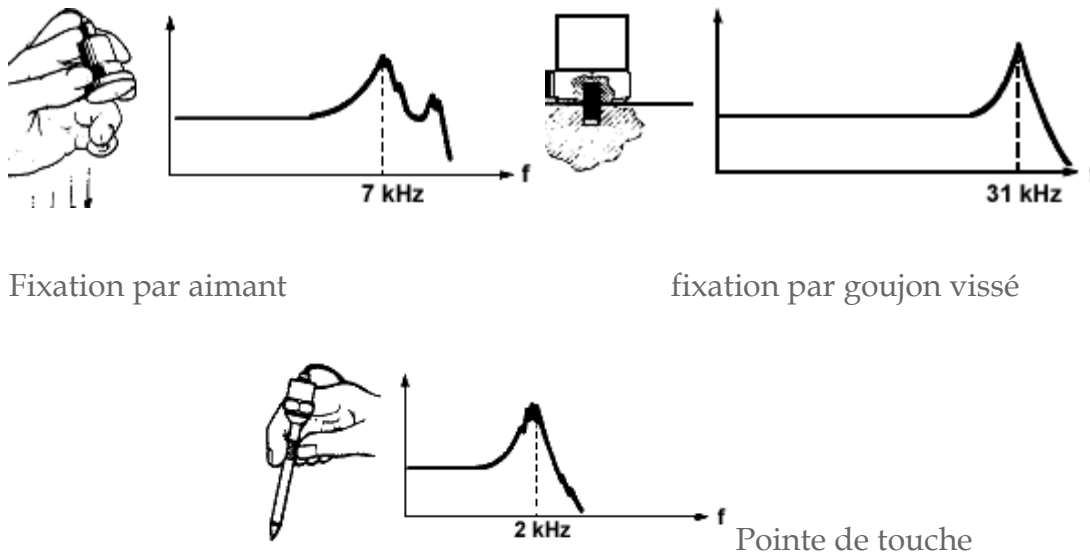


Figure 3.8 - Mode de fixation du capteur

5. Mis en oeuvre

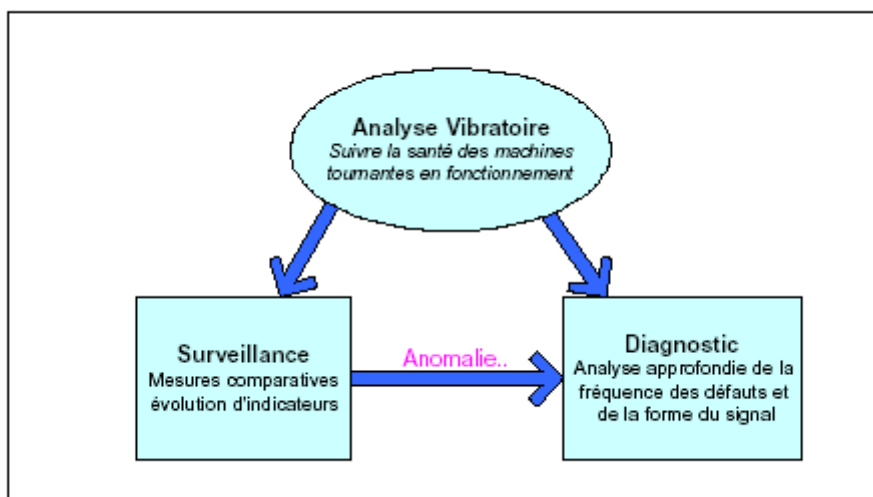


Figure 3.9 - déroulement d'une analyse vibratoire [2]

Le schéma de la Figure présente, de façon simplifiée, l'analyse vibratoire réalisée à partir de mesures effectuées sur les parties fixes des machines surveillées. On distingue communément deux principales activités :

- **La surveillance** : le but est de suivre l'évolution d'une machine par comparaison des relevés successifs de ses vibrations. Une tendance à la hausse de certains indicateurs par rapport à des valeurs de référence, constituant la **signature**, alerte généralement le technicien sur un dysfonctionnement probable. Idéalement, la signature est établie à partir d'une première campagne de mesures sur la machine neuve ou révisée ;

- Le **diagnostic** : il met en œuvre des outils mathématiquement plus élaborés. Il fait suite à une évolution anormale des vibrations constatée lors de la surveillance et il permet de désigner l'élément de la machine défectueux. Le diagnostic n'est réalisé que lorsque la surveillance a permis de détecter une anomalie ou une évolution dangereuse du signal vibratoire. Le diagnostic fait appel à des connaissances approfondies en mécanique et une formation spécifique en analyse du signal. [2]

5.1 Définition des alarmes

Seuil d'alarme en basse et moyenne fréquence

La norme ISO 2372 définit les seuils de vitesses efficaces selon les types de machines

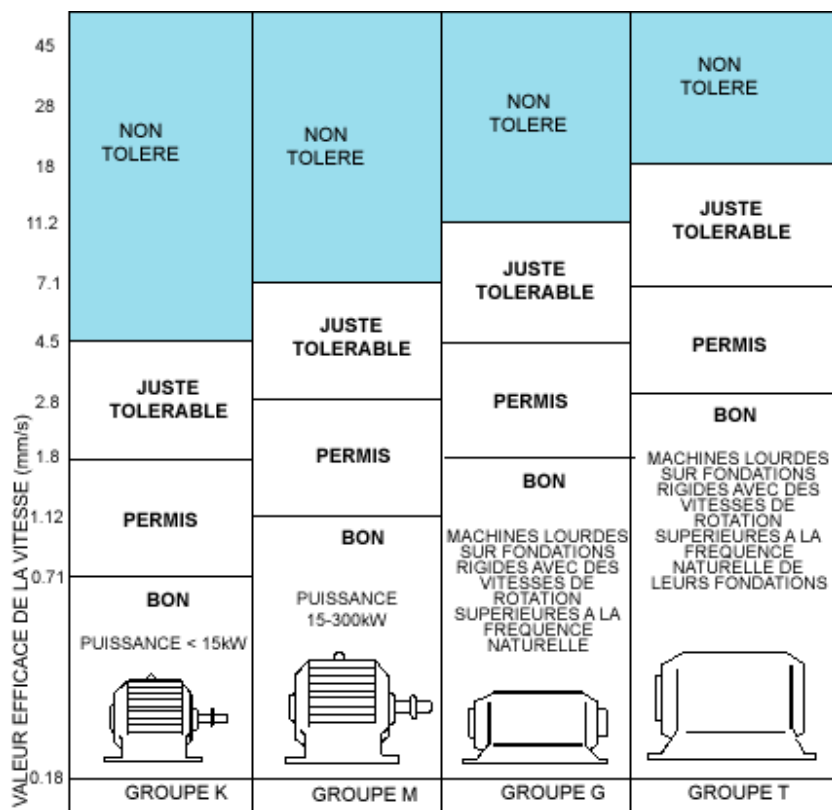


Figure 3.10 Seuil d'alarme en basse et moyenne fréquence [31]

5.2 Outil de surveillance

On peut définir globalement trois modes de surveillance de fiabilité croissante et de finalité différente [2] :

- Surveillance par indicateur scalaire énergétique «globaux»ou «large bande»
- Surveillance par indicateurs spectraux
- Surveillance par indicateurs typologiques ou comportementaux

5.2.1 Niveau global (NG)

La surveillance par niveaux globaux offre des possibilités d'investigations limitées. Les niveaux globaux sont des indicateurs scalaires plus ou moins sensibles à un nombre important de phénomènes. Sur une machine dont le niveau vibratoire normal est relativement haut, le développement d'un défaut mécanique peut être masqué par le bruit de fond. Le niveau global mesuré ne réagit alors pas à ce défaut, du moins pas à un stade précoce de son développement.

La surveillance par niveaux globaux ne peut convenir que dans le cadre d'une politique de sécurité. Elle permet de détecter un fonctionnement anormal et de déclencher un arrêt avant la panne des installations. En aucun cas on ne pourra identifier la cause de ce fonctionnement anormal ni optimiser la maintenance des machines avec un tel outil.

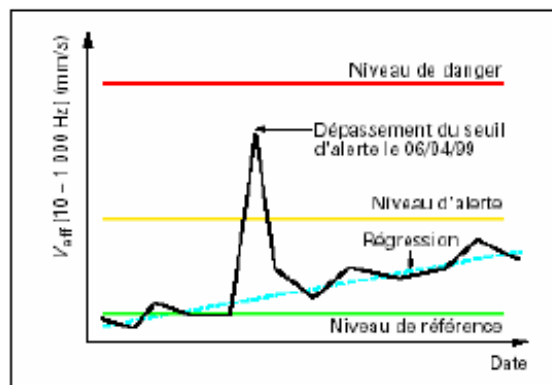


Figure 3.11 - Exemple d'utilisation d'un niveau globale

La Figure illustre l'utilisation d'un niveau global avec l'indicateur vitesse efficace [10-1000 Hz].

Le niveau global utilisé fait apparaître un problème. On évalue sa gravité mais on n'en connaît pas l'origine. Une telle évolution peut cependant être due à l'apparition d'un balourd ou d'un délignage. Pour trancher entre 2 causes, il est nécessaire de réaliser un diagnostic précis. On fera alors appel à une analyse effectuée sur un spectre RC (ou FFT) de moyennes fréquences.

- **Indicateurs basse fréquences (signal de grande énergie)**

Déplacement crête- crête entre 10 et 1000 Hz : Dcc (10-1000Hz) en μm

C'est l'indicateur préconisé par l'API (Américain petroleum institute)

Il est utilisé par tout industriel intervenant dans la pétrochimie et est sensible aux phénomènes dits «basses fréquences».

Le niveau acceptable maximal est donné, quelle que soit la machine, par la formule Suivante :

$$D_{cc \max} = 25.4 \sqrt{\frac{12000}{N}}$$

Avec : N vitesse de rotation (tr/min)

Dcc déplacement crête- crête (μm)

Vitesse efficace entre 10- 1000 Hz : Veff (10-1000Hz) (en mm/s)

Cet indicateur est, lui aussi, révélateur des phénomènes dits « basses fréquences» BF. Ces phénomènes sont les plus énergétiques, donc les plus destructeurs. Ils peuvent aussi être à l'origine de desserrage ou de fissures.

Une augmentation du balourd, un défaut de lignage, se traduira par une augmentation anormale cet indicateur qui est pris comme référence dans la norme ISO 10816.

- **Indicateur hautes fréquences (signal de faible énergie)**

Accélération efficace entre 1 et 10 KHz : Acc eff (1000 – 10 000Hz) en g ou mg

C'est un indicateur révélateur des phénomènes dits «hautes fréquences» HF tels que les défauts de roulement, de denture...

Une élévation anormale de l'accélération sera en général, sur une machine simple, révélatrice d'une dégradation avancée des roulements.

- **Indicateur spécifique aux roulements**

Facteur de crête entre 1 et 10 kHz : FC (1000 – 10 000Hz) (sans unité)

$$FC = \frac{A_{\text{crête}}}{A_{\text{eff}}}$$

Le défaut majeur de cet indicateur est de présenter environ les mêmes valeurs dans les deux cas extrêmes (état neuf et fin de vie du roulement figure 3). Seule son évolution est significative. C'est en revanche un indicateur stable.

Facteur K entre 1 et 10 KHz :K (1000 -10 000Hz) (en g² ou mg²)

$$K = \text{Acc}_{\text{crête}} \cdot \text{Acc}_{\text{eff}}$$

Le facteur K est plus sur pour effectuer une analyse ponctuelle des roulement. Sa valeur est directement liée à l'état du ou des roulements.

Du fait de son mode de calcul (g²) et contrairement au facteur de crête, le facteur K est un indicateur instable.

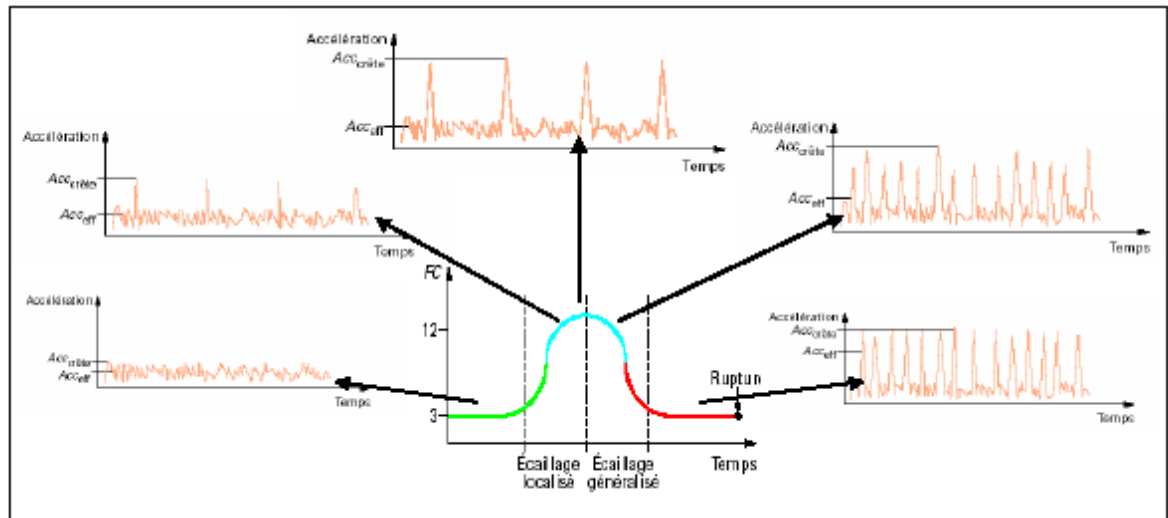


Figure 3.12 - Evolution du facteur crête en fonction de l'évolution d'un défaut de roulement

Spectre PBC (pourcentage de bande constant)

La technique de surveillance des installations à chaîne cinématique simple (une seule ligne d'arbre) par comparaison de spectres PBC est une technique fiable et rapide. Le spectre PBC se présente sous forme de « bandes » juxtaposées selon une échelle logarithmique de la fréquence. Le rapport « largeur de bande /valeur de fréquence centrale » reste constant. Il est généralement égal à 6%, 23% ou 70 %. Ces valeurs sont couramment utilisées dans l'industrie et proviennent de l'analyse sonore.

On représente le spectre PBC sur des échelles logarithmiques en abscisses et ordonnées (Figure 3.12). Le résultat est une image haute résolution aux basses fréquences (BF) afin de bien distinguer les composantes caractéristiques des défauts tels que le balourd, le désalignement, les instabilités des rotors. Dans les hautes fréquences (HF), la résolution est faible mais suffisante pour détecter les défauts de roulements.

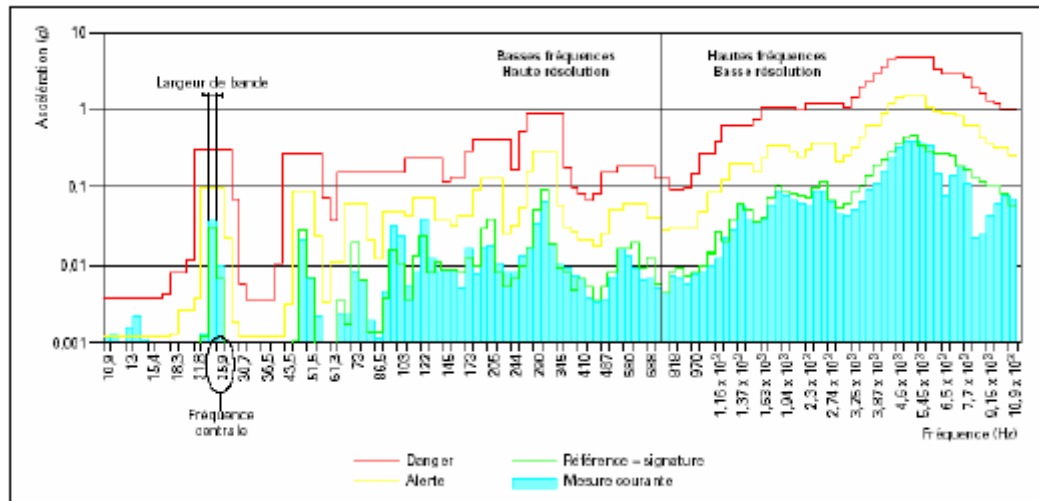


Figure 3.13- Exemple de spectre PBC

5.3 Outils de diagnostic :

1. Spectre RC (résolution constante) ou FFT (fast fourier transform) et le zoom

C'est une représentation de l'amplitude de l'accélération reportée sur un axe linéaire en fréquence. Notre appareil possède une résolution de 400 lignes, mais pourrait être de 800 ou 1200 lignes sur d'autres appareils. Le spectre obtenu sera donc une courbe passant par 400 points régulièrement espacés en fréquence.

