REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE

MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE

UNIVERSITE YAHIA FARES DE MEDEA



Faculté de **T**echnologie

Département du **G**énie Mécanique

Mémoire de fin d'études de Master

Filière : Génie Mécanique

Spécialité : Construction Mécanique

Amélioration de la disponibilité par analyse lubrifiant industriel

---

Présentés par :

HADJAIDJIA ALA EDDINE

SEHANINE TAREK

Proposés et Dirigés par :

Pr. Mouloud Guemana

Promotion 2022

Remerciements

Tout d'abord, nous remercions le BON DIEU le tout puissant de nous avoir donné le courage et la volonté pour ce travail

Nous tenons à remercier notre encadreur pour son suivi et ses spécieux conseils.

Nous remercions chacun des membres de jury d'avoir examiner notre travail.

Nos remerciements à toute la faculté de la technologie.

Nos remerciements vont également à nos familles, ainsi que toutes les personnes ayant contribué de près ou de loin à la réalisation de ce mémoire.

Dédicace

En cette unique mémorable et heureuse occasion, je dédie

cemodeste travail

Qui est le fruit de mon effort

- aux deux êtres les plus chers a mon cœur mes parents pour leurs sacrifices et patiences qui m'ont toujours aidé durant toutes ces annéesd'études, en leur souhaitant que le bon dieu les garde en bonne santé.

- *Atoute mes amies*

Résumé

Cette étude permet de comprendre l'entretien et ses caractéristiques et de découvrir les défauts du moteur en analysant l'huile et d'améliorer le travail du moteur en lubrifiant les pièces mécaniques des moteurs.

Mots clés : Maintenance , lubrifiants , Contrôle CND , industriels

ملخص

تتيح هذه الدراسة فهم صيانة وخصائصها و اكتشاف العيوب في محرك عن طريق تحليل الزيت وتحسين عمل المحرك عن طريق تزييت الأجزاء الميكانيكية لمحركات تعتبر زيوت التشحيم ضرورية لضمان الأداء السليم للمحرك وكذلك تحسين جودة الخدمة عن طريق المراقبة بدون إتلاف على المحرك

كلمات مفتاحية: صيانة، زيوت تشحيم، تحكم، صناعي

Summary

This study helps to understand maintenance and its characteristics and to discover the defects of the engine by analyzing the oil and to improve the work of the engine by lubricating the mechanical parts of the engines

Keywords: Maintenance, lubricants, NDT control, industrial

Sommaire

Liste des figures

Liste des tableaux

Introduction générale

Chapitre I Généralité sur la maintenance

1. Introduction 2

2. Définition de la maintenance 2

3. OBJECTIF DE LA MAINTENANCE 2

4. Rôle de la maintenance 2

4.1. La fonction maintenance 2

4.1.1. Prévisions à long terme 2

4.1.2. Prévisions à moyen terme: 2

4.1.3. Prévisions à courts termes 2

5. Les types de maintenance 3

5.1. La maintenance corrective 3

5.2. La maintenance préventive 4

5.2.1. La maintenance préventive systématique 4

5.2.2. La maintenance préventive conditionnelle 4

5.2.3. La maintenance prédictive ou prévisionnelle 4

6. LES PRINCIPALES FONCTIONS DE LA MAINTENANCE 5

6.1. Les méthodes (Le Cerveau) : Elle a pour but de définir: 5

6.2. Ordonnancement 5

6.3. La préparation : elle détermine 5

6.4. Le lancement : il assure 5

6.5. L'exécution 5

6.6. Gestion des stocks (POR) (Pièces de rechanges) 5

6.7. Gestion des coûts 5

6.8. La documentation 5

7. Les opérations de maintenance 6

7.1. Les opérations de maintenance corrective 6

7.1.1. Le dépannage 6
7.1.2. La réparation 6
7.2. Les opérations de maintenance préventive 6
7.2.1. Les inspections 6
7.2.2. Les visites 6
7.2.3. Les contrôles 6
7.3. Autres opérations 6
7.3.1. Révision 6
7.3.2. Les échanges standards 7
8. La stratégie de maintenance (normes NF EN 13306 & FD X 60-000) 7
9. Les niveaux de maintenance 8
9.1. 1er Niveau 8
9.2. 2ème Niveau 8
9.3. 3ème Niveau 9
9.4. 4ème Niveau 9
9.5. 5ème Niveau 9
10. L'intérêt de maintenance 10
11. La sécurité 10
12. Conclusion 10
Chapitre II Contrôle Non Destructif
1. Introduction 11
2. Les stades de contrôle 12
2.1. Le contrôle de réception 12
2.2. Le contrôle en cours de fabrication 12
2.3. Le contrôle de produit fini 12
3. Origines et classifications des défauts 13
3.1. Origines de défauts 13
3.2. Classification des défauts 13
3.2.1. Défauts dus au soudage 13
3.2.2. Défauts dus au moulage 15
3.2.3. Défauts dus au forgeage 16
4. Techniques de contrôle 16

5. LES METHODES COMMUNES 16
5.1. L'examen visuel 17
5.1.1. Compétences nécessaires 17
5.2. Equipements 17
5.3. Le ressuage 17
5.3.1. Définition 17
5.3.2. Principe de ressuage 18
5.4. Types et significations des indications 20
5.4.1. Types d'indications 20
5.4.2. Significations des indications 20
5.5. Avantages et inconvénients 20
5.6. La magnétoscopie 22
5.6.1. Définition 22
5.6.2. Matériaux ferromagnétiques 22
5.1. Principe de la méthode 22
5.1.1. Phase d'excitation 23
5.1.2. Phase de perturbation 23
5.1.3. Phase de révélation 24
5.2. La radiographie 25
5.2.1. Nature des rayonnements ionisants 25
5.2.2. Principe 26
5.2.3. Production des rayons X 27
5.2.4. Formation de l'image radiographique 29
5.2.5. Enregistrement de l'image radiographique 31
5.3. Les ultrasons 33
5.3.1. Définition 33
5.4. Notion d'onde 33
5.4.1. Définition 33
5.4.3. Vitesse de propagation 34
5.5. LES COURANTS DE FOUCAULT 35
6. Conclusion 38
Chapitre III analyse des lubrifiants industriels

1. Introduction 39
2. Rôle des lubrifiants 39
3. Différents types de lubrifiants 39
3.1. Lubrifiants d'origine animale 39
3.2. Lubrifiants d'origine végétale 40
3.3. Lubrifiants d'origine minérale : (Les huiles de base) 40
3.4. Les huiles de synthèse ou synthétiques 40
4. Les additifs 40
4.1. Additifs améliorant d'indice de viscosité 40
4.2. Additifs de point d'écoulement 41
4.3. Additifs antioxydants 41
4.4. Additifs détergents et dispersants 41
4.5. Additifs anti-usure 42
4.6. Additifs extrême-pression (EP) 42
4.7. L'anti-mousse 43
5. Principales classification des huiles lubrifiantes 43
6. MATERIELS ET METHODES 44
6.1. Mode opératoire 44
6.1.1. Principe 45
6.1.2. Appareillage 45
6.1.3. Mode opératoire 45
6.2. Indice de viscosité (D 2270) 46
6.2.1. Principe 46
6.3. Point d'éclair (D 92) 46
6.3.1. Principe 46
6.3.2. Appareillages 47
6.3.3. Mode opératoire 47
6.4. Densité (D 1298) 48
6.4.1. Principe 48
6.4.2. Appareillages 48
6.4.3. Mode opératoire 48
6.5. Point d'écoulement (D 97, D 2500) 49

6.5.1. Principe 49
6.5.2. Appareillages 49
6.6. Spectromètre DCP SPECTRASPAN 7 49
7. Exemple analyse des lubrifiants 51
8. RESULTATS ET INTERPRETATIONS 51
8.1. L'huile monograde SAE 40 51
8.1.1. Viscosité dynamique 51
8.1.2. Viscosité cinématique 52
8.1.3. Indice de viscosité 54
8.1.4. Point éclair 55
8.1.5. Indice de basicité totale (TBN 55
8.1.6. Teneur en cendres sulfatées 56
8.1.7. Etude spectrométrique 57
8.2. Huile multigrade SAE 20W40 60
8.2.1. Viscosité dynamique 60
8.2.2. Viscosité cinématique 62
8.2.3. Indice de viscosité 63
8.2.4. Point éclair 64
8.2.5. Indice de basicité totale (TBN) 65
8.2.6. Teneur en cendres sulfatées 66
9. Conclusion 67
Chapitre IV : détection des défauts mécanique par technique de l'analyse des lubrifiants industriels
1. INTRODUCTION 68
2. ÉCHANTILLONNAGE DE LUBRIFIANT 68
3. Échantillonnage de lubrifiant 68
4. ANALYSE DES ÉCHANTILLONS 70
4.1. Viscosité cinématique à 40 et 100 °C 71
4.2. Teneur en eau 71
4.3. Insolubles 71
4.4. Indice d'acide total (TANJ) 71
4.5. Total 71

4.6. Point de rupture 72
4.7. Quantification des particules (PQ) 72
4.8. Microscopie optique 72
4.9. Analyse élémentaire par plasma à couplage inductif (ICP) 72
5. INTERPRÉTATION DES RÉSULTATS 72
5.1. Connaissance des équipements surveilles 72
5.2. Métallurgie des composants 73
5.3. Contamination 73
5.4. Comprendre le lubrifiant utilize 74
6. Informations d'aide à la décision de maintenance 75
7. Application du LCM en maintenance 75
8. Approches LCM dans l'aide à la décision de maintenance 76
9. CONCLUSION 77
Conclusion générale
Références bibliographiques