La bande de fréquences Δf se définit avant de procéder aux mesures sur site. On distingue :

- les spectres BF (basses fréquences [0-50 Hz]) ;
- les spectres MF (moyennes fréquences [0-500 Hz]) ;
- les spectres HF (hautes fréquences [0-10 000 Hz]) ;
- les zooms haute résolution

2. Cepstre

C'est la représentation de la transformée de Fourier du spectre ; soit deux fois la transformée de Fourier du signal temporel de base. L'image obtenue est une courbe en fonction du temps (qué-fréquence) mesuré en secondes.

Le cepstre est au spectre ce que le spectre est à la représentation temporelle du signal. Un phénomène périodique dans le temps n'est représenté que par un seul pic sur un spectre figure. De la même façon, un phénomène représenté par un spectre périodique (modulation) ne donne qu'un seul pic sur un cepstre figure.

C'est un outil de diagnostic utilisé pour distinguer des défauts qui donnent des images spectrales complexes dues à plusieurs modulations d'amplitude concomitantes. Les

engrenages peuvent nécessiter ce type d'analyse. En effet la fréquence d'engrènement est souvent modulée par les fréquences de rotation des roues menante et menée.

Le cepstre permet de séparer et d'identifier sur une seule image toutes les fréquences de modulation (fréquence de rotation des arbres d'entrée, intermédiaire et de sortie dans un réducteur).

3. Analyse d'enveloppe ou signature BCU (Bearing Condition Unit)

Cette technique est très utilisée pour la détection des défauts se manifestant dans les hautes fréquences. Ces défauts sont forcément de faible énergie. Ils n'émergent en général pas du bruit de fond sur un spectre RC dans les hautes fréquences. Ils peuvent s'apparenter à de petits chocs qui excitent la structure de la machine laquelle répond généralement entre 1 et 10 kHz.

Le but du spectre enveloppe est d'extraire les signaux périodiques de très faible amplitude se trouvant à haute fréquence.

Un spectre enveloppe doit donc se paramétrer de façon précise sur deux gammes de fréquences différentes :

- la gamme HF ; c'est la gamme de fréquences excitée par les défauts sur laquelle réagit la structure. Elle est généralement comprise entre 1 et 10 kHz.
- la gamme de fréquences des défauts « excitateurs » possibles.

Ces défauts sont ceux des roulements. L'élément fautif peut être la piste interne (sur l'arbre), la piste externe (sur l'alésage) ou une bille.

Des logiciels édités par les constructeurs de roulements permettent de déterminer, en fonction du type de roulement et de la vitesse de rotation de l'arbre, toutes les fréquences des défauts possibles dans un roulement.

6. Reconnaissance des principales anomalies

Anomalie	Vibration		Remarque
	Fréquence	Direction	
Tourbillon D'huile	De 0.42 à 0.48 FR	Radiale	Uniquement sur paliers lisse hydrodynamique à grande vitesse
Balourd	1 x FR	Radiale	Intensité proportionnelle à la vitesse de rotation. Déphasage de 90° sur deux mesures orthogonale.
Défaut de fixation	1, 2, 3, 4 x FR	Radiale	Aucun déphasage sur deux mesures orthogonales
Défaut d'alignement	2 x FR	Axiale et radiale	Vibration axiale en général plus importante si le défaut d'alignement comporte un écart angulaire
Excitation électrique	1, 2, 3, 4 x 50Hz	Axiale et radiale	Disparaît dès la coupure de l'alimentation
Vitesse critique de rotation	Fréquence critique du rotor	Radiale	Apparaît en régime transitoire et s'atténue ensuite
Courroie en mauvais état	1, 2, 3, 4, x FP	Radiale	
Engrenage endommagé	FE = nombre de dents x FR arbre	Axiale et radiale	Bandes latérales autour de la fréquence d'engrènement.
Fond rond pignon	F ± FR pignon	Axiale et radiale	
Excitation hydrodynamique	Fréquence de passage des aubes	Axiale et radiale	
Détérioration de roulement	Haute fréquence	Axiale et radiale	Onde de choc dues aux écaillages

Tableau 3.1 - Les principales anomalies [20]

Conclusion :

L'analyse vibratoire est l'un des piliers de la maintenance conditionnelle, et sans doute un outil puissant et complexe, c'est la technique la plus diversifiée, la mieux codifiée et celle qui permet sur les machines tournantes d'aller le plus loin dans le diagnostic.

La surveillance par analyse de vibration était destinée à assurer la protection d'une machine en déclenchant ou en générant des alarmes avant que ne surviennent des dégradations graves. Elle doit maintenant permettre de détecter à un stade précoce l'existence d'un défaut, d'en identifier la nature, d'en déterminer la gravité et d'en suivre l'évolution. Les informations fournies doivent permettre la planification des arrêts préventifs pour remise en état au meilleur moment.

En outre cette technique ne cessera pas de s'améliorer grâce à l'expérience croissante des utilisateurs et l'évolution des performances de l'outil informatique augmentera encore la fiabilité des outils de production.

Mais l'utilisation de l'analyse vibratoire comme un outil unique ne suffit pas pour un diagnostic parfait, il faut intégrer d'autres techniques telle que l'analyse d'huile.

Analyse des huiles

Introduction

En simple terme le rôle principal d'un lubrifiant est de réduire le frottement et l'usure des surfaces en mouvement relatif, donc de point de vu tribologique le lubrifiant forme dans un contact entre deux corps, glissant l'un sur l'autre, un troisième corps (film) qui sépare ces deux derniers. En plus, un lubrifiant influe sur les caractéristiques de fonctionnement et les conditions d'utilisation des machines

Un autre aspect important est la qualité du lubrifiant qui reflète sa résistance à la dégradation en service. Aujourd'hui la majeure partie des travaux de recherches sur les lubrifiants est consacrée à l'étude, à la prévention et à la surveillance de la dégradation d'huile puisque la vie d'huile est aussi importante que son niveau de qualité à l'utilisation initiale [19]. En plus de la dégradation de surface en service qui peut endommager les machines en fonctionnement; une huile peut causer la corrosion des surfaces en contact.

Néanmoins, la qualité d'huile n'est pas la seule considération. Les considérations économiques sont également importantes. Par exemple, dans les grosses machines contenant plusieurs milles litres d'huile de lubrification et de commande, le coût d'huile peut être très important.

Dans le cadre de la maintenance préventive, la lubrification souvent appelée graissage par les mainteneurs est la première des opérations de préventif; elle est une opération fondamentale et critique pour tout équipement mécanique. Sans lubrification bien faite et bien gérée on se trouve obligatoirement devant des problèmes mystérieux et la négligence de ce type de maintenance conduit à des défaillances, voire à des casses importantes.

L'étude présentée dans ce chapitre tente à présentée et a donner un aperçu global sur les lubrifiants, leur composition, leurs caractéristiques et leurs utilisations à des finalités de maintenance préventive conditionnelle.

1. Lubrifiants et additifs

1.1 Les lubrifiants

Le rôle d'un lubrifiant est tout d'abord la diminution du frottement, cause principale de l'usure. Il permet une formation d'un film qui sépare les éléments glissants l'un sur l'autre. Par ses propriétés physiques, il assure également d'autres fonctions :

- refroidissement : évacuation de la chaleur produite par le frottement ou par une source extérieur ;
- protection contre la rouille et d'autres types de corrosion ;
- filtration : mis en suspension des particules et piégeage sur un filtre ;
- étanchéité : matelas visqueux entre les pièces mécaniques ;
- transmission de l'énergie : dans les circuits hydrauliques et les transmissions automatiques de véhicules.

On les distingue, selon leur nature, en plusieurs catégories suivantes :

- Les huiles minérales sont issues du raffinage du pétrole brut. Elles sont les plus utilisées car elles ont l'avantage d'être peu coûteuses et d'offrir une gamme très étendue de viscosité. On peut ainsi modifier leurs caractéristiques en ajoutant des additifs.
- Les huiles grasses sont d'origine animale ou végétale. Elles sont très peu utilisées dans la lubrification proprement dite. Elles sont de faible viscosité et très sensibles au vieillissement par oxydation.
- Les huiles synthétiques sont obtenues par synthèse chimique. Leur utilisation nécessite parfois des précautions (tenues des joints, filtration, miscibilité).
- Les graisses sont des huiles minérales ou synthétiques épaissies par un gélifiant (savant ou argile colloïde). Leur consistance est fonction de la teneur en gélifiant. Leur utilisation principale est le graissage des roulements et des articulations.
- Les lubrifiants solides proviennent de la cristallisation laminaire de certains produits (graphite, bisulfure de molybdène). Ils sont utilisés dans la lubrification sous forte charge ou à haute température.
- Les fluides à base d'eau sont difficilement inflammables et utilisés dans certaines applications (arrosage des machines outils).

1.2 Les additifs :

Malgré les progrès continus du raffinage du pétrole et de la pétrochimie, les huiles de base minérales ou synthétiques pures ne possèdent pratiquement jamais toutes les propriétés requises pour leurs principales applications: automobiles, industrielles, marines ou aéronautiques. Aussi, est-il nécessaire d'ajouter aux lubrifiants finis (huiles et graisses) des additifs. Ces additifs pour lubrifiants sont des composés chimiques, de nature organique ou organométallique, incorporés aux huiles de graissage ou aux graisses, à des teneurs variant de moins de 1 % à plus de 25 % selon les cas, pour, soit conférer aux huiles ou graisses de base

des propriétés qu'elles ne possèdent pas naturellement, soit améliorer leurs propriétés naturelles.

Il ne faut pas croire qu'un additif donné agit dans n'importe quelle condition. En réalité, son action dépend de quatre ensembles de facteurs principaux [4] :

- ✓ sa nature chimique, son degré de pureté et sa concentration dans l'huile;
- ✓ les interactions avec les autres additifs présents dans la formule;
- ✓ la nature des huiles de base : composition chimique, pureté, degré de raffinage, grade de viscosité, etc.;
- ✓ les conditions tribologiques de fonctionnement du mécanisme à lubrifier conditionnant le régime de lubrification.

1.2.1 Principaux types d'additifs pour lubrifiants : Les additifs pour lubrifiants se différencient d'abord d'après le but recherché :

- ✓ pour prévenir des modifications indésirables dues à l'altération en service. Ce sont les inhibiteurs;
- ✓ pour améliorer les propriétés initiales de l'huile de base. Ce sont les améliorants.

Ils peuvent également être classés selon leur mode d'action très général. On distinguera :

- ✓ ceux qui agissent chimiquement dans la masse du lubrifiant;
- ✓ ceux qui agissent chimiquement au niveau des surfaces;
- ✓ ceux qui agissent physiquement dans la masse du lubrifiant;
- ✓ ceux qui agissent de manière physique ou éventuellement physico-chimique aux interfaces liquide solide;
- ✓ ceux qui agissent de manière physique ou éventuellement physico-chimique aux interfaces liquide-liquide ou liquide-gaz;
- ✓ ceux enfin dont l'action est physiologique.

1.2.2 Additifs améliorant certaines propriétés :

- ✓ **Anti-oxydant** : retarde l'oxydation de l'huile en présence d'oxygène;
- ✓ **Anti-mousse** : détruit la stabilité des bulles d'air formant la mousse;
- ✓ **Améliorant d'indice de viscosité** : réduit la variation de viscosité en fonction de la température;
- ✓ **Abaisseur de point de congélation** : empêche l'agglomération des microcristaux de paraffine formés à froid;
- ✓ **D'onctuosité** : améliore l'adsorption des molécules d'huiles sur la surface métallique.

1.2.3 Additifs conférant de nouvelles propriétés :

- ✓ **Anti-usure** : réduit le coefficient de frottement en lubrification limite;
- ✓ **Anti-rouille** : adhère sur l'acier et l'isole des éléments favorisant la formation de la rouille;
- ✓ **Anti-corrosion** : transforme la surface métallique pour former une véritable peinture isolante;
- ✓ **Extrême-pression** : modifie la nature chimique des surfaces métalliques de façon à éviter les arrachements de matière dus à la soudure des micro-aspérités sous forte charge;
- ✓ **Détergence** : évite l'agglomération des dépôts dans les parties chaudes;
- ✓ **Dispersion** : maintient en suspension les résidus de combustion et les impuretés;
- ✓ **Emulgateur** : permet l'émulsion de l'huile dans l'eau;
- ✓ **Désémulsibilité** : favorise la séparation de l'eau qui peu s'introduire dans

2. Caractéristiques des huiles :

C'est devant la grande diversité des lubrifiants qu'est apparue la nécessité d'un contrôle rigoureux de ces produits, il a donc fallu créer des méthodes d'essai ou de mesure permettant le repérage précis de certains critères de qualité. Les critères ainsi mesurés ont pris le nom de "caractéristiques" des huiles. Parmi les qualités fondamentales des lubrifiants, il en est une qui doit être traitée à part : la viscosité des huiles, car elle est scientifiquement définie et facilement mesurable.

2.1 La viscosité :

De toutes les caractéristiques physiques et chimiques à considérer en lubrification, la viscosité est l'une des plus importantes. Dans **les paliers**, les engrenages et les systèmes hydrauliques où le régime de fonctionnement est hydrodynamique, c'est la viscosité qui détermine les pertes par frottement, la capacité de charge et l'épaisseur du film d'huile [17].

Selon la norme NF T60-100 de novembre 1959 : " la viscosité d'un liquide est la propriété de ce liquide, résultant de la résistance qu'opposent ses molécules à une force tendant à les déplacer par glissement dans son sein". Ainsi la viscosité d'un fluide est la résistance opposée par ce fluide à tout glissement interne de ses molécules les unes sur les autres.

2.1.1 Viscosité dynamique :

La viscosité dynamique ou absolue est la viscosité qui intervient dans les calculs d'épaisseur de film d'huile et de portance hydrodynamique. Considérons par exemple la

figure 4.1; deux surfaces planes parallèles. Une surface S mobile animée d'une vitesse u et une surface fixe distante de la surface mobile d'une distance h égale à l'épaisseur du film d'huile. Le déplacement relatif des deux surfaces nécessite un effort F destiné à vaincre la résistance tangentielle au frottement visqueux du fluide.

Mathématiquement; si dh désigne la distance entre deux lames animées respectivement des vitesses u et $u+du$, la force de frottement par unité de surface F/S opposée à la pellicule la plus rapide par la pellicule sous-jacente sera exprimée par la formule :

$$F/S = \eta du/dh$$

Le facteur de proportionnalité η étant le coefficient de viscosité dynamique ou simplement la viscosité dynamique.

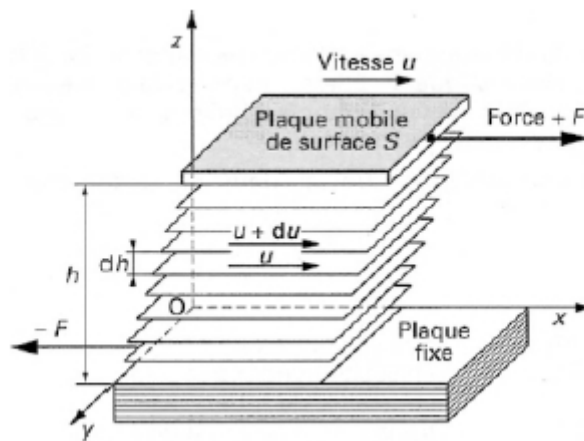


Figure 4.1 - Ecoulement d'un film d'huile (viscosité dynamique) [5].

L'unité de viscosité dynamique, dans le système SI, est le pascal-seconde ($\text{Pa} \cdot \text{s}$).

Dans l'ancien système CGS, l'unité était le poise (P) mais l'unité pratique utilisée était le centipoise (cP), la viscosité dynamique de l'eau à 20°C étant égale à 1 cP.

Les relations entre les unités SI et CGS sont : $1 \text{ Pa} \cdot \text{s} = 10 \text{ P}$ et $1 \text{ mPa} \cdot \text{s} = 1 \text{ cP}$.

Par souci de continuité, actuellement, la viscosité dynamique des lubrifiants est exprimée en millipascal.seconde ($\text{mPa} \cdot \text{s}$).

La viscosité dynamique est mesurée sur appareil à cylindres coaxiaux : Brookfield, Cold Cranking Simulator (CCS), Mini Rotary Viscometer (MRV), Ravenfield, etc. dont le prototype (figure 4.2) fut le viscosimètre de Couette au 19^e siècle [5].

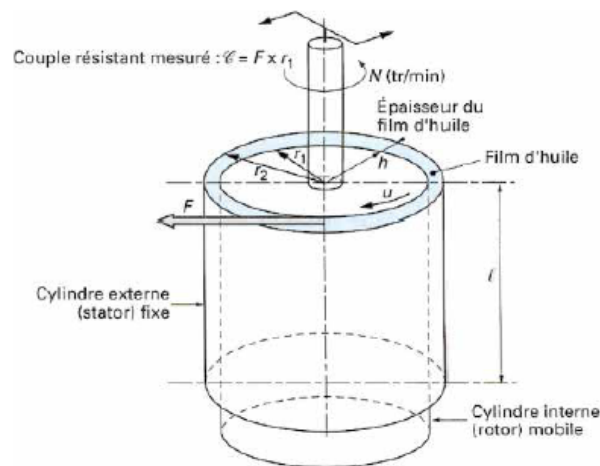


Figure 4.2 - Viscosimètre de couette -principe-

2.1.2 Viscosité cinématique :

C'est le quotient de la viscosité dynamique par la masse volumique. Elle est déduite de la mesure du temps d'écoulement d'un certain volume d'huile dans un tube capillaire, conformément à la loi de Poiseuille.

$$\nu = \frac{\eta}{\rho} = kt$$

Avec ρ (kg/m³) masse volumique;
 η (Pa · s) viscosité dynamique;
 k constante du tube;
 t (s) temps d'écoulement de l'huile.

Viscosimétrie : de nombreuses méthodes ont été élaborées pour mesurer la viscosité des huiles, elle sont basées sur :

- ✓ Le temps de chute à travers le liquide, d'une bille ou d'un corps cylindrique;
- ✓ Le temps d'écoulement par gravité d'une quantité définie de liquide à travers un tube capillaire (figure 4.3) ou à travers un orifice calibré à une température déterminée à 50°C pour les degrés Engler et à 37,8 et 98,9°C pour les unités anglo-saxonnes; cette dernière méthode est la plus utilisée pour les produits lubrifiants.

Cette dernière exprime la viscosité empirique: le degré Engler en Europe continentale, la seconde Redwood en Grande-Bretagne et la Second Saybolt Universal aux Etats-Unis.

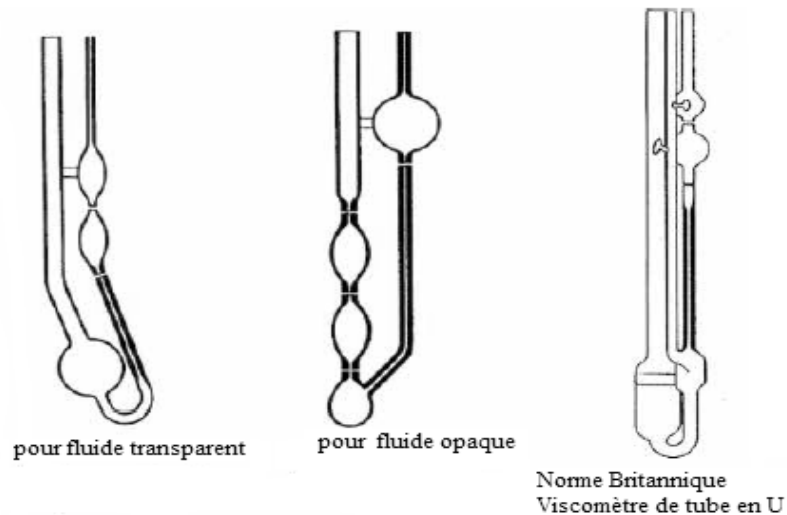


Figure 4.3 - Type de viscosimètre capillaire

2.1.3 Variation de la viscosité avec la température :

La viscosité d'une huile diminue quand la température augmente. Donc, pour être précis, la viscosité doit toujours être donnée à une température déterminée (figure 4.4).

Toute fois une transformation logarithmique des coordonnées viscosité et température permet de convertir les courbes en lignes droites, ce qui simplifie la représentation graphique et l'extrapolation des données. En effet, l'emploi de ce diagramme logarithmique adopté par l'A.S.T.M. (American Society for Testing Materials) à l'avantage de ne nécessiter que deux mesures pour connaître la viscosité d'une huile à une température quelconque (figure 4.4).

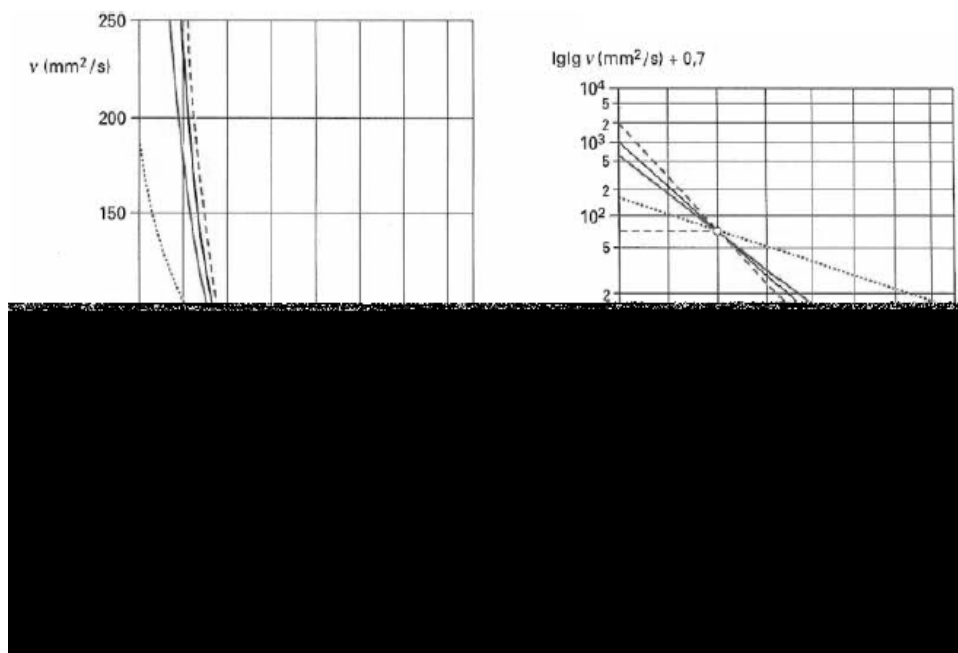


Figure 4.4 - Variation huile température pour différentes huiles [5]

2.1.4 Indice de viscosité :

Toujours dans un souci de précision, la nécessité d'exprimer, au moyen d'un seul nombre, la variation de viscosité d'une huile en fonction de sa température se fit sentir. En 1929, Dean et Davis créeront la notion d'indice de viscosité [19].

Pour déterminer l'indice de viscosité d'une huile de viscosité U à 40°C et P à 100°C , on recherche les viscosités respectives L et H à 40°C des huiles de références à caractères paraffinique et naphénique ayant la viscosité P à 100°C (figure 4.5). L'indice de viscosité VI (Viscosity Index) est alors donné par :

$$VI = 100 \frac{L - U}{L - H}$$

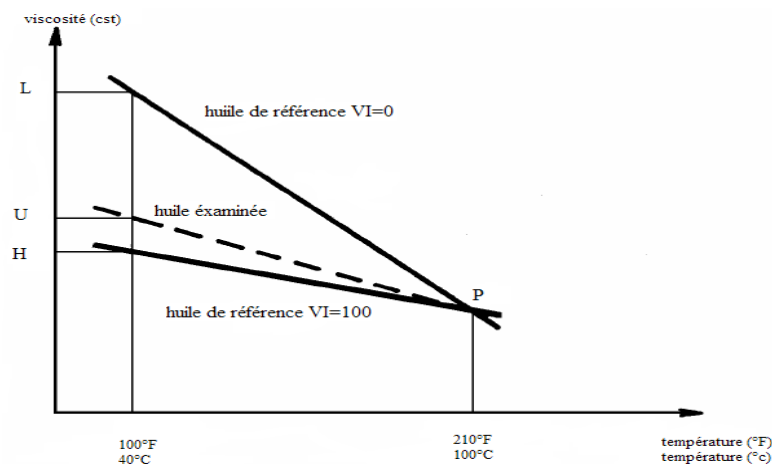


Figure 4.5 - Indice de viscosité

2.1.5 Variation de la viscosité avec la pression :

La viscosité croît avec la pression, cet accroissement n'est réellement sensible qu'à partir d'une pression de 200 bar environ [19].

Le rapport pression/viscosité étant de forme exponentielle, il est plus pratique d'utiliser des coordonnées logarithmiques pour tracer le diagramme représentant cette fonction :

$$\eta_p = \eta_0 \exp(\alpha p)$$

Il convient de tenir compte de cette augmentation de viscosité dans les systèmes hydrauliques pour lesquels les pressions du fluide varient de 5 à 50 MPa, dans les contacts hydrodynamiques (paliers lisses, butées, glissières, etc. (voir figure 4.6)) caractérisés par des pressions moyennes de 20 à 80 MPa et surtout dans les contacts hertziens (engrenages, roulements, cames-poussoirs, etc.) dans lesquels la pression de Hertz varie de 400 à 2 000 MPa, ce qui entraîne une véritable rigidification de l'huile [12].

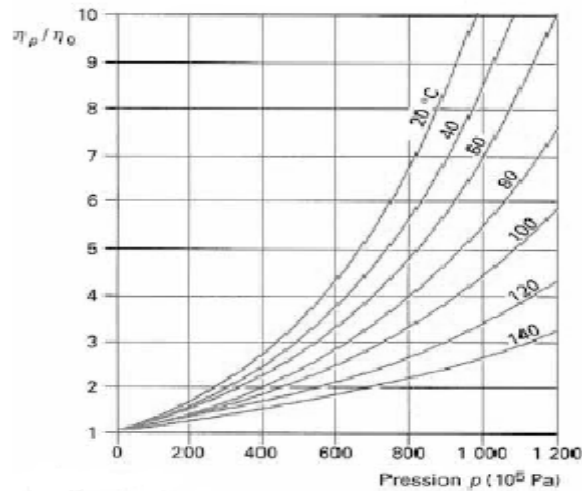


Figure 4.6 - Relation viscosité/pression en fonction de la température [5].

En conclusion, il convient de se rappeler toujours que la viscosité d'un produit n'a d'intérêt qu'en fonction des températures auxquelles il se rapporte. En fonction des conditions d'utilisation du produit, chacune des caractéristiques qui suivent peut avoir une importance prépondérante.

3.2 - Couleur :

Il n'est tenu habituellement compte que de la couleur par transparence. Cette caractéristique permet l'identification d'une huile neuve. La couleur de l'huile évolue en cours d'utilisation; cela est évident pour les huiles moteurs qui deviennent rapidement noires en se chargeant en suies de combustion, mais cela est aussi vrai pour les huiles claires (fluides hydrauliques, huiles turbines, etc.) qui se colorent par oxydation ou en raison de la pollution.

3.3 - Densité :

La densité d'une huile, souvent donnée dans les documents techniques, est le rapport de la masse d'un certain volume de cette huile à une température donnée (généralement 15 ou 20°C) à celle du même volume d'eau à 4°C. Elle est désignée par d_4^{15} ou d_4^{20} et est sans dimension.

La masse volumique d'un liquide à une température donnée est la masse de l'unité de volume; elle était autrefois désignée masse spécifique. Pour les produits pétroliers, elle est mesurée à 15°C et est exprimée en kg/m^3 ou encore en kg/dm^3 ou g/cm^3 .

Sa mesure fait appel à différentes méthodes mesure directe à l'aréomètre par application du principe d'Archimède. Le volume immergé est inversement proportionnel à la masse volumique (méthodes NF T60-101/ISO 3675/ASTM D 1298) :

- ✓ mesure au pycnomètre consistant à peser un volume donné dans une ampoule calibrée appelée pycnomètre (méthodes ASTM D 941 pour les liquides fluides et D 1481 pour les liquides visqueux);
- ✓ mesure au densimètre digital déterminant la masse volumique par calcul à partir de la mesure de la fréquence propre d'un volume calibré de liquide (méthode ASTM D 4052).

3.4. Point d'écoulement et point de trouble :

C'est la plus basse température à laquelle l'huile coule encore lorsqu'elle est refroidie, sans agitation, dans des conditions normalisées (NF T 60-105 /ASTM D 97/ISO 3016). Lors de la détermination du point d'écoulement (pour point) des huiles, une autre caractéristique est également mesurée, il s'agit du point de trouble (cloud point) qui est la température à laquelle apparaissent de façon visible à l'oeil nu les premiers cristaux de paraffine. Pour l'utilisateur d'huiles moteurs et de transmissions, le point de trouble ne présente aucun intérêt et le point d'écoulement ne constitue pas un critère de sélection déterminant. En revanche, pour le formulateur, cette caractéristique est primordiale pour le choix des huiles de base. Le point d'écoulement des huiles de base peut être amélioré par l'adjonction d'additifs appropriés.

3.5 - Teneur en eau :

La présence d'eau dans une huile de lubrification neuve constitue une anomalie et ne peut résulter que d'une pollution. Le dosage de la teneur en eau séparée, ou l'humidité d'une huile neuve, est nécessaire pour vérifier l'état d'un produit provenant d'une fourniture ancienne, ou contenu dans un emballage stocké dans des conditions anormales.

Pour un lubrifiant usagé, la recherche de la teneur en eau peut apporter des indication utiles:

- ✓ sur l'état de l'huile (inadaptées, usées,...);
- ✓ sur l'état de la machine (mauvaise conception, fuite);
- ✓ sur l'agression de l'environnement (pollution extérieure).

3.6 - Désémulsibilité :

C'est l'aptitude que possède une huile à se séparer de l'eau qui accidentellement s'y introduit. Pour estimer cette propriété, divers essais ont été mis au point mais ceux-ci n'ont qu'une valeur indicative. Il est important à signaler qu'une huile neuve ayant le meilleur indice de désémulsibilité ne sera pas celle qui le conserve le mieux après un certain temps d'usage.

3.7- Point d'éclair et point de feu :

A une certaine température, une huile chauffée dans des conditions bien précises dégage une quantité minimale de vapeur d'hydrocarbure légère qui, allumée par une flamme ou une étincelle électrique, donne lieu à une combustion instantanée se traduisant par un bref éclair aussitôt éteint. Cette caractéristique est dite point d'éclair.

En continuant le chauffage, on peut amorcer une combustion plus durable des vapeurs. Dès que la durée de celle-ci atteint au moins 5 secondes, la température lue à ce moment est le point de feu. Il ne faut pas confondre ces valeurs avec le point d'auto-inflammation qui se mesure en toutes flamme.

3.8 - Indice d'alcalinité et indice d'acidité :

Ce sont des nombres qui caractérisent l'acidité ou l'alcalinité d'une huile. Ils sont exprimés en milligramme de potasse ou d'acide sulfurique nécessaire pour neutraliser un gramme d'huile (mg/g). Ces deux grandeurs permettent de déterminer le degré d'oxydation d'une huile, donc de suivre son vieillissement en service. Une huile oxydée s'acidifie rapidement et risque de corroder les pièces métalliques qu'elle rencontre.

Aux caractéristiques qui ont été présentées, s'ajoutent d'autres déterminations utilisées dans des cas spéciaux. Leur description eût été trop longue et aurait nécessité des développements qui n'entraient pas dans le cadre de cette étude.

Pour conclure, il s'avère, en premier lieu, que certaines caractéristiques prennent à juste titre un intérêt majeur pour l'emploi précis d'un produit déterminé, mais peuvent par contre n'avoir qu'une valeur purement indicative dans d'autres cas.

C'est pourquoi il convient de situer chaque caractéristique physique ou chimique dans son véritable cadre, en exerçant en toute occasion le minimum d'esprit critique indispensable.

3. La dégradation et la contamination

Deux facteurs prépondérants interviennent pour modifier les caractéristiques d'un lubrifiant [9]

- la dégradation
- la contamination

La dégradation d'un lubrifiant se produit en générale sous les actions combinées de l'oxygène de l'aire et des températures élevées. Cette oxydation entraîne une dégradation des qualités du lubrifiant et parfois un dépôt capable de gêner le fonctionnement normale des machines. Le suivi des propriétés du lubrifiant est utile, principalement pour ajuster les périodes de changement ou d'appoint, sans permettre la prédiction d'usure des pièces mécaniques.

L a contamination du lubrifiant provient de particule d'usure des pièces internes, mais aussi de l'eau et des particules solides en provenance de l'extérieur du système lubrifié. Ces particules particule solides ou ces fluides étrangers sont souvent à l'origine d'usure anormales. [31]

3.1 Dégradation des lubrifiants

L'analyse de la dégradation s'intéresse aux propriétés des caractéristiques physico – chimique et moléculaire du lubrifiant.

Les principales caractéristiques physico- chimique d'un lubrifiant concernent :

- la mesure de viscosité à 40°C,
- la mesure de viscosité à 100°C,
- l'indice de viscosité,
- le point d'éclaire,
- l'indice d'acidité ou d'alcalinité,
- l'aspect,
- etc.