Liste des figures

Figure 1: Organigramme de différentes méthodes de la maintenance[1] 3
Figure 2 : Les méthodes de maintenance selon la norme NF X 60-000 [1] 8
Figure 3:Les stades de contrôle 12
Figure 4: Le contrôle de produit 12
Figure 5: Défauts dus au soudage 13
Figure 6 : Les fissures dans les soudures 13
Figure 7: appareil endoscope 17
Figure 8: L'examen des soudures par ressuage 18
Figure 9: Exemples de pièces contrôlées par ressuage 21
Figure 10: L'EXCITATION Champ magnétique 23
Figure 11: LA PERTURBATION Défaut de la surface 24
Figure 12: LA REVELATION Accumulation de particules magnétiques Eclairage 24
Figure 13: Principe de la Radiographie 26
Figure 14: *2* **Principe de la Radiographie** 26
Figure 16:Dispositif expérimental de production des rayons X 27
Figure 15:Production des rayons X Le tube à rayons X 27
Figure 17: Variation du rayonnement en fonction de l'intensité appliquée à la cathode, pour une tension constante 28
Figure 18: Principe de l'atténuation des rayons X 29
Figure 19: l'image dépend de la distance entre la source, l'objet et le film, ... 30
Figure 20: Flou Géométrique Ou Le Flou Des Bords De L'image 30
Figure 21: Coefficient d'absorption (cm2 g-1) 31
Figure 22: Représentation des vibrations du son (sinusoïde) 33
Figure 23: Onde longitudinale ou de compression 34
Figure 24: Onde transversale ou de cisaillement 34
Figure 25: Types d'ondes et modes de propagation des ultrasons dans un solide 34
Figure 26: Mesure par courants de Foucault sur une pièce industrielle 35
Figure 27 : Principe simplifié de l'instrumentation 36
Figure 28 : Principe de la détection 37
Figure 29:La mesure en mode absolu 37
Figure 30 : Détection de défauts 38
Figure 31 :Viscosimètre à capillaire Cannon-Fenske 44
Figure 32:Bain viscosimètrique à 100°C **Figure 33:Bain viscosimétrique à 40°** 45
Figure 34:Testeur de point d'éclair de type Cleveland Open Cup 47
Figure 35:Pycnomètre 48
Figure 36:Spectromètre DCP SPECTRASPAN 7 50
Figure 37: Evolution de la viscosité dynamique mesurée à 40° C de l'huile de lubrification SAE40 en fonction des heures de marche du moteur 52
Figure 38: Evolution de la viscosité dynamique mesurée à 100° C de l'huile de lubrification SAE40 en fonction des heures de marche du moteur 52

Figure 39: Evolution de la viscosité cinématique à 40°C de l'huile de lubrification SAE40 en fonction des heures de marche du moteur 53
Figure 40: Evolution de la viscosité cinématique à 100°C de l'huile de lubrification SAE40 en fonction des heures de marche du moteur 53
Figure 41: Evolution de l'indice de viscosité de l'huile de lubrification SAE40 en fonction des heures de marche du moteur 54
Figure 42: Evolution du point éclair d'huile de lubrification en fonction des heure de marche du moteur 55
Figure 43 : Evolution du TBN de l'huile de lubrification SAE40 en fonction des heures de marche 55
Figure 44: Variation du taux de Fer (en ppm) dans l'huile SAE40 et dans les boues en fonction des heures de marche du moteur 58
Figure 45: Variations du taux de Cuivre (en ppm) dans l'huile SAE40 et dans les boues en fonctions des heures de marche 58
Figure 46: Variation du taux de Chrome (en ppm) dans l'huile SAE40 et dans les boues en fonction des heures de marche 59
Figure 47: Evolution de la viscosité dynamique à 40°C de l'huile de lubrification SAE20W40 en fonction des heures de marche du moteur 61
Figure 48: Evolution de la viscosité dynamique à 100°C de l'huile de lubrification SAE20W40 en fonction des heures de marche de moteur 61
Figure 49: Evolution de la viscosité cinématique à 40°C de l'huile de lubrification20W40 en fonction des heures de marche du moteur 62
Figure 50: Evolution de la viscosité cinématique à 100°C de l'huile de lubrification SAE 20W40 en fonction des heures de marche du moteur 62
Figure 51: Evolution de l'indice de viscosité de l'huile de lubrification SAE20W40 en fonction des heures de marche 64
Figure 52: Evolution de point éclair de l'huile de lubrification SAE20W40 en fonction des heures de marche 64
Figure 53: Evolution du TBN d'huile de lubrification SAE20W40 des heures de marche du moteur 65
Figure 54 :Fréquence d'échantillonnage. 70
Figure 55 :Approches de surveillance de l'état des lubrifiants dans l'aide à la décision de maintenance 76