3.2 Contamination des lubrifiants

Plusieurs méthodes, faisant appel à des équipements de complexité très variable, peuvent être utilisées pour étudier, de manière qualitative l'importance et la nature de la contamination. On distingue plusieurs techniques qui se classent dans trois grandes familles de mesure de contamination :

- la contamination globale,
- la contamination par l'eau,
- la contamination par les particules métalliques.

4. Méthodes d'analyses et maintenance préventive :

La tribologie est la limite générale qui se rapporte à la conception et au fonctionnement du triplet tribologique palier lubrifiant rotor, donc pour mieux maintenir le triplet en doit prendre soin de la lubrification. Pour assurer une lubrification correcte des machines tournantes il y a deux paramètres importants: l'état du lubrifiant et l'état des surfaces lubrifiées [32]. En outre il y a deux facteurs qui interviennent pour changer les caractéristiques d'un lubrifiant: la dégradation qui se produit en général sous l'influence de l'oxygène de l'air et des températures élevées, et la contamination qui provient de particule d'usage (usure, eau, particule solide provenant de l'extérieur...). Pour cela les laboratoires et les mainteneurs en particulier ont développés des méthodes d'analyse (analyse d'huile de lubrification, analyse spectrographique, ferrographie, et analyse des particules d'usure) à des fins d'une maintenance préventive.

4.1. Analyse de lubrifiant :

L'analyse des lubrifiants est devenue une aide importante à la maintenance préventive, pour évaluer l'état du lubrifiant qui est critique pour la machine; les laboratoires recommandent de faire des prélèvements d'échantillons à des intervalles programmés et réguliers et c'est le but recherché par ces analyses (périodicité de renouvellement d'huile).

4.1.1. Viscosité : La viscosité est une des plus importantes propriétés des huiles lubrifiantes, la viscosité de l'échantillon d'huile en service est comparée à un échantillon d'huile inutilisé pour déterminer l'épaississement de l'échantillon en service. En contre partie une viscosité excessivement basse réduira la portance du film, en affaiblissant sa capacité d'empêcher le contact métal sur métal, par contre une viscosité excessivement élevée peut empêcher l'écoulement d'huile aux endroits essentiels de la machine (interfaces) et réduit sa capacité de lubrifier.

4.1.2. Contamination : La contamination d'huile par de l'eau ou le liquide réfrigérant peut poser des problèmes majeurs dans le système de lubrification, plusieurs additifs utilisés aujourd'hui dans la formulation des lubrifiants contiennent les mêmes éléments utilisés dans la formulation des réfrigérants. Par conséquent, les laboratoires doivent avoir des analyses précises de nouvelle huile pour comparaison.

4.1.3. Dilution de carburant : La dilution d'huile dans un moteur, causée par la contamination de carburant, affaiblit la portance du film d'huile, sa capacité de cachetage, et sa détergence. Opération inexacte, fuite dans le système carburant, les problèmes d'allumage, la synchronisation inexacte, ou d'autres insuffisances peuvent la causer. La dilution de carburant est considérée excessive quand elle atteint un niveau de 2,5 à 5% [20].

4.1.4. Contamination par particules solides : La détermination de la quantité des particules solide dans un échantillon d'huile est un test général, tous les matériaux solides existant dans l'échantillon sont mesurés comme pourcentage de volume ou de poids. La présence des solides dans un système de lubrification peut augmenter d'une manière significative l'usure des pièces lubrifiées, n'importe quelle élévation inattendue en pourcentage de solide est un sujet d'inquiétude.

4.1.5. Suie de carburant : La suie provoquée par la combustion incomplète des carburants est un indicateur important pour les huiles utilisées dans les moteurs diesel et est toujours présent dans une certaine mesure. L'essai pour mesurer la suie de carburant dans l'huile des moteurs diesel est important parce qu'elle indique l'efficacité de la combustion du carburant.

La plupart des essais pour la suie de carburant sont effectués par analyse infrarouge.

4.1.6. Oxydation : L'oxydation d'huile lubrifiante peut avoir comme conséquence des dépôts, la corrosion du métal, et l'épaississement d'huile capables de gêner le fonctionnement normal de la machine. La plupart des lubrifiants contiennent des inhibiteurs d'oxydation; cependant, quand des additifs sont épuisés, l'oxydation d'huile commence. L'évaluation quantitative d'oxydation dans un échantillon d'huile est mesurée par analyse infrarouge différentielle.

4.1.7. Nitratation : La nitratation est le résultat de la combustion dans les moteurs. Les produits formés sont fortement acides, et ils peuvent laisser des dépôts dans les secteurs de combustion. La volonté de nitratation accélère l'oxydation d'huile.

L'analyse infrarouge est utilisée pour détecter et mesurer les produits de nitratation.

4.1.8. Indice de neutralisation (acidité et/ou basicité des huiles) : Total Acid Number (TAN) est, par définition, le nombre de milligrammes de potasse nécessaire à la neutralisation des acides organiques ou minéraux contenus dans un gramme d'huile (mg KOH/g). Les huiles de base pures de type hydrocarbure (bases minérales classiques, bases hydrotraitées, PAO, etc.) ne doivent présenter aucune acidité à l'état neuf. L'apparition d'une acidité ne peut provenir que de leur oxydation, sauf cas exceptionnel de pollution. En revanche, les huiles formulées peuvent présenter, au départ, un indice d'acide non négligeable. Celui-ci est dû à la présence de certains additifs (dithiophosphate de zinc) et ne présente aucun danger. Dans tous les cas, l'augmentation de l'indice d'acide permet de suivre le degré d'altération des huiles en service, car les produits d'oxydation des huiles ont un caractère acide.

potentiométrique ASTM D 664/ISO 6619 pour les huiles neuves et usagées.

La basicité d'une huile renfermant des additifs alcalins est caractérisée par l'indice de base ou Base Number (BN) anciennement désigné Total Base Number (TBN). En effet, afin de neutraliser tous les produits acides formés dans les moteurs soit par oxydation de l'huile, soit

par formation de produits acides dans les gaz de combustion, on incorpore dans les huiles moteurs des sels alcalino-terreux (carbonates de calcium et/ou de magnésium) La basicité, on dit encore la réserve d'alcalinité de l'huile, est exprimée par le nombre de milligrammes de potasse par gramme d'huile qui aurait le même pouvoir neutralisant vis-à-vis des polluants acides [5].

4-1-9/ Comptage de particules : Les techniques de comptage de particules sont principalement utilisées pour contrôler le niveau de contamination des fluides hydrauliques en service dans des installation à haut niveau de propreté. Les deux techniques de comptage de particules utilisent le microscope optique et les systèmes de comptage automatique utilisant des méthodes de transmission de la lumière. Les particules sont classées par intervalle de taille exprimée en μm en cinq catégories : (5-15, 15-25, 25-50, 50-100, >100). Suivant les norme utilisées il est alors possible de déduire des indices de propreté d'un fluide (norme NAS et ISO) [19].

4-1-10/ Analyse spectrographique : L'analyse spectrographique permet des mesures précises et rapides de plusieurs éléments présent dans l'huile lubrifiante. Ces éléments sont généralement classifiés en tant que débris d'usure des métaux, contaminants, ou additifs. Quelques éléments peuvent être énumérés dans d'autres classifications. L'analyse standard d'un lubrifiant n'essaye pas de déterminer les modes de défaillance spécifiques aux problèmes développés dans la machine. Par conséquent, des techniques additionnelles doivent être employées en tant que partie d'un programme de maintenance préventive.

4.2. Analyse des particules d'usure :

L'analyse des particules d'usure est liée à l'analyse d'huile seulement parce que les particules à étudier sont rassemblées en dessinant un échantillon de lubrifiant. Considérant que l'analyse du lubrifiant détermine l'état réel de l'échantillon, l'analyse de particules d'usure fournit des informations directes sur l'état et les conditions d'utilisation de la machine (diagnostic). Ces informations sont dérivées de l'étude de la forme, de la composition, de la taille et de la quantité des particules.

La première méthode employée pour l'analyse des particules d'usure est une méthode de routine en surveillant et analysant la teneur en matière solide dans le lubrifiant de la machine. En bref, la quantité, la composition, et la taille de la matière présente dans le lubrifiant indiquent les conditions d'exploitation de la machine. Donc une machine en bon état contiendra des bas niveaux de particules solides avec une taille moins de 10 microns, par contre pendant sa dégradation le nombre et la taille des particules augmente.

La deuxième méthode consiste à déterminer la nature des débris d'usure pour désigner par la suite l'organe usé.

4.3. La ferrographie :

La ferrographie ne concerne que la détection de particules magnétiques ou ayant acquis un certain magnétisme comme les particules ferromagnétiques (entre 1mm et 500mm) et les particules de métaux non ferreux (bronze, aluminium...) devenus légèrement magnétiques par exemple des joints d'étanchéité et les particules diverse venus de l'extérieur et possédant un léger magnétisme. L'avantage de cette méthode est d'éliminer les particules organiques, ce qui permet une observation aisée des particules en suspension dans le lubrifiant. Plusieurs méthodes nécessitant des appareillages particuliers sont disponibles [14].

Donc la ferrographie consiste à fixer dans un tube capillaire (ou sur une plaque de verre) placé dans un champ magnétique intense, les particules métalliques d'usure contenues dans un échantillon d'huile en service. Celles-ci se déposent et se positionnent sur le support en fonction de leur susceptibilité magnétique et de leur masse.

Il existe deux techniques d'analyse ferrographique : la ferrographie à lecture directe et la ferrographie analytique.

Dans le ferrographe à lecture directe, la contamination en particules d'usure est évaluée à partir de mesures de densité optique faites en deux points du capillaire, dans la zone de dépôts des gros débris ($> 5\mu m$) et des petites particules (1 à 2 μm). Elles permettent de calculer l'indice de sévérité d'usure IS, caractéristique du degré de détérioration du matériel lubrifié.

Le ferrographe analytique est utilisé pour effectuer une étude morphologique approfondie des particules d'usure lorsque la ferrographie à lecture directe indique une anomalie d'usure. L'examen sous microscope optique bichromatique à platine chauffante (ferroscope) des débris d'usure déposés sur une plaque de verre (ferrogramme) permet à un spécialiste averti de déterminer l'origine et le type de la détérioration : usure adhésive, abrasive, fatigue, corrosion, etc. Il est à noter qu'il existe deux modèles différents de ferrographe analytique : le plus ancien et le plus répandu utilise un ferrogramme ayant la forme d'une plaquette rectangulaire tandis qu'un appareil plus récent, le séparateur rotatif de particules ou ferrographe RPD (Rotary Particle Depositor) possède un ferrogramme en forme de disque disposé sur un plateau rotatif.

4.4. Coût, échantillonnage, et interprétation des résultats :

Il y a trois limitations principales avec l'utilisation de l'analyse d'huile dans un programme de maintenance préventive: coût d'équipement, acquisition précise des échantillons d'huile, et l'interprétation des données. Les frais financiers des instruments de l'analyse spectrographique sont trop importants pour réaliser des testes en usine. Le coût typique pour un microprocesseur d'un système spectrographique est entre 30.000 et 60.000\$; donc, la plupart des programmes de maintenance se fondent sur l'analyse du tiers des échantillons d'huile. Une analyse simple d'un lubrifiant par un laboratoire d'analyse s'étendra environ de 20 à 50\$ par échantillon [22].

L'analyse standard inclut normalement: la viscosité, le point d'inflammabilité, les insolubles totaux, l'acidité et la basicité, le contenu de carburant, et la teneur en eau. Une analyse plus détaillée, utilisant les techniques spectrographiques ou ferrographiques qui inclut des balayages des métaux, la distribution des particules (taille), et autres données peuvent coûter plus de 150\$ par échantillon.

Un facteur plus grave limiteur avec n'importe quelle méthode d'analyse d'huile est l'acquisition précise des échantillons représentatifs de l'huile à analysée.

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

- ✓ L'échantillon doit être extrait d'un volume de lubrifiant en mouvement. Si cette condition est respectée, l'échantillon sera un portrait de la condition du lubrifiant et de la machine, à l'instant même où il a été pris;
- ✓ 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;
- ✓ Ne pas recueillir le premier soutirage à la purge, ni à la fin de la vidange. Il faut laisser couler un peu d'huile avant de remplir le flacon;
- ✓ Le flacon d'échantillon doit être propre et sec (fourni par le laboratoire) et ouvert seulement au moment de son remplissage;
- ✓ Eviter de recueillir les volumes d'huile piégés dans la zone morte.

Conclusion :

L'analyse des lubrifiants, appliquée à toutes les machines pourvu qu'elles contiennent un fluide (huile ou graisse) que l'on peut prélever, la méthode consiste à "faire parler" les particules d'usure drainées par le lubrifiant afin d'en déduire l'état de l'équipement. L'analyse d'un échantillon de quelques dizaines de millilitres d'huile (prélevé à l'aide de petites seringues ou lors d'une vidange) peut alors suffire à révéler l'usure anormale de l'un des composants, le mauvais état d'un filtre, ou encore la dégradation du lubrifiant (suite à une oxydation, à une pollution, à une température d'utilisation trop élevée, etc.).

Le succès d'un programme de maintenance préventive basé sur l'analyse d'huile est souvent mesuré par des facteurs tels que le nombre de machines surveillées, problèmes identifiés, fiabilité de diagnostic, et notamment des critères de sûreté, et d'autres critères techniques

Expérimentation

Introduction

Le turboalternateur est un équipement stratégique dont le rôle est la production de l'énergie électrique dans une centrale thermique. Cette machine est d'autant plus critique qu'elle n'est pas doublée. Une panne arrête immédiatement toute une unité de production. Les phases d'arrêts et de remise en service du procédé de fabrication atteignent parfois plusieurs dizaines d'heures. Le coût réel d'une panne est considérable et sans commune mesure avec le coût de mise en place d'une surveillance fiable.

Cette spécificité a obligé les constructeurs et les exploitants de surveiller le turboalternateur soigneusement. Dans ce contexte le type de maintenance adopté est la maintenance préventive conditionnelle : maintenance préventive subordonnée à un type d'événement prédéterminée (niveau de signaux issu d'un capteur, augmentation de la température d'huile,...etc.) révélateur d'un état de dégradation du bien.

Dans ce qui suit nous allons présenter quelques méthode d'analyse qui concernent deux outils parmi d'autres de la maintenance conditionnelle :

- L'analyse vibratoire à travers les courbes de tendances
- L'analyse des huiles à travers la température d'huile

Notre but est de l'exploiter à des fins d'une surveillance et diagnostic si c'est possible.

On peut résumer alors que l'expérimentation poussée sur la machine reste le seule moyen d'obtenir le jugement précis qui est la clé de la meilleure utilisation.

1. Applications de l'analyse vibratoire

1.1 Instrumentation

Le matériel utilisé est le VIBROTEST 60 qui est destiné à faire des mesures globales de vibrations, de paramètres de procédé, de signaux temporels et des spectres en fréquence.

1.2 Présentation de l'appareil

Le VIBROTEST 60 offre, grâce à son concept modulaire, un grand choix de fonctions

- Analyse de vibrations
- Equilibrage dans les conditions de service
- Collecteur de données

Le VIBROTEST 60 est un appareil pratique de mesure de vibrations pour apprécier l'état des machines, faire le diagnostic des défauts et pour réaliser la maintenance conditionnelle.



Figure 5.1 photographie du vibrotest 60

1.3 Point de mesure

Les mesures ont été prises sur toute la ligne d'arbre (6 paliers) dans les trois directions à savoir (la verticale, l'horizontale et l'axiale). Les différents paliers sont comme suit :

P1 : palier avant turbine corps HP

P2 : palier arrière turbine corps BP

P3 : palier avant alternateur

P4 : palier arrière alternateur

P5 : palier avant excitatrice

P6 : palier arrière excitatrice

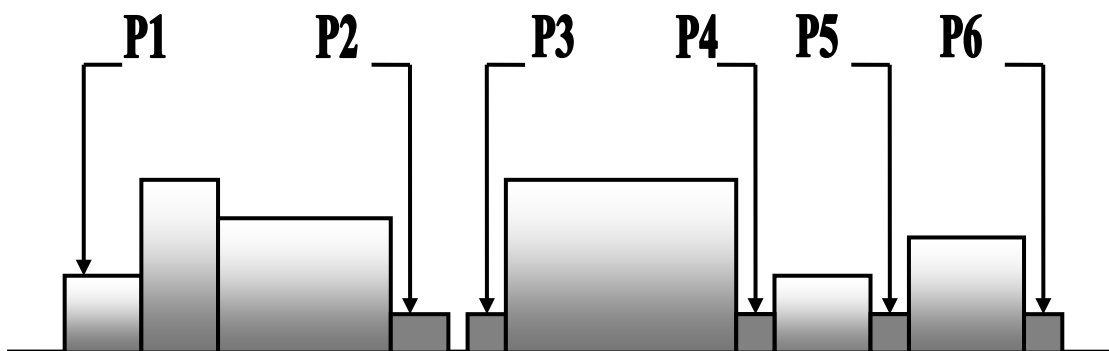


Figure 5.2 Schéma synoptique du groupe turboalternateur

2. Analyse et traitement

Courbe de tendance en analyse vibratoire

Le dépassement d'une limite (seuil) entre dans une stratégie de détection de défaut dont le but est de surveiller et protéger la machine.