Liste des tableaux

Table 1:Causes et Moyen de prévention de Fissuration 14
Table 2:Type d'inclusion 14
Table 3:Défauts dus au moulage 15
Table 4:Techniques et Application De contrôle 16
Table 5: Procédure générale de contrôle par ressuage [11] 19
Table 6: Avantages et inconvénients de contrôle par ressuage [11] 20
Table 7:Parmi les matériaux courants on peut considérer comme étant ferromagnétique 22
Table 8 : Les ultrasons sont des vibrations (16 Hz à 16 KHz) 33
Table 9: Principe des courants de Foucault – mesure sur matériau métallique. [14]. 36
Table 10: Composition élémentaire de l'huile (en %) en fonction des HDM 56
Table 11 :Composition élémentaire des boues (en %) en fonction des HDM 57
Table 12: Composition élémentaire de l'huile SAE20W40 (en%) en fonction des HDM 66
Table 13: Composition élémentaire des boues (en %) en fonction des HDM 66
Table 14 :Fréquence d'échantillonnage typique 69
Table 15 :Sélection des méthodes d'essai 70
Table16: résultats d'analyse ICP 73
Table17:Métallurgie des composants 73
Table 18 :Exemples de contamination 74
Table 19 :Éléments de contamination typiques 74

Introduction générale

L'huile de lubrification est une source d'information importante pour la détection précoce des pannes de machines, tout comme le rôle de l'analyse d'un échantillon de sang humain pour la détection des maladies. Dans les industries modernes, l'huile de lubrification joue un rôle essentiel dans la maintenance des machines complexes telles que les éoliennes et les machines et moteurs industriels. Ces dernières années, la surveillance de l'état de santé et le pronostic de l'huile de lubrification sont devenus un sujet important dans les milieux universitaires et industriels. Des efforts considérables ont été consacrés au développement et à la recherche de systèmes de diagnostic et de pronostic de l'huile. Par rapport aux techniques de surveillance de l'état des machines basées sur les vibrations, la surveillance de l'état de l'huile de lubrification fournit des avertissements environ 10 fois plus tôt en cas de dysfonctionnement ou de panne de la machine . L'objectif de la plupart des recherches est, par le biais de la surveillance du processus de dégradation de l'huile, de fournir une alerte précoce de la défaillance de la machine et surtout d'étendre la durée opérationnelle de l'huile de lubrification afin de réduire la fréquence des changements d'huile et donc de réduire la maintenance.

Nous allons tout d'abord aborder les généralités de la maintenance et du contrôle non destructif. La maintenance s'exerce sur des équipements industriels de production placés dans le contexte économique de l'entreprise Chaque équipement plus ou moins complexe, constitue un système technique, conçu pour mettre en œuvre un processus et destiné à réaliser, partiellement ou totalement, un produit ou un service. Par exemple dans un atelier : une presse à injecter est un système technique mettant en œuvre un processus (injection) pour réaliser un produit (fabrication de pièces en plastique).La maintenance a pour mission de veiller sur les systèmes techniques que sont les systèmes de production pour :

Préserver leur bon état de fonctionnement en évitant l'apparition de panne (maintenance préventive) ;

Restaurer leur bon état de fonctionnement lorsqu'il est dégradé par l'apparition d'une défaillance (maintenance corrective) ;

Le contrôle non destructif (CND) est une méthode de diagnostic et d'inspection qui permet de détecter, localiser, dimensionner et caractériser les éventuels défauts (anomalies) présents dans les structures industrielles (pièces, équipements, machines...), sans les endommager ou les détruire. Ces défauts peuvent être créés soit pendant la production d'une telle pièce, soit pendant son utilisation. En fait, le CND est une opération très importante qui gagne de plus en plus de terrain dans l'industrie avec ses différents secteurs. Son évolution technologique (instrumentation, automatisation...) est particulièrement évidente dans le secteur de la construction.

Dans l'étape 2, nous allons étudier l'analyse de l'huile industrielle et détecter les erreurs mécaniques grâce à l'analyse de l'huile Pour contrôler efficacement le bon fonctionnement d'un lubrifiant, vous devez d'abord examiner quelles sont les fonctions du lubrifiant. La fonction première d'un lubrifiant est évidemment de lubrifier. La lubrification peut être définie comme la réduction de la friction. En réduisant le frottement, l'usure est réduite, tout comme la quantité d'énergie nécessaire pour effectuer le travail.

Chapitre I Généralité sur la maintenance

1. Introduction

La maintenance, un mot qui ne plait pas souvent au producteur, une activité sans production, mais obligatoire avec des dépenses parfois gigantesques. En effet, elle consiste seulement à remettre les machines et les lignes de production en un état qui leur permet de produire d'une façon optimale.[1]

2. Définition de la maintenance

Notions sur la maintenance

« Ensemble de toutes les actions techniques, administratives et de management durant le cycle de vie d'un bien, destinées à le maintenir ou à le rétablir dans un état dans lequel il peut accomplir la fonction requise ». (Norme AFNOR X 60-010). [2]

3. OBJECTIF DE LA MAINTENANCE:

Les principaux objectifs de la maintenance sont:

- de maintenir l'équipement dans un bon état de marche, dans les meilleures conditions de qualité, de délai et de prix de revient;
- de remplacer l'équipement à des périodes prédéterminées;
- d'assurer á l'équipement des performances de haute qualité;
- d'améliorer la sécurité du travail;
- de former le personnel dans les spécialités spécifiques á la maintenance;
- de conseiller la direction d'usine et la fabrication;
- de maintenir l'installation dans un état de propreté absolue. [1]

4. Rôle de la maintenance

Le service maintenance doit mettre en œuvre la politique de maintenance définie par la direction de l'entreprise ; cette politique devant permettre d'atteindre le rendement maximal des systèmes de production. Cependant, tous les équipements n'ont pas le même degré d'importance d'un point de vue maintenance. Le service devra donc, dans le cadre de la politique globale, définir les stratégies les mieux adaptées aux diverses situations. La fonction maintenance sera alors amenée à établir des prévisions ciblées. [1] :

4.1. La fonction maintenance

4.1.1. Prévisions à long terme:

Elles concernent les investissements lourds ou les travaux durables. Ce sont des prévisions qui sont le plus souvent dictées par la politique globale de l'entreprise.

4.1.2. Prévisions à moyen terme:

La maintenance doit se faire la plus discrète possible dans le planning de charge de la production. Il lui est donc nécessaire d'anticiper, autant que faire se peut, ses interventions en fonction des programmes de production. La production doit elle aussi prendre en compte les impératifs de suivi des matériels.

4.1.3. Prévisions à courts termes:

Elles peuvent être de l'ordre de la semaine, de la journée, voire de quelques heures. Même dans ce cas, avec le souci de perturber le moins possible la production, les interventions devront elles aussi avoir subi un minimum de préparation.

Nous nous intéressons dans la démarche de cette thèse de la maintenance en moyens et long terme.

5. Les types de maintenance

Généralement, la maintenance est divisée en deux types. [1]

- La maintenance corrective
- La maintenance préventive

La figure 1: illustre l'organigramme des différentes méthodes de la maintenance :