Dans une stratégie de diagnostic on trouve trois symptômes qui sont basés sur l'évolution, la fréquence et la technologie. [8]

La courbe de tendance est l'évolution dans le temps d'un indicateur scalaire représenté par un diagramme.

Application des courbes de tendances du niveau vibratoire sur le turboalternateur

Le turboalternateur est muni de six paliers à huile, les mesures des vibrations s'effectuent à l'aide du vibrotest 60 quatre fois par mois en implantant l'accéléromètre sur les trois directions : axial, vertical, horizontale pour tous les paliers.

Les mesures obtenues sont présentées dans les figures 5.3, 5.4, 5.5, 5.6, 5.7, 5.8 qui représentent l'évolution de l'indicateur scalaire vitesse efficace V_{eff} en fonction du temps.

Le seuil d'alarme est de $V_{eff} = 7.5 \text{ mm/s}$, tout dépassement de cette valeur présume une anomalie qui nécessite une confirmation.

Les figures 5.3, 5.4, 5.5, 5.6, 5.7, 5.8 représentent respectivement les courbes de tendance du niveau vibratoire pour les paliers P1 turbine, P2 turbine, P3 alternateur, P4 alternateur, P5 excitatrice, P6 excitatrice.

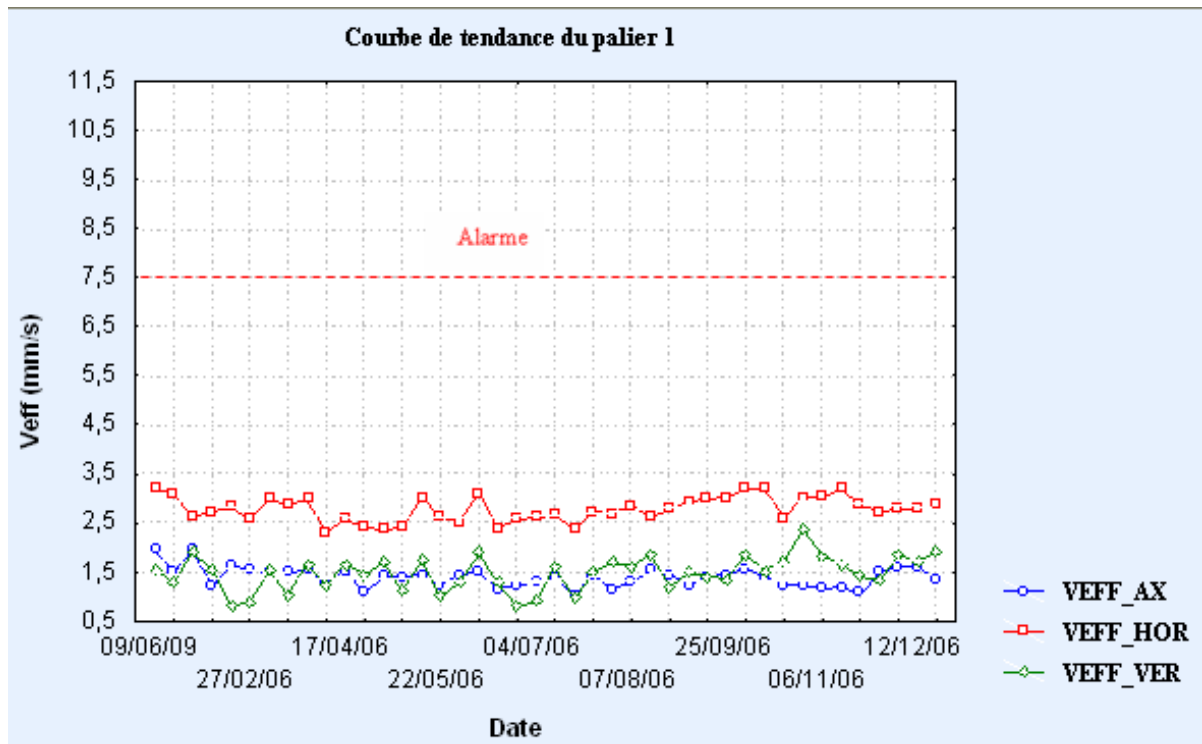


Figure 5.3 Courbe de tendance du niveau vibratoire palier 1 turbine

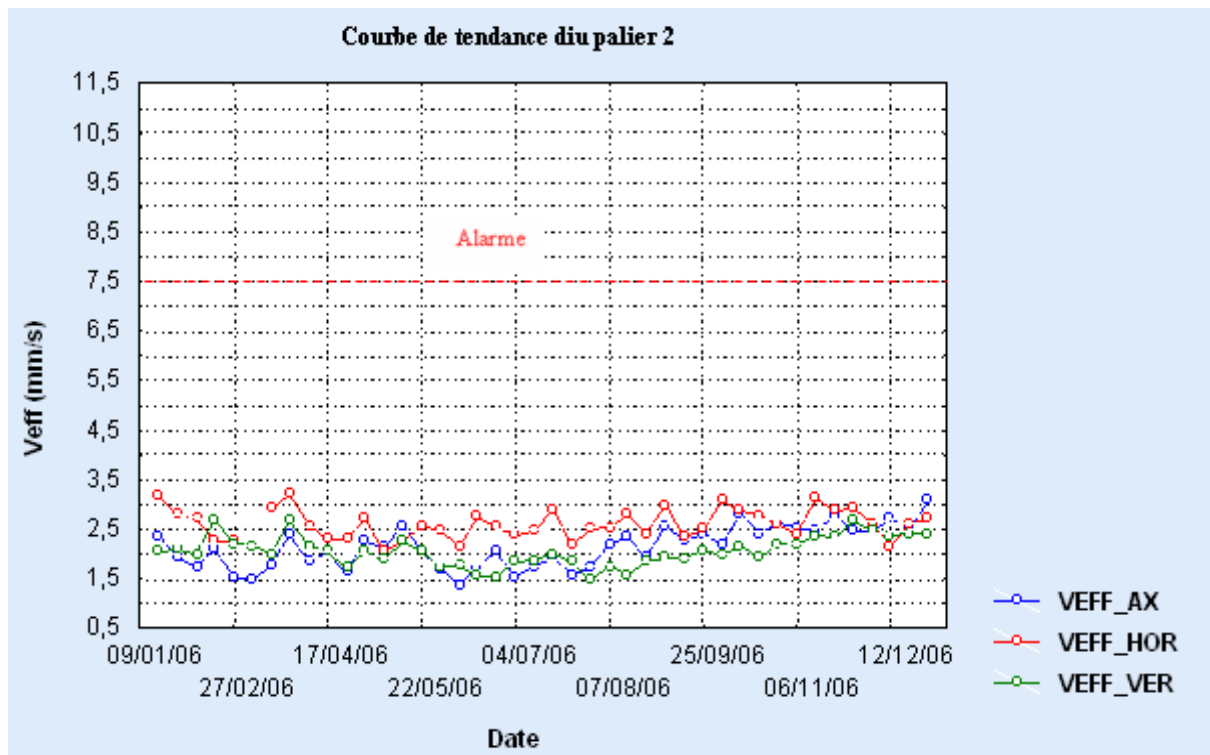


Figure 5.4 Courbe de tendance du niveau vibratoire palier 2 turbine

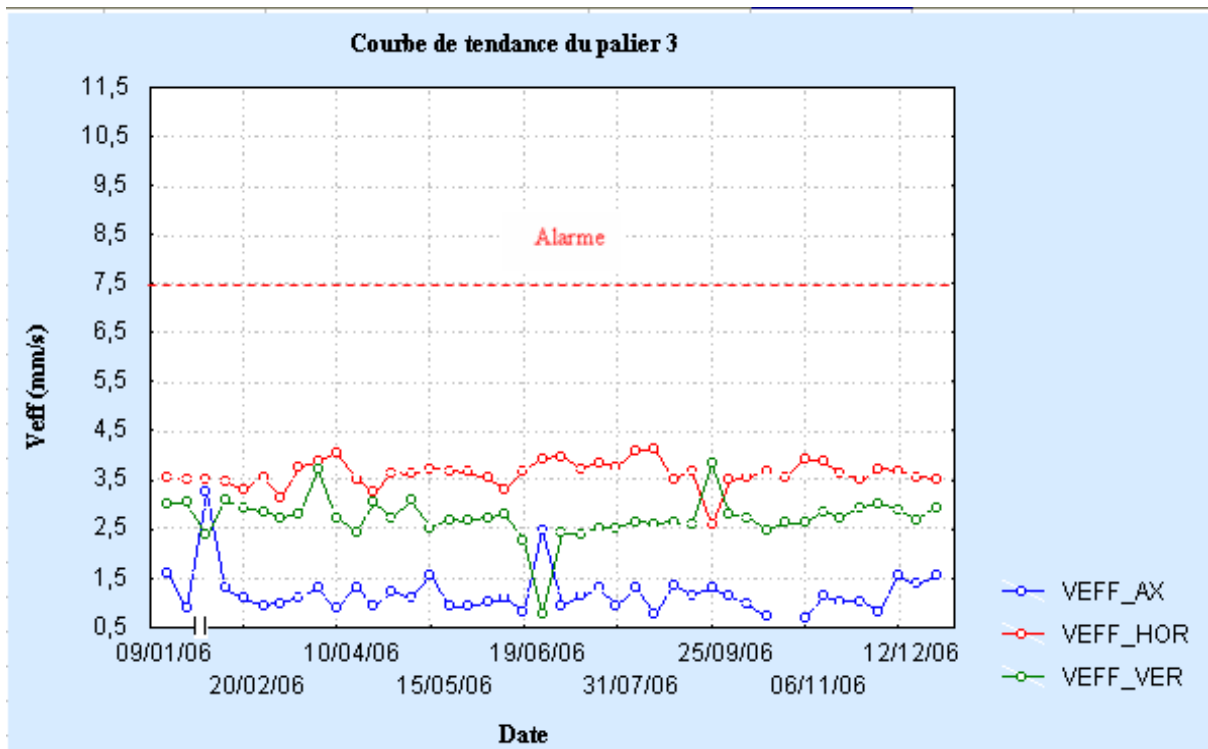


Figure 5.5 Courbes de tendance du niveau vibratoire palier 3 alternateur

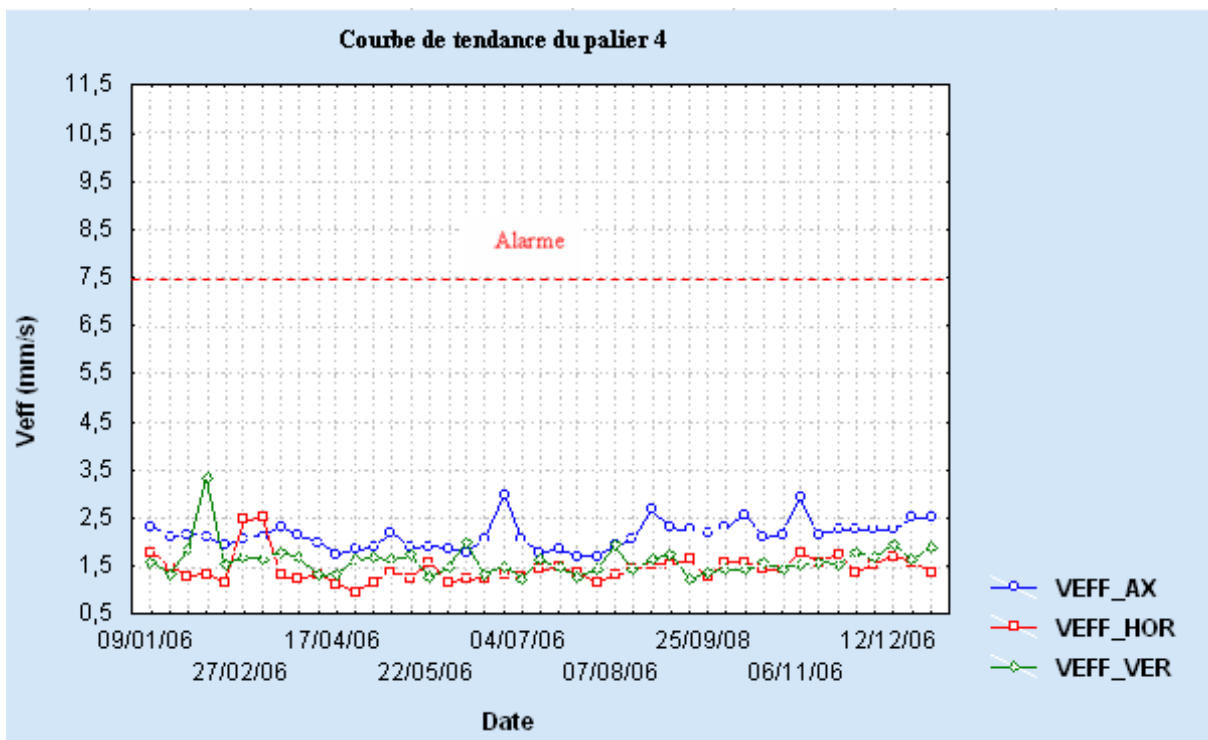


Figure 5.6 Courbe de tendance du niveau vibratoire palier 4 alternateur

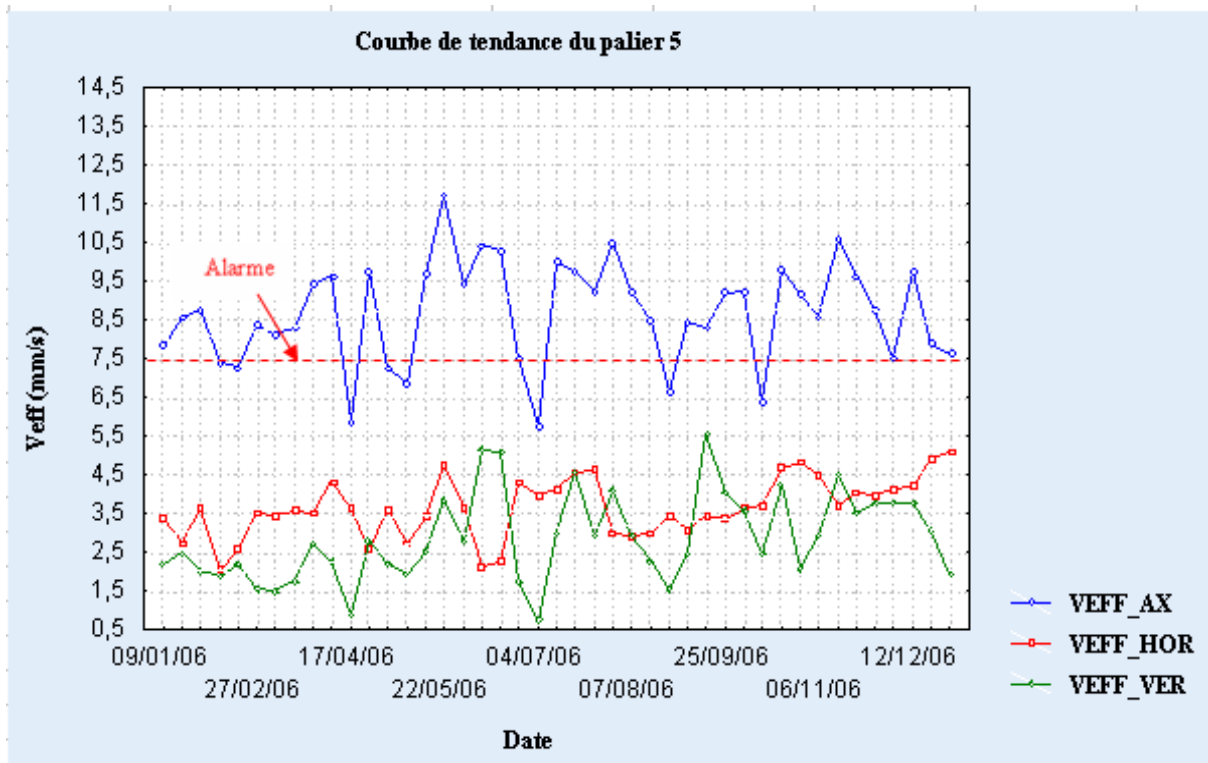


Figure 5.7 Courbe de tendance du niveau vibratoire palier 5 excitatrice

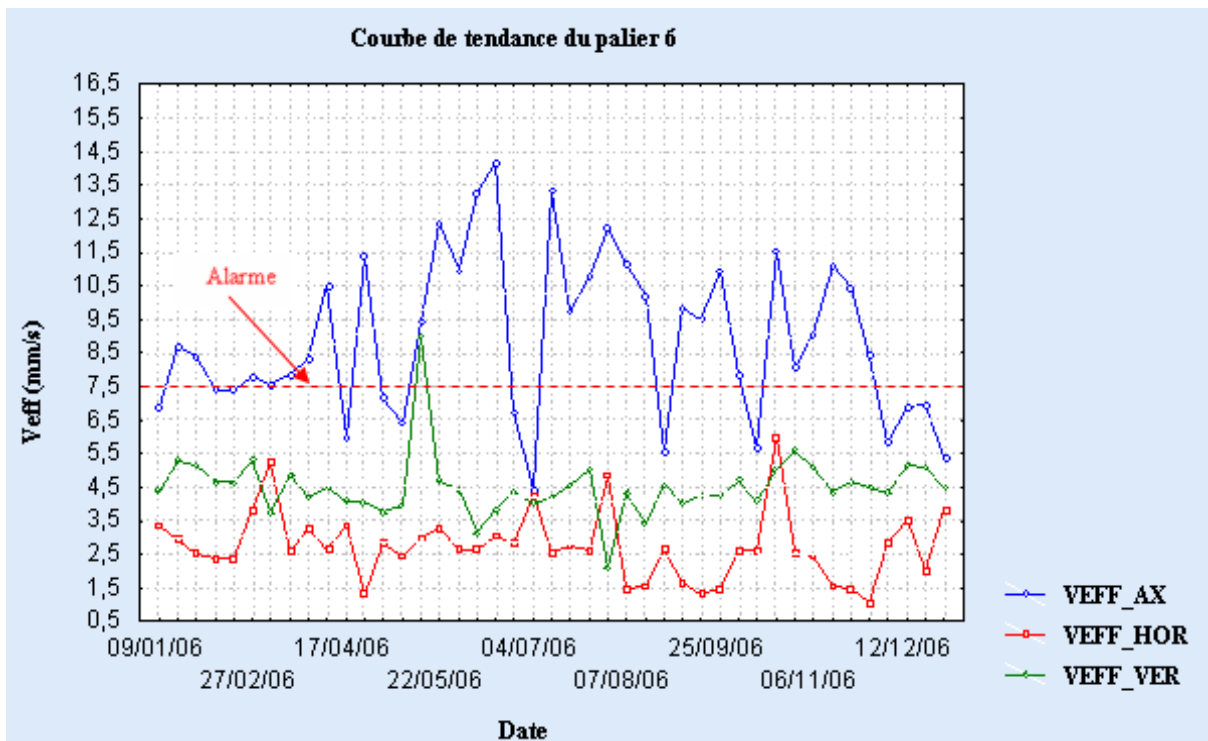


Figure 5.8 Courbe de tendance du niveau vibratoire palier 6 excitatrice

Commentaire et analyses

Les figures 5.3, 5.4, 5.5, 5.6, représentent les courbes de tendance du niveau vibratoire pour les paliers 1, 2 coté turbine et les paliers 3, 4 coté alternateur. Sur ces figures aucun dépassement de seuil n'est signalé, donc aucune anomalie.

Pour la figure 5.7 représente les courbes de tendances du palier 5 coté avant excitatrice. Sur cette figure on voit une brutale augmentation de la valeur de la vitesse efficace dans la direction axiale est quelles sont respectivement 8.5mm/s, 9.5mm/s, 10.5mm/s et 11.5mm/s.

En plus il y a un dépassement de seuil d'alarme qui est de 7.5mm/s vitesse efficace ce qui traduit une anomalie sur l'excitatrice donc sur le turboalternateur.

Les courbes de tendance du niveau vibratoire dans ce cas ont un double intérêt ; le premier est le dépassement de seuil ce qui averti l'exploitant, est la deuxième est la confirmation d'une anomalie puisque réellement il avait une augmentation de la vibration axiale.

La cause de cette augmentation brutale de ces mesures axiales est l'existence d'un défaut d'alignement.

Figure 5.8 représentent les courbes de tendance du niveau vibratoire du palier 6 coté arrière excitatrice. Sur cette figure aussi on voit une brutale augmentation de la valeur de la vitesse efficace dans la direction axiale pour les valeurs respectivement : 8.5mm/s, 9.5mm/s, 10.5mm/s, 11.5mm/s, 12.5mm/s, 13.5mm/s, 14.5mm/s. et dans la direction verticale pour la valeur de 8.5mm/s.

Ce dépassement de seuil d'alarme de 7.5mm/s traduit une anomalie au niveau de l'excitatrice donc sur le groupe turboalternateur, et c'est la même chose que le palier 5 : l'existence d'un défaut d'alignement.

3. Analyse d'huiles utilisées

3.1 Surveillance du circuit de lubrification

Une anomalie dans l'huile d'un turboalternateur, pouvant entraîné de graves avaries, il est nécessaire de surveiller :

- La pression d'huile
- La température de l'huile sortie paliers
- Le niveau de la caisse d'huile

3.2 Instrument utilisé

Des thermomètres et des sondes thermométriques sur place ou retransmettent en salle de commande la valeur de la température atteinte par l'huile sortie de chaque palier et les alarmes en cas d'élévation anormale de ces températures.

L'observation de ces températures est importante, et est nécessaire de rechercher la cause de toute élévation lente ou rapide. La température normale de fonctionnement est de l'ordre de 50 à 60 °C.

3.3 Application des analyses d'huile

L'huile utilisée pour la lubrification des paliers lisses et pour la commande hydraulique des régulateurs et positionneurs et du type TORBA 32 ; il est en grade ISO VG 32 (voir annexe). Les analyses sur un échantillon de cette huile après sa mise en service donne les résultats suivants :

Paramètres	Unités	Normes	Résultats	Valeurs limites Caractéristiques techniques
Aspect	Visuel		Limpide	
Couleur		ASTMD 1500	2.1	
Masse volumique	g/cm ³ à 15°C	NFT 60 101		
Viscosité cinématique	Cst	ASTMD 445	à 40°C : 32.97	(28.8- 35.2)
			à 100°C : 5.47	
Indice de viscosité		ASTMD 2270	114	
Indice d'acide	Mg KOH/g Huile			
Point d'éclair	°C	ASTMD 93	290°C	Min 190°C
Test desémulsion		NFT 60 125		
Propriété antirouille		ASTMD 665		

Tableau 5.1 Analyse d'un échantillon d'huile TORBA 32 pour l'année 2006

3.4 Analyse de la température d'huile utilisée

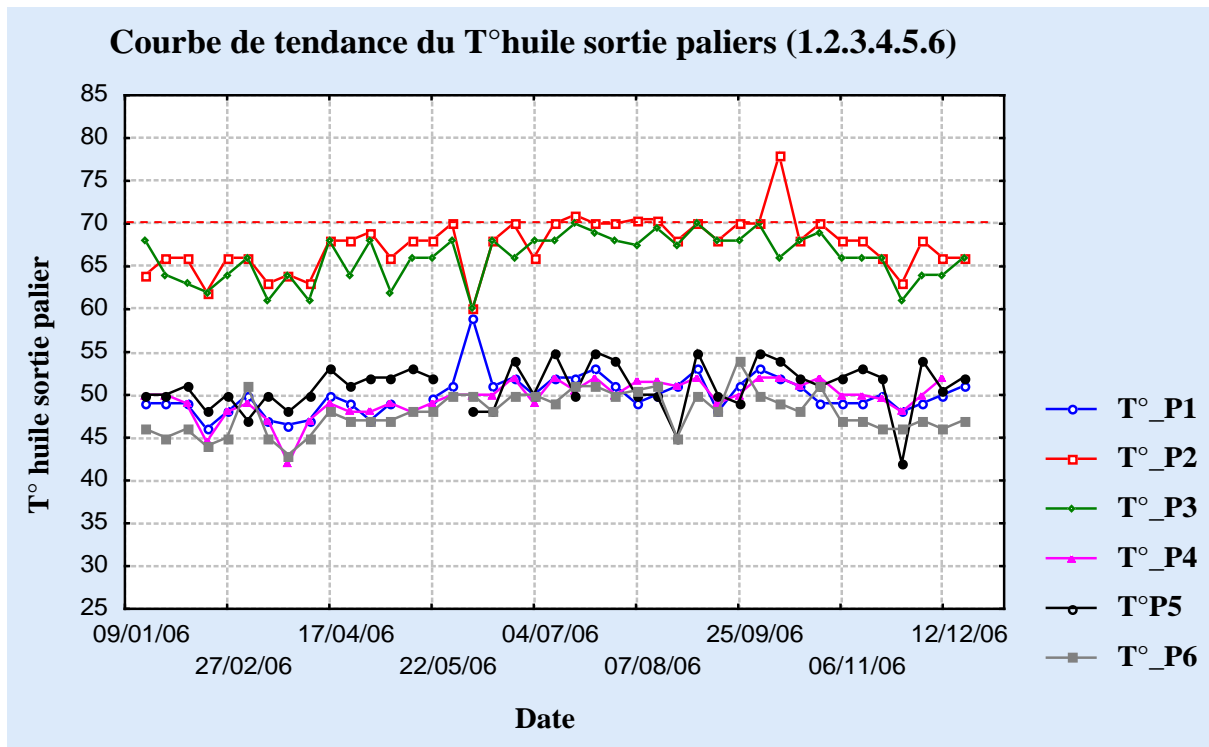


Figure 5.9 Courbe de tendance du T°huile sortie palier 1

Commentaire et analyse

La figure 5.9 représente les courbes de tendances de la température d'huile sortie paliers (1, 2, 3, 4, 5, 6). Sur cette figure aucun dépassement de seuil enregistré que sur le palier 2 coté arrière turbine de la valeur de 78°C qui dépasse le seuil d'alarme qui est de 70°C.

4. Outil statistiques

Jusqu'à présent nous nous sommes intéressés, à des outils où chaque outil est caractérisé par la mesure d'un seul caractère (vibration et huile). Mais cela sera insuffisant, et il sera nécessaire de prendre en compte les valeurs de plusieurs caractères pour individualiser un comportement. Il est ainsi beaucoup plus intéressant pour connaître l'état de santé de la machine d'étudier la distribution des vibrations en fonction de l'une des caractéristiques d'huile que d'étudier la distribution d'un seul caractère de ces paramètres.

Il peut exister, entre les valeurs prises par ces caractères, des liaisons dont nous allons essayer de dégager la nature. Ces valeurs peuvent être liées par une relation fonctionnelle, et les données de vibration et température d'huile déterminent parfaitement l'origine du comportement anormal de la machine.

En outre, les valeurs prises par les caractères étudiés sont totalement indépendantes ; il n'y a aucune liaison entre la vibration de la machine et la température d'huile lubrifiante palier.

Cependant, il peut se faire que les caractères, sans être liés par une liaison fonctionnelle, ne sont pas totalement indépendants. Ainsi, quand on étudie la vibration et la température d'huile, il y a tendance pour que la vibration du palier augmente avec sa température d'huile. Toutefois, la donnée de température ne permet pas d'obtenir la vibration. Il est possible, à taille donnée, d'obtenir la loi de répartition de vibration, sa moyenne, son écart type, etc. ou, ce qui équivalent, de déterminer la probabilité pour que la vibration soit comprise entre des limites données. On dira dans ce cas, qu'il existe une liaison stochastique entre les deux caractères température et vibration, ou ce sont en corrélation.

4.1 Etude de la liaison stochastique vibration- température huile

La corrélation des données au sens statistique du terme [27], revient à prendre chaque série de données relevées au cours du temps et à calculer pour chaque couple de série X et Y dont on connaît N échantillons

Coefficient de corrélation

Le coefficient de corrélation entre deux variable x et y est défini par :

$$r(x, y) = \frac{cov(x, y)}{\sigma_x \sigma_y}$$

- où $cov(x, y)$ est la covariance entre les variables aléatoires x et y ,
- σ_x est l'écart-type de x ,
- σ_y est l'écart-type de y .

Quelle que soit la loi de probabilité du couple de variables aléatoires température d'huile et vibration, ρ est compris entre -1 et $+1$:

- $\rho = 0$ si X et Y sont indépendantes entre elles;
- $|\rho| = 1$ si X et Y sont liées par une relation fonctionnelle (modèle mathématique).

On montre que le coefficient de corrélation ρ est un nombre toujours compris entre 0 et 1 en valeurs absolue. Les deux signatures seront dites corrélées de façon significative avec une confiance donnée, si le coefficient de corrélation est $\rho > 0.35$.

Dans le cas contraire, on peut conclure qu'il n'existe pas de relation de cause à effet. Notons que cela n'implique pas que les signatures soient indépendantes statistiquement parlant si le coefficient ρ est proche de 1 les deux signatures contiennent les mêmes informations sur les symptômes de la défaillance. En pratique cela permet de conforter le diagnostic grâce à ces deux signatures.

T° huile sortie P1	Veff ax (mm/s)	Veff hor (mm/s)	Veff vert (mm/s)
49	1,963	3,192	1,552
49	1,494	3,101	1,283
49	1,934	2,613	1,914
46	1,203	2,727	1,516
48	1,64	2,813	0,813
50	1,539	2,568	0,876
47	1,492	2,984	1,52
46,5	1,48	2,871	1,011
47	1,538	2,969	1,668
50	1,256	2,322	1,216
49	1,507	2,558	1,633
47	1,08	2,408	1,46
49	1,421	2,348	1,691
49,5	1,449	3,015	1,733
51	1,221	2,623	1
59	1,44	2,53	1,27
51	1,489	3,114	1,878
52	1,145	2,38	1,269
50	1,237	2,556	0,796
52	1,278	2,612	0,921
52	1,366	2,66	1,593
53	1,038	2,366	0,946
51	1,432	2,727	1,465
49	1,144	2,692	1,695
50	1,282	2,858	1,594
51	1,539	2,61	1,85
53	1,433	2,782	1,188
48	1,218	2,919	1,463
51	1,401	2,995	1,382
53	1,423	3,012	1,35
52	1,554	3,18	1,864
51	1,389	3,208	1,506
49	1,217	2,592	1,715
49	1,223	3,012	2,353
49	1,16	3,021	1,812
50	1,195	3,2	1,657
48	1,047	2,869	1,42
49	1,469	2,739	1,323
50	1,601	2,777	1,862
51	1,612	2,771	1,673
51	1,327	2,868	1,901

Tableau 5.2 Corrélation température huile- vibration (ax- hor- ver) palier 1

Après analyse on trouve :

- $|\rho_1| = 0,00199039$
- $|\rho_2| = 0,15465854$
- $|\rho_3| = 0,13861907$

T° huile sortie Palier 2	Veff ax (mm/s)	Veff hor (mm/s)	Veff ver (mm/s)
64	2,358	3,164	2,058
66	1,938	2,811	2,095
66	1,743	2,731	1,984
62	2,1	2,243	2,687
66	1,531	2,267	2,23
66	1,486	2,,901	2,176
61	1,781	2,921	2,005
64	2,394	3,22	2,649
63	1,84	2,569	2,158
68	2,058	2,287	2,05
68	1,631	2,296	1,715
69	2,252	2,721	2,063
66	2,131	2,032	1,888
68	2,578	2,246	2,245
68	2,045	2,576	2,06
70	1,699	2,466	1,737
60	1,371	2,179	1,769
68	1,741	2,759	1,569
70	2,049	2,548	1,53
66	1,547	2,396	1,84
70	1,759	2,474	1,869
71	1,936	2,897	1,991
70	1,574	2,185	1,831
70	1,727	2,515	1,471
70,5	2,191	2,529	1,76
70,5	2,355	2,807	1,583
70	1,939	2,415	1,854
68	2,575	2,989	1,924
70	2,242	2,35	1,907
68	2,433	2,502	2,067
70	2,181	3,066	1,977
70	2,842	2,87	2,178
78	2,422	2,784	1,927
68	2,625	2,597	2,208
70	2,532	2,4	2,181
68	2,446	3,14	2,384
68	2,789	2,861	2,347
66	2,449	2,932	2,654
63	2,442	2,619	2,444
68	2,708	2,178	2,365
66	2,534	2,609	2,4
66	3,074	2,714	2,422