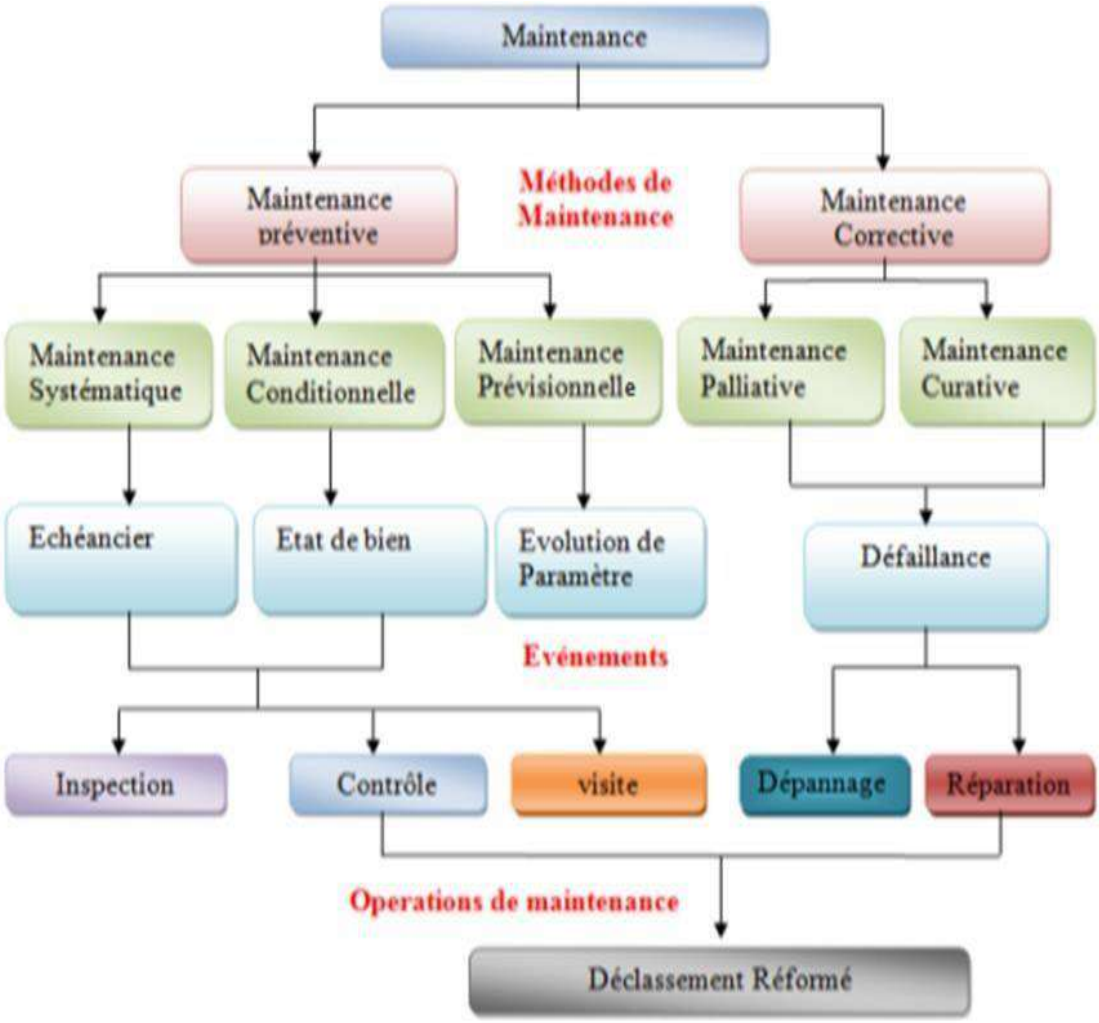


Figure 1: Organigramme de différentes méthodes de la maintenance[1] .

5.1. La maintenance corrective

La maintenance corrective est définit par la norme AFNOR NF X 60 010 comme une maintenance effectuée après défaillance, où l'on distingue deux types d'intervention. [3]

Palliative (dépannage) qui basé sur l'opération de dépannage, parce que la défaillance est partielle.

Curative (réparation) qui basé sur l'opération de réparation parce que la défaillance est totale

5.2. La maintenance préventive

D'après la norme AFNOR (X-60-010), on peut définir la maintenance préventive comme une maintenance effectuée dans l'intention de réduire la probabilité de défaillance d'un bien ou la dégradation d'un service rendu.

On distingue deux méthodes de cette maintenance :

5.2.1. La maintenance préventive systématique

Selon la norme AFNOR X-60-010, on définit la maintenance systématique comme étant une maintenance préventive effectuée suivant un échéancier établi, suivant le temps ou le nombre d'unité d'usage.

5.2.2. La maintenance préventive conditionnelle

Selon la norme AFNOR X-60-010, on définit la maintenance conditionnelle comme étant une maintenance préventive subordonnée à un type d'événement prédéterminé révélateur de l'état du bien [2] et la maintenance préventive conditionnelle se caractérise par la mise en évidence de la partie faible de l'équipement.

- Mesure des vibrations des bruits.
- Mesure de température.
- Mesure de pression dans les différents organes.
- Analyse des vibrations : Il se fait généralement dans les ateliers de réparation située à la base industrielle.
- Analyse des huiles. [4]

5.2.3. La maintenance prédictive ou prévisionnelle

C'est un type de maintenance conditionnelle permettant de réajuster les prévisions d'opérations de maintenance à effectuer, en estimant la tendance évolutive du dysfonctionnement éventuel détecté sur un appareil et le temps pendant lequel il est possible de continuer à l'utiliser avant la panne. Ces estimations se font à partir des analyses

Périodiques de l'état de chaque équipement obtenu par les méthodes de la maintenance conditionnelle et l'utilisation de modèles d'usure. [5]

6. LES PRINCIPALES FONCTIONS DE LA MAINTENANCE:

6.1. Les méthodes (Le Cerveau) : Elle a pour but de définir:

- Ce qu'il faut faire avec quoi et comment le faire
- Les méthodes et les techniques d'intervention
- Les normes d'entretien
- La création et l'exploitation de la documentation technique et historique

6.2. Ordonnancement :

- Elle rassemble les moyens pour rendre exécutable les travaux réalisés
- Etablir la programmation des travaux et veiller au respect de délais
- Définir besoin des ressources
- Regrouper et contrôler les informations relatives aux travaux

6.3. La préparation : elle détermine

- Le processus
- Les moyens nécessaires
- Les durées opératoires et la répartition de la main d'œuvre

6.4. Le lancement : il assure

- Distribution du travail selon Ie planning établit en fonction de la charge des équipes
- La conduite des hommes pour la bonne exécution des travaux

6.5. L'exécution:

- Assure la remise en route des machines par l'exécution des interventions
- La garantie de l'égalité de délai à la date fixée et dans les meilleures conditions de sécurité

6.6. Gestion des stocks (POR) (Pièces de rechanges) :

- Prévoie les besoins de l'entreprise en articles courants et PDR
- Détermine les quantités à approvisionner

6.7. Gestion des coûts :

- Elle doit être continuellement au courant de ses dépenses pour réagir rapidement

6.8. La documentation :

C'est un rapport indispensable pour la mise en œuvre de la gestion de la maintenance des

7. Les opérations de maintenance

7.1. Les opérations de maintenance corrective

7.1.1. Le dépannage

Action sur un bien en panne, en vue de le remettre en état de fonctionnement.

Compte tenu de l'objectif, une action de dépannage peut s'accommoder de résultats provisoires et de condition de réalisation hors règles de procédures, de coûts et de qualité, et dans ce cas sera suivie de la réparation.

7.1.2. La réparation

Intervention définitive et limitée de maintenance corrective après panne ou défaillance. L'application de la réparation peut être décidée soit immédiatement à la suite d'un incident ou d'une défaillance, soit après un dépannage, soit après une visite de maintenance préventive conditionnelle ou systématique.