Tableau 5.3 Corrélation température huile- vibration (ax- hor- ver) palier 2

Après analyse on trouve : $|\rho_1| = 0,18182227$

$$|\rho_2| = 0.02756335$$

$$|\rho_3| = 0.40129769$$

T° huile sortie P3	Veff ax (mm/s)	Veff hor (mm/s)	Veff vert (mm/s)
68	1,598	3,575	3,013
64	0,874	3,533	3,023
63	3,25	3,501	2,357
62	1,289	3,478	3,078
64	1,072	3,288	2,935
66	0,93	3,569	2,849
61	0,967	3,168	2,751
64	1,091	3,786	2,798
61	1,271	3,85	3,706
68	0,876	4,045	2,749
64	1,297	3,534	2,434
68	0,909	3,247	3,034
62	1,244	3,627	2,737
66	1,052	3,615	3,07
66	1,555	3,73	2,514
68	0,921	3,678	2,691
60	0,92	3,652	2,665
68	1,005	3,542	2,738
66	1,071	3,314	2,78
68	0,836	3,685	2,257
68	2,474	3,948	0,742
70	0,925	3,976	2,401
69	1,119	3,73	2,388
68	1,273	3,836	2,525
67,5	0,93	3,786	2,528
69,5	1,279	4,098	2,653
67,5	0,755	4,116	2,589
70	1,344	3,51	2,652
68	1,14	3,685	2,56
68	1,279	2,571	3,802
70	1,109	3,49	2,778
66	0,963	3,572	2,739
68	0,708	3,654	2,487
69	0,905	3,56	2,626
66	0,654	3,921	2,612
66	1,114	3,849	2,851
66	1,027	3,632	2,742
61	1,037	3,486	2,924
64	0,804	3,737	3,003
64	1,546	3,685	2,887
66	1,359	3,568	2,701

Tableau 5.4 Corrélation température huile- vibration (ax- hor- ver) palier 3

Après analyse on trouve :

- $|\rho_1| = 0,10659482$
- $|\rho_2| = 0,18391382$
- $|\rho_3| = 0,28876029$

T° huile sortie P4	Veff ax (mm/s)	Veff hor (mm/s)	Veff vert (mm/s)
50	2,321	1,78	1,578
50	2,113	1,488	1,332
49	2,155	1,282	1,82
44,5	2,125	1,352	3,345
48	1,921	1,196	1,543
49	2,072	2,478	1,678
47	2,123	2,512	1,654
42	2,316	1,319	1,782
47	2,139	1,207	1,683
49	1,997	1,352	1,302
48	1,758	1,128	1,328
48	1,853	0,954	1,649
49	1,89	1,186	1,667
48	2,193	1,388	1,631
49	1,876	1,241	1,72
50	1,91	1,591	1,251
50	1,864	1,195	1,472
50	1,808	1,214	1,999
52	2,034	1,245	1,337
49	2,977	1,348	1,507
52	2,052	1,262	1,243
50,5	1,816	1,42	1,643
52	1,838	1,457	1,457
50	1,7	1,362	1,292
51,5	1,701	1,171	1,41
51,5	1,939	1,302	1,939
51	2,03	1,438	1,417
52	2,683	1,555	1,651
49	2,302	1,546	1,746
50	2,232	1,652	1,219
52	2,212	1,258	1,37
52	2,297	1,591	1,443
51	2,592	1,595	1,435
52	2,083	1,424	1,565
50	2,177	1,43	1,446
50	2,903	1,799	1,534
49,5	2,168	1,607	1,587
48	2,254	1,757	1,556
50	2,249	1,367	1,809
52	2,268	1,557	1,684
62	2,502	1,608	1,626

Tableau 5.5 Corrélacion température huile- vibration (ax- hor- ver) palier 4

Après analyse on trouve :

- $|\rho_1| = 0,12362151$
- $|\rho_2| = 0,03784526$
- $|\rho_3| = 0,3398280$

T° huile palier 5	Veff ax (mm/s)	Veff hor (mm/s)	Veff vert (mm/s)
50	7,832	3,3661	2,208
50	8,572	2,768	2,503
51	8,778	3,646	2,026
48	7,409	2,064	1,867
50	7,302	2,584	2,181
47	8,363	3,504	1,571
50	8,133	3,487	1,497
48	8,313	3,581	1,779
50	9,418	3,526	2,722
53	9,66	4,346	2,253
51	5,911	3,643	0,884
52	9,766	2,579	2,83
52	7,249	3,605	2,214
53	6,87	2,75	1,954
52	9,698	3,437	2,531
48	9,426	3,661	2,794
48	10,45	2,14	5,173
54	10,311	2,277	5,101
50	7,54	4,297	1,771
55	5,779	3,975	0,749
50	10,014	4,127	3,024
55	9,774	4,597	4,599
54	9,267	4,61	2,939
50	10,504	2,991	4,103
50	9,275	2,93	2,962
45	8,488	2,993	2,304
55	6,677	3,47	1,544
50	8,458	3,08	2,461
49	8,321	3,462	5,558
55	9,231	3,382	4,055
54	9,243	3,635	3,56
52	6,399	3,712	2,454
51	9,826	4,685	4,251
52	9,18	4,838	2,072
53	8,611	4,525	2,921
52	10,592	3,749	4,538
42	9,667	4,059	3,494
54	8,774	3,989	3,799
50,5	7,514	4,127	3,808
52	9,787	4,215	3,79
51	7,915	4,926	3,057

Tableau 5.6 Corrélation température huile- vibration (ax- hor- ver) palier 5

Après analyse on trouve :

- $|\rho_1| = 0,08950093$
- $|\rho_2| = 0,23224075$
- $|\rho_3| = 0,05508615$

T° huile sortie P6	Veff ax (mm/s)	Veff hor (mm/s)	Veff vert (mm/s)
46	6,881	3,378	4,378
45	8,704	2,947	5,292
46	8,386	2,524	5,156
44	7,393	2,379	4,65
45	7,393	2,379	4,65
51	7,791	3,837	5,296
45	7,569	5,199	3,766
43	7,86	2,588	4,842
45	8,337	3,273	4,212
48	10,487	2,655	4,514
47	5,975	3,351	4,075
47	11,369	1,306	4,068
47	7,166	2,798	3,76
48	6,41	2,45	3,974
48	9,411	2,979	9
50	12,393	3,295	4,683
50	10,977	2,647	4,424
48	13,265	2,649	3,146
50	14,187	3,067	3,811
50	6,712	2,828	4,357
49	4,416	4,249	4,028
51	13,345	2,552	4,196
51	9,749	2,768	4,568
50	10,803	2,641	5,037
50,5	12,185	4,863	2,06
51	11,198	1,466	4,315
45	10,217	1,537	3,411
50	5,542	2,645	4,588
48	9,844	1,662	4,025
54	9,48	1,293	4,233
50	10,952	1,489	4,24
49	7,844	2,64	4,69
48	5,702	2,625	4,092
51	11,56	6,01	5,03
47	8,07	2,551	5,584
47	9,067	2,435	5,097
46	11,12	1,56	4,351
46	10,441	1,476	4,662
47	8,429	1,057	4,476
46	5,805	2,805	4,296
47	6,885	3,51	5,134

Tableau 5.7 Corrélacion température huile- vibration (ax- hor- ver) palier 6

Après analyse on trouve :

- $|\rho_1| = 0,36469638$
- $|\rho_2| = 0,10881362$
- $|\rho_3| = 0,08403226$

Analyse et commentaire :**Palier 1 :**

Les résultats de calcul des coefficients de corrélation obtenue montre qu'il n'y a aucune dépendance entre les variables (température d'huile et vitesse efficace de vibration) pour les trois directions.

Palier 2 :

Le coefficient de corrélation pour les positions axiale et horizontale est très petit donc les variables sont indépendantes et pour la direction verticale le coefficient est égal à 0,40 ce qui explique une dépendance peu importante.

Palier 3

Les résultats des coefficients de corrélation pour ce palier sont respectivement : (0,10 - 0,18 - 0,28) ce qui explique qu'il n'y a aucune dépendance entre les variables température huile et vitesse efficace vibration pour les trois directions.

Palier 4 :

Les coefficients de corrélation pour les directions axiale et horizontale sont respectivement : 0,12- 0,03 montre qu'il n'y a aucune dépendance entre les variables et pour la direction verticale le coefficient de corrélation est égal 0,33 ce qui explique une dépendance peu importante entre les variables température huile et vitesse efficace.

Palier 5

Les valeurs des coefficients de corrélation sont très petites surtout pour les directions axiale de 0,08 et verticale de 0,05 donc il n'y a aucune dépendance entre les variables pour les trois directions.

Palier 6

Le coefficient de corrélation pour la direction axiale est égal à 0,36 ce qui explique une dépendance peu importante entre les variables et pour les directions horizontale et verticale les coefficients sont minimes (0,10, 0,08) donc il n'y a aucune dépendance entre les variables température huile et vitesse efficace des vibrations.

Conclusion

Dans ce chapitre on a pu présenter les applications de quelques outils de la maintenance conditionnelle qui sont : l'analyse vibratoire et l'analyse d'huile. La première est la plus répandue dans une politique de maintenance conditionnelle mais sa mise en œuvre est mal ou pas exploitée dans une surveillance off line et c'est le cas des courbes de tendance du niveau vibratoire.

D'après l'utilisation des courbe de tendances notamment dans les courbe 5.3, 5.4, 5.5, 5.6, 5.7, 5.8 on a constaté que l'évolution d'un seul indicateur et dans une seul direction ne suffit pas à l'identification des défauts potentiels affectant la machine d'où la nécessité d'effectuer les mesures selon deux directions radiale orthogonale, comme il faut associer à une valeur de type seuil un pourcentage d'évolution.

Ainsi l'évolution d'un seul indicateur ne présente pas toujours l'évolution de l'état vibratoire de la machine parce que le processus d'évolution d'un défaut et ses phases de dégradations sont complexes. Ils ne peuvent pas être analysés et représentés par un seul indicateur.

Ils est donc indispensable de procéder à l'analyse des courbes d'évolution du niveau vibratoire une corrélation à d'autres indicateurs ou/et paramètres d'exploitation tel que la température d'huile pour notre cas suivi d'un calcul statistique du coefficient de corrélation (vibration – température d'huile).

L'interdépendance résultante entre (vibration et température huile) nous a permis de conclure que les vibrations ne sont pas causées par l'augmentation de la température huile mais à cause d'autres facteurs. Ce qui élimine la cause de la mauvaise lubrification de la liste des défauts affectant la machine (origine de vibration).

□f□,,% i

K□□□□□□□□□□□□□□□□/□

□²↵

□□□□□□□□□□□□□□□□

□□.

□□□¢_□-□□

□□I¾□□¥¿ë. \$³M?□□Ã, rL½ØT□\$-f
8+ `f½m5S fg´r`□0' pÊê†F'è-k,,³ë□e@,,>¼MW

àßx×èA=α÷}¶Óx†Đ...î□IëÆ°FŸ^ö
□`ßcbl6
ZcÃgA™ç" aŸ²DÑâØ.N×ç% {TL□bªÛÊ±ÉLHãL å□L□r·ÛnòöÈù/áÛ{TŸ□y' á□y, øð²H□
.j□|YØ3¼6@&i□s•é÷%À□;/LÑ
endstreamendobj382 0 obj<</Contents 383 0 R/Type/Page/Parent 4289 0
R/Rotate 0/MediaBox[0 0 612 792]/CropBox[0 0 612
792]/Resources<</Font<</TT2 3828 0 R/TT4 3831 0 R/TT1 3849 0 R/TT0 4332 0
R/TT3 4338 0 R/C2_0 3836 0 R/TT5 3887 0 R/C2_1 % □4 □□

<□□□ □□□□□□□□□□ □□

□CJ`ipA<□□□□□□□□□□□□

□□ (+□□□: □□8□ i

□□-□□□□□□

□□□□□□□□□□od□

□□□□

H□□□□□□□□Wô□□□□□□□□□□□□□□†□□□□□□□□□□X□□□□

□□□□□□□□□□□□K

□□□□X

□□□□□□□□□□

□□□□□

<□□□ □
□-□□□□□□□á□□□)
□□) □ □□ □

L

□□□□

□1□ □□□□%□□ ^□□□□

□

□□□

1

□□□□□

□□□□

□ □□□□

□□□□

□□□□□Æ

□□

□□□m

□□□□□€

□□□□

&□

□□□□\$□□□□□□d

□□%□

□□ (□□□f□□□d□□□□□□□□)

□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□

□□□□
□□
□□□□□□,
□□□□□□

□□□□ □

□□

□□□□□□□□

□□

□□□

I□□□□□□□

□□

□□□□□□□□□□□□, □□□

Ⓔ

□□□□□□□□□□K□□□

□□□□ □□□□
□□□□

□□□□□□□□□□

□□□

□ □ □ \

□□□□□□□□

□□□□□□

□□□□

□□□□ □ □
□
□□□□□□□□□□

□□□□□□

□□□□@□□

□□□□□□□□□□^

□

□□□□□□□□

□□□□□□□□

□□

□□

□□□□□□□D
□□□□□□
□□□□X□□□

□□□ „% (□□\$@□□□ □□□
4□□□□□□□ „
□□\$

□ ①

□□□□□

□□□□□□À□□□□□□

%□□□

□□□□

□□□L□□□□□□□□c□

□□□□ □□□□8□□□□□□□□□□□□"

□ □ □

□□□□ □

□□□

□□□□□□□□□□□□□□□□

□□□□

□□□□

□

□□□

□

□□□□

□□□□
□□□□□-
□

□□□

□□□□□□ ÷

□□□□□□ (

□□□□

□□

□□□□□□□□□□□□□□□□

□□□□ □□□

□□□□□ (
 □□□□□

□□□□

□□□□ □□□□

□□□□□□□□□□□□□□

□□□□□□□e□

□□□□

□□

□□□)

□□□□

□□ □□□

□□□□□M□
□□□□□h

□□□□

...□□□□□

(□□□ □□□J□□□ □□□h□□□□□□□□°□□□□□□□) □□□□□□□L

□□□□□K

□□□□ □

□□□□□□□□□□X□□□

□□□□

□□□□□□□□ I□□

□□□□) □^□□□□□

□□□□□
□□

□□□□□□

□□□□□□□□

□□□□

□□□□□□□□□□

□□ □□□□□□□□

□□□

□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□

□□□□

□□

□□□□□□□□

□□□□ □□□□□□□□□□ □□□□□□
□□□□
□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□
□□□□□□
□□□□□□ □□□□□□

□□□□□□□□□□

□□□□□ □□□□□

□□□□□□□□□□□□ □□□□□□□□□□□ □ □□□□□□□□□□□□□□

□□□□□□□□

□□□□□□□□□□
□□□

□□□□□□□□ □□□□□□ □□□□ □
□□□□□□

□□□□□ □□
□□□□□□□□□□□□□□□□
□□□□□□□□

□□ □□
□□
□□□□□□□□
□□□□ □□□□□□□□□□□□□□□□

□□□□□□□□

□□

□□□□□□□□□□□□□□

□□□□□□

□□□□□□□□□□□□□□
□□□

□□□□□

□□□□□□□□□□□□□□□□

□□□□

□□□□□□□
□□□□□□□□□□
□□□□□□□□
□□□□

□□□□

□□

□□□□□□□□□□□□□□□□CO,□,□5-

.!Gi□-6CL-□□\$% \$, □!-B□□%(IÁ
MiaA□□/j!□□!9`□X†□NE%- A □)□) I (BHa!K□Rk
Co.□□°h!□ca*□; K-ZAc:
!<tB\$C) '□□pp-□Pqc□O%l□!#n!,□u),□G(%<
R□dMLe%Ji□8ôlC□KsT□
i□□!Ol`□□i□j!d
I

i&-...hCK|i@de!! (i\$a0 ING |,aR-KSB%-(
i!`!i ,<I
C \$+*
I HG
plAa"CJL...O=-`-!
t
!

A^ @%in! e□(□CH@pa□Pi[G

%□□□□-ii hm,b!M' %#oKR□□□, iX 0zM□) □□□A, □Bi□P%

□q
□□
(d
`Rk
I'i

i\$%□□h4k JJ)□□a□□a4□e

M0M!'RiJ(%)iE8V!\$Xa\$
e`iE Cy)iniIeR-!X)p%C
@kIPk4a

@
□)p qC@
' ,l□iA□
a"
pm<b-))□B) #T
I□#□ %0□4ePK□ ,*GQ

(O/ 4e% Recherche était de mettre des procédures de contrôle efficace pour le suivi et la surveillance de l'état de santé de cet équipement en intégrant les différents outils et méthodes de la maintenance conditionnelle. En premier lieu on donne un aperçu général sur la centrale thermique, et en détaillant un peu dans les caractéristiques fonctionnelles du turboalternateur, parce que la connaissance de la cinématique de la machine est une étape préliminaire dans la surveillance et le suivi du comportement normale et anormale des équipements. En deuxième lieu, pour évaluer l'état de fonctionnement de notre équipement, on a effectué une analyse de la fiabilité qui est un indicateur important pour l'efficacité d'un programme de maintenance préventif. Nous avons ensuite introduit quelques techniques de la maintenance prévisionnelle qui sont : L'analyse vibratoire et l'analyse d'huile. La première est destinée à la prévention des pannes par la détection à un stade précoce l'apparition d'un défaut, en déclenchant des alarmes si l'amplitude de vibration atteint des valeurs jugées excessives pour le bon fonctionnement, et le suivi de son évolution dans le temps. L'évolution rapide de l'outil informatique à donner naissance à une variété d'outils. Notre application de l'analyse vibratoire sur le turboalternateur, nous a permis de voir l'importance des courbes de tendance à la surveillance consécutive, notamment dans les figures 5.7, 5.8 d'où on vu la nécessité d'effectuer les mesure selon trois directions. Ainsi on a remarqué qu'un seul outil ne suffit pas pour mieux diagnostiquer et suivre notre équipement, alors on a intégré à autre outil qui est l'analyse d'huile. La lubrification est une opération fondamentale et critique pour tout équipement mécanique. La dégradation d'huile à cause des particules d'usure où l'augmentation de la température peut être le siège de plusieurs anomalies affectant la machine. Donc pour mieux maintenir notre équipement on doit prendre soin de la lubrification en vue de son importance dans la maintenance préventive. En dernier lieu, notre étude était de rechercher une relation fonctionnelle entre les deux paramètres vibration et huile. Par l'intermédiaire des outils statistiques en calculant la corrélation entre vitesse efficace vibration et température d'huile. Faire de la maintenance prévisionnelle ce n'est pas seulement traquer l'apparition d'un défaut, donner l'alerte et changer le composant défaillant. Il faut savoir remonter l'origine d'une anomalie pour corriger le dysfonctionnement à la source. Si échauffement d'un palier il y a, le tout ce n'est pas de changer le palier mais il faut savoir à quoi dû l'échauffement et vis versa pour l'évolution des vibrations. Dans ce profil notre recherche c'est a consisté à trouver la relation cause /effet entre symptôme observé à l'origine de défaillance.

Conclusion générale PAGE PAGE
 84
 ,
 X f p ú û î T U - ° Ö x ù]
 p
 Ô
 Û
 ô
 Ÿ
]
 !
 a
 b
]

□□#

□□+

□□p

□□□□□□□□ "□□□*□□□+□□□W□□□b□□□c□□□ž□□□|□□□□

□□z



□□p

□□p

□□ -□□□\$□□□)□□□□ □□,□□□□□□/ □□□□□□□□□□ 4□□□□□□□□□□
K□□□□□□□□□□□□
□□

□□□ (□□□□ □□□□□□□□□□ 7□□□□□□□□□□ □□□□□□□□%□□□I
□□□□□□□□□□□□
□-□□□□□□□R□ '□□□4□□□, □□O□□□%□□□%□□□ □□□
□□□ 0 R-Ii8 \$□□□□□R□IM(□□□\$□□□\$□- -44\$444\$\$\$□- i(\$ \$\$\$ □□□□
□□□□□□□ (0 (□□ □-, □-□□□□□J□K-□□□□, 9 □□□□i) >\$□□□□ (□Z□

□(-□-□□□□J/II□□□□,0 □□□□i

□ (- □□ □- (\$%□□□□J□K□□□□, □
0□□□□i (2□□□

-(\$ C □ □-(/) □ □ □ □ (R/ □ □ □ □ , \$ 4
□ □ □ □ IM9 □ □ □ □

□, □□□□□□ (□□7□□

□ (C□

(:8J) , , 0i98=-R 0\$ \$C
%>K (- (I , 0R
140I = <
!\$ \$ \$ ()
RIM\$4!%!%B/) !%
)
)

(□□□-
□ (- □
□□□

(□□□□□ () □-κ □□

□□□ (!0
□□Im0
□\$

□□□□□□□I □□□□, !4
□\$
□I □□□□-□□□ (□□□□I □□

□, □-□□□□□ I □□□□, □-□□□
□□□ (□□□□□

□(□□/

□□(- □□□□J□

□□□□, (□□□□□□I□

□□□□ (□□□□□□□□ (3=□□□□□□ (□□- -□□□□□□□□□□□□

□□□&□□□%□□□□□□

!□□□\$□□□0□□□

□□□□□□□ □□□□

□□□□□□ ' □□□□□□

□□□□□□1□□□□□□

□□□□□□5□□□□□□

□□□!□□□□□□□□

□□%□□□□□□□□

□\$□□□□□□□□

□□□□□□□□□□□□

□□□□□□□□□□□□

□□□□□□□□□□□□

□□□□□□□□□□□□

□□□□□□□□□□□□

□□□□□□□□□□□□

□□□□□□□□□□□□

□□□□□□□□□□□□

□□□□□□□□□□□□

□□□□□□□□□□□□

□□□□□□□□□□□□

□□□□□□□□□□□□

□□□□□□□□□□□□

□□□□□□□□□□□□

□□□□□□□□□□□□

□□□□□□□□□□□□

□□□□□□□□□□□□

□□□□□□□□□□□□

□□□□□□□□□□□□

□□□□□□□□□□□□

□□□□□□□□□□□□

□□□□□□□□□□□□

□□□□□□□□

□□

-□□ ((□□□!\$□□C-□

□□□□□□□□□□□□

□□0 □□

□□\$B/□

!\$□□=□□□8□□-

)□,□

□□□(0 -- □0□, 4□□!0□□/ □'□□□\$□□□%□□ □0□□□4□□

□□□□□□ □□

□) □2□)□!□-
□□□I □%
□□)

□□□□□□□□

□ J□□m□

□□□□□□□□

□□□□□□ (□□B/I) □>□

□□□□□□□□
□□

□□+□,□)□!□C□

0□!□6□(□ □C□I

!□4□0□□□□□□-Ii0

□□□□R□a
/□L□-□a□t□

K□m□/ m□a□I□□□□□R□□□%-

□□

□ (□4□□□□□□

->□

□□

□□□) □ 0□

"□

□□□□□□

□□□5C 1□m□-□ (□1□I□c d□-

□□□□

□□□□

I

□□□B□□□□Ä:T□□□

□I□I□%□

□□ □□□□

□□□A□A□a□□□□□□□□□□□□' □X□□□□

□4□

Aç

□-□V□□□

emÁz @e
`igee

H□□
□6□

□□□○□

□□○ -□\$□!

E□□□□

□□□□Æ

$\square, \square i + \square$
 $\square \square \square \square ! \square \square$

□□□□□

7»#ó□□□□□ □□□□□□□ □#□ □t

□□;□□

□□† □□□

□□□

□à□□□-□□□k□□□a□□□□□□□:□□□`□□

i□□□H□□□<□□□

□□

□□□□<□□

-□□□α□

□±□

□ f □ □ □ f □ □ □ ~ □ □ □ □ □ □ □ □

□□

□□□

□ □□□□□□□□□
□□□□□□□□□□
□□□□□□□□□□

□□
□□□□□...□□□€□
□□□□□□□□□□

□□!□□

□□□□, □□□□

□□□□□□□□□□0□□□□□□€□□□□□□□□□□□□□□%□

□□0□□
□□□

e□□□□□

□□□ □□

□ !□□□□□□□□□□
□□□□

□□

□□□□□□

□□+□□

□□□ "□□□-□□□;□□□;□□□;□□□>□□□□□□□□9□□□_□□□^□□□
□□□

□□□□□□□□□□©□□□□□□□"□□□)□□□-□□□4□□□7□□□>□□□□!•□□!□ÿ•€□□□đ@□□□□□□□đ □□□□

□όγ□□□"

ib-p7D9f/!Pr/E1=[X=rWF[Fç0NL9QùR÷:T>XThV
2Wvfû/uvuîpv,6|}%}SX

□□□T□□□□□□□□`□□□

l|t|„ä-Conclusion
générale-Admin-Admin-44-Microsoft Office
Word@è]@-ÊJ\Š@^N(^Š@8Q'\Š@
]

]

pÿ Őíœ. -+ ,ù0

□□□□□□

Annexe 1 : Fiche des mesures de vibration

MESURE DE VIBRATION GTA N°3

Date : Heure.....

Fréquence du groupe.....HZ

Vitesse du groupe :tr/mn

Charge active :MW

Charge réactive : Emission.....MVAR

Réception..... MVAR

Intensité alternateur :A

Vide du condenseur.....mmhg

Température échappement turbine :°C

Pression huile étanchéité H2 :Kg/cm²

Emargement

Directeur centrale.....

Chef service exploitation.....

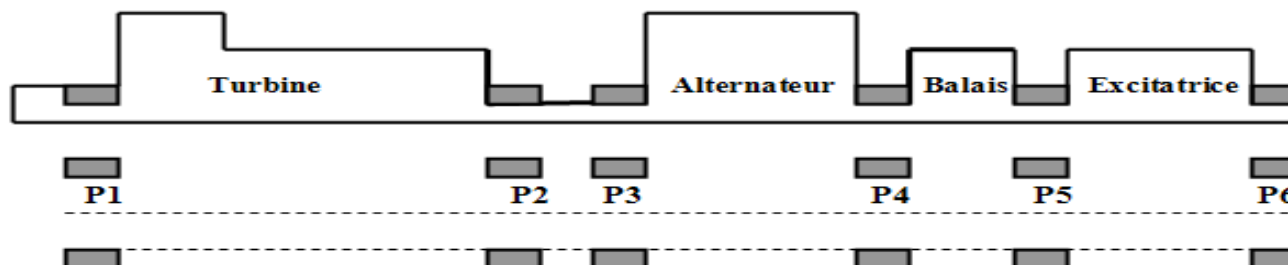
Chef de sub. Diag. Mach.....

T° Hydrogène gaz chaud.....°C

T° Hydrogène gaz froid.....°C

T° Huile de travail palier de butée.....°C

T° Huile de non travail palier butée.....°C



PALIER N°	1	2	3	4	5	6	Dilatation diff mm
Valeurs relevées sur Enregistreur PC en µm							Dépl. Axial mm
Hor (mm/s eff)							Dilatation total mm
Vert (mm/s eff)							
Axi (mm/s eff)							T° Huile entrée Collecteur °C
T° huile sortie palier							

Annexe 2 : Fiche technique des huiles TORBA

Les huiles TORBA sont spécialement élaborées pour répondre aux exigences de lubrification des paliers de turbines à vapeurs et gaz, ainsi que de nombreux organes rattachés à leurs technologies. (Multiplicateurs, certains circuits de régulation, circuits hydrauliques annexes...).

Ces huiles sont également utilisées pour la lubrification des turboalternateurs et turbo compresseurs.

Propriétés des huiles TORBA

- Pouvoir anti – rouille
- Très bonne résistance à l'oxydation, ce qui assure une durée de vie importante des charges en service ;
- Bonne résistance à la corrosion ;
- Très bonne désemulsibilité ;
- Bon pouvoir de désaération.

Caractéristiques moyennes :

	Norme	Unité	TORBA 32	TORBA 46	TORBA 68
Classe ISO VG			32	46	68
Viscosité à 100°C	D 445	CST	5.5	6.6	8.3
Indice viscosité	D 2270		95/100	95/100	95/100
Point d'éclaire	D 92	°C	200	210	222
Point d'écoulement	D 97	°C	-9	-9	-9

Annexe 3 : Tableau - distribution de Weibull

Tableau - Distribution de WEIBULL:		
Valeur des coefficients a et b en fonction du paramètre de forme β		
β	a	b
0,2	120	1901
0,25	24	199
0,3	9,26	52,6
0,4	3,3233	10,5
0,5	2	4,47
0,6	1,5	2,65
0,7	1,266	1,85
0,8	1,133	1,43
0,9	1,052	1,18
1	1	1
1,2	0,941	0,78
1,4	0,911	0,66
1,6	0,897	0,574
1,8	0,889	0,511
2	0,886	0,463
2,5	0,887	0,38
3	0,893	0,324
3,5	0,9	0,285
4	0,906	0,255
5	0,918	0,21

Annexe 4 : Tableau des Valeurs critiques pour le test de Kolmogorov smirnov

Intervalles de confiances de F(X)
Valeurs critiques pour le test de Kolmogorov smirnov

N	Niveaux significatifs				
	0.20	0.15	0.10	0.05	0.01
1	0.900	0.925	0.950	0.975	0.995
2	0.684	0.726	0.776	0.842	0.929
3	0.565	0.597	0.642	0.708	0.828
4	0.494	0.525	0.564	0.624	0.733
5	0.446	0.474	0.510	0.565	0.669
6	0.410	0.436	0.470	0.521	0.618
7	0.381	0.405	0.438	0.486	0.557
8	0.358	0.381	0.411	0.457	0.543
9	0.339	0.360	0.388	0.432	0.514
10	0.332	0.342	0.368	0.410	0.590
11	0.307	0.326	0.352	0.391	0.468
12	0.295	0.313	0.338	0.375	
13	0.284	0.302	0.325	0.361	0.450
14	0.274	0.292	0.314	0.349	0.433
15	0.266	0.283	0.304	0.328	0.418
16	0.258	0.274	0.295	0.328	0.404
17	0.250	0.266	0.286	0.318	0.381
18	0.244	0.259	0.278	0.309	0.371
19	0.237	0.252	0.272	0.301	0.363
20	0.231	0.246	0.264	0.294	0.356
25	0.21	0.22	0.24	0.27	0.32
30	0.19	0.20	0.22	0.24	0.29
35	1.18	0.19	0.21	0.21	0.27
> 35	$1.07 / \sqrt{N}$	$1.14 / \sqrt{N}$	$1.22 / \sqrt{N}$	1.36	$1.63 / \sqrt{N}$

Bibliographie

- [1] Abdallah Abderrezak. Automatisation de la fiabilité des centrales électriques. Thèse de doctorat d'état.
- [2] D. Augeix. Analyse vibratoire des machines tournante : Technique de l'ingénieur.
- [3] J. Aysel. Lubrifiant – Constitution : Technique de l'ingénieur
- [4] J. Aysel. Lubrifiant – Additifs à action chimique : technique de l'ingénieur.
- [5] J. Aysel. Lubrifiant- Propriétés et caractéristiques : Technique de l'ingénieur.
- [6] AFNOR (1991). *Association française de normalisation*. Groupe AFNOR, Paris.
- [7] Aït Kadi. La fiabilité des systèmes. Département de génie mécanique. Université Laval Québec Canada. D 2002.
- [8] A. Boulanger et Christian Pachaud. Surveillance des machines par analyse des Vibration - 1998
- [9] A. Boulanger, Vers le zero panne avec la maintenance conditionnelle, AFNOR, Paris, 1988
- [10] A. Boulanger et Christian Pachaud-. Analyse vibratoire en maintenance – 2003
- [11] A. Boulanger. Maintenance conditionnelle par analyse des vibration : technique de l'ingénieur.
- [12] J-M. Bleux et J- L. Fanchon. Maintenance (systèmes automatisés de production) 2000.
- [13] H.BUYSE. Production d'énergie électrique. ELEC 2753 Electrotechnique. 2004
- [14] Corporation d'entretien prédictive 2004.
- [15] Documentation technique : Technologie de centrale thermique (turbine) 1972
- [16] M.N.DJELID. Revue de la direction régionale- Hassi-Rmel. HRinfo. Regard sur la . Maintenance. 1995
- [17] J. Frêne. Cour de lubrification : Université de poitier 2006
- [18] J- L. FANCHON. Guide des sciences et technologies industrielles. AFNOR 2001.
- [19] Gwindon W. Stachowiak et Andrew W. Batchelor. Engineering tribology : 2002 Elsevier science (USA)
- [20] J. Héng. Pratique de la maintenance préventive – 2002
- [21] J. Pierre HUTIN. Maintenance des chaudières nucléaires. Technique de l'ingénieur.

- [22] Heinz P.Bloch – Fred K. Geitner. *Machinery – Maintenance and repair* : Gulf Publishing company Houston 1990.
- [23] Lewis, E. E. (1987). *Introduction to Reliability Engineering*. John Wiley & Sons, New York.
- [24] F. MONCHY. *Maintenance méthodes et organisation 2000*
- [25] Jacques Morel. *Surveillance vibratoire et maintenance prédictif : Technique de l'ingénieur*.

- [26] Henri- Pierre RAMELLA. *Maintenance des turbines à vapeur : Technique de l'ingénieur*.
- [27] G.SAPORTA, *Probabilité, analyse des données et statistiques*, Edition Technip 1990
- [28] Brüel et kjoer, Shenck . *Technical documentation C-40. Condition Monitoring systems*. 1994.
- [29] WEKA 2004. *Responsable maintenance. Guide du manager opérationnel*.
- [30] XAVIER ZWINGMAN. *Modèle d'évaluation de la fiabilité et de la maintenabilité au stade de la conception*. Thèse de doctorat. 2005
- [31] Gille Zwingelstein. *Maintenance basée sur la fiabilité-* 1996
- [32] Gille Zwingelstein. *Diagnostic des défaillances- théorie et pratique pour le système Hermès* 1995.