7.2. Les opérations de maintenance préventive

7.2.1. Les inspections

Activités de surveillance consistant à relever périodiquement des anomalies et exécuter des réglages simples ne nécessitant pas d'outillage spécifique, ni d'arrêt de l'outil de productionou des équipements.

7.2.2. Les visites

Opérations de surveillance qui, dans le cadre de la maintenance préventive systématique, s'opèrent selon une périodicité déterminée. Ces interventions correspondent à une liste

D'opérations définies préalablement qui peuvent entraîner des démontages d'organes et uneimmobilisation du matériel. Une visite peut entraîner une action de maintenance corrective.

7.2.3. Les contrôles

Vérifications de conformité par rapport à des données préétablies suivies d'un jugement. Lecontrôle peut :

- Comporter une activité d'information
- Inclure une décision : acceptation, rejet, ajournement
- Déboucher comme les visites sur des opérations de maintenance corrective

7.3. Autres opérations

7.3.1. Révision

Ensemble des actions d'examens, de contrôles et des interventions effectuées en vue

d'assurer le bien contre toute défaillance majeure ou critique, pendant un temps ou pour un nombre d'unités d'usage donné.

Il faut distinguer suivant l'étendue des opérations à effectuer les révisions partielles et les révisions générales. Dans les 2 cas, cette opération nécessite la dépose de différents sous- ensembles. Le terme révision ne doit en aucun cas être confondu avec les termes visites, contrôles, inspections. Les 2 types d'opérations définis (révision générale ou partielle) relèventdu 4ème niveau de maintenance.

7.3.2. Les échanges standards

Reprise d'une pièce ou d'un organe ou d'un sous-ensemble usagé, et vente au même client d'une pièce ou d'un organe ou d'un sous-ensemble identique, neuf ou remis en état conformément aux spécification du constructeur, moyennant le paiement d'une soulte dont le montant est déterminé d'après le coût de remise en état. Soulte : somme d'argent qui, dans un échange ou dans un partage, compense l'inégalité de valeur des biens échangés. [1]

8. La stratégie de maintenance (normes NF EN 13306 & FD X 60-000)

"La stratégie de maintenance est une méthode de management utilisée en vue d'atteindreles objectifs de maintenance."

Les choix de stratégie de maintenance permettent d'atteindre un certain nombre d'objectifs de Maintenance :

- Développer, adapter ou mettre en place des méthodes de maintenance.
- Élaborer et optimiser les gammes de maintenance.
- Organiser les équipes de maintenance.
- Internaliser et/ou externaliser partiellement ou totalement les tâches de maintenance.
- Définir, gérer et optimiser les stocks de pièces de rechange et de consommables.

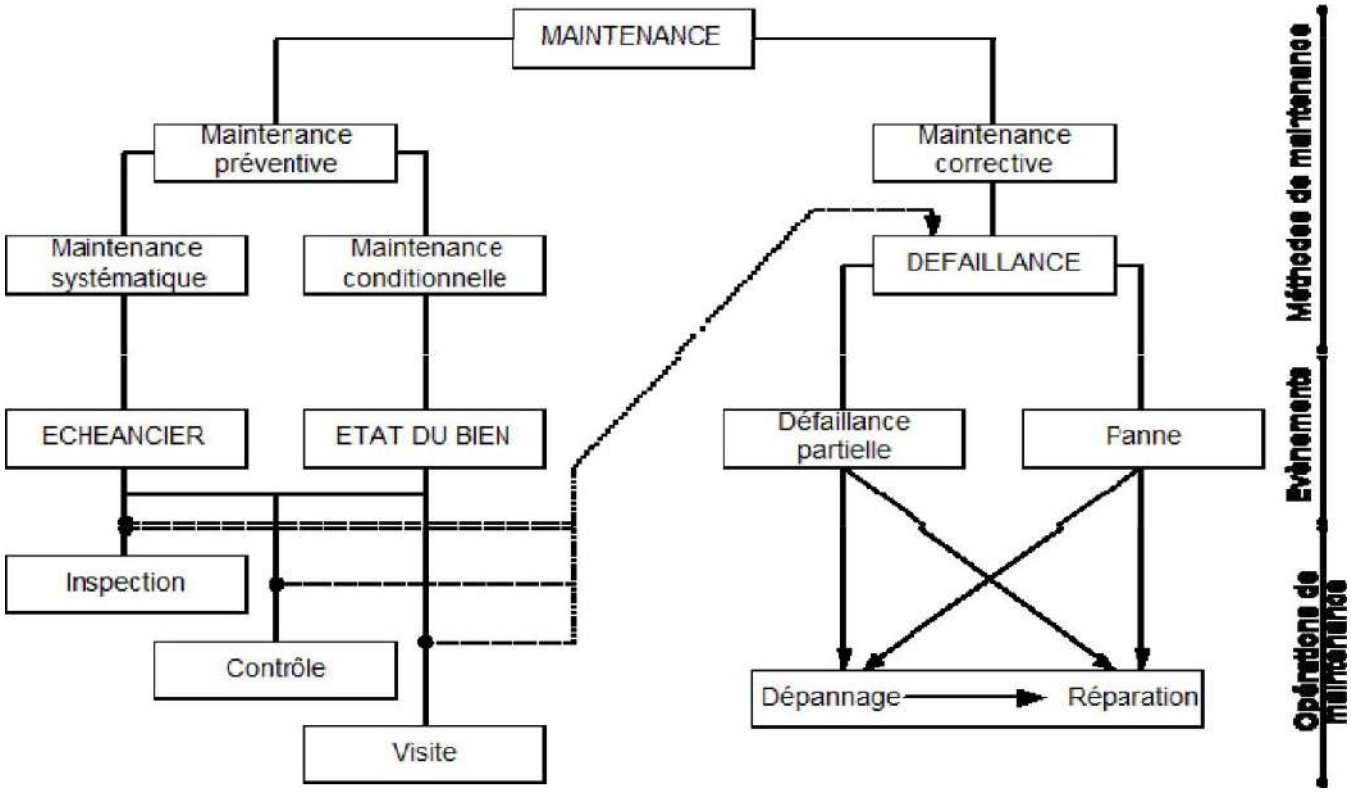


Figure 2 : Les méthodes de maintenance selon la norme NF X 60-000 [1]

9. Les niveaux de maintenance

Les opérations à réaliser sont classées, selon leur complexité, en cinq niveaux. Les niveaux prix en considération sont ceux de la norme NF X-60-010. [1]

9.1. 1er Niveau

Réglages simples prévus par le constructeur au moyen d'éléments accessibles sans aucun démontage ou ouverture de l'équipement, ou échanges d'éléments consommables accessibles en toute sécurité, tels que voyants ou certains fusibles, etc.

Ce type d'intervention peut être effectué par l'exploitant du bien, sur place, sans outillage et à l'aide des instructions d'utilisation. Le stock de pièces consommables nécessaires est très faible.

9.2. 2ème Niveau

Dépannages par échange standard des éléments prévus à cet effet et opérations

mineures de maintenance préventive, telles que graissage ou contrôle de bon fonctionnement

Ce type d'intervention peut être effectué par un technicien habilité de qualification moyenne, sur place, avec l'outillage portable défini par les instructions de maintenance, et à l'aide de ces mêmes instructions.

On peut se procurer les pièces de rechange transportables nécessaires sans délai et à proximité immédiate du lieu d'exploitation.

9.3. 3ème Niveau

Identification et diagnostic des pannes, réparations par échange de composants ou d'éléments fonctionnels, réparations mécaniques mineures, et toutes opérations courantes de maintenance préventive telles que réglage général ou réalignement des appareils de mesure.

Ce type d'intervention peut être effectué par un technicien spécialisé, sur place ou dans le local de maintenance, à l'aide de l'outillage prévu dans les instructions de maintenance ainsi que des appareils de mesure et de réglage, et éventuellement des bancs d'essais et de contrôle des équipements et en utilisant l'ensemble de la documentation nécessaire à la maintenance du bien ainsi que les pièces approvisionnées par le magasin

9.4. 4ème Niveau

Tous les travaux importants de maintenance corrective ou préventive à l'exception de la rénovation et de la reconstruction. Ce niveau comprend aussi le réglage des appareils de mesure utilisés pour la maintenance, et éventuellement la vérification des étalons de travail par les organismes spécialisés.

Ce type d'intervention peut être effectué par une équipe comprenant un encadrement technique très spécialisé, dans un atelier spécialisé

9.5. 5ème Niveau

Rénovation, reconstruction ou exécution des réparations importantes confiées à un atelier central ou à une unité extérieure.

Par définition, ce type de travaux est donc effectué par le constructeur, ou par le

reconstructeur, avec des moyens définis par le constructeur et donc proches de la fabrication.

10.**L'intérêt de maintenance**

Les intérêts de la maintenance sont :

- Diminuer les travaux urgents.
- Faciliter la gestion de la maintenance.
- Favoriser la planification des travaux.
- Rendre possible la préparation, l'ordonnancement et la gestion des stocks
- Eviter les périodes de dysfonctionnement avant panne, ainsi que les dégâts éventuels provoqués par une panne intempestive.
- Augmenter la sécurité. [6]

11.**La sécurité**

La sécurité est l'ensemble des méthodes ayant pour objet, sinon de supprimer, du moins de minimiser les conséquences des défaillances ou des incidents dont un dispositif ou une installation peuvent être l'objet, conséquences qui ont un effet destructif sur le personnel, le matériel ou l'environnement de l'un et de l'autre.

Sachant qu'un incident mécanique, une panne, peuvent provoquer un accident, sachant aussi que la maintenance doit maintenir en état le matériel de protection ou même que certaines opérations de maintenance sont elles-mêmes dangereuses, il apparût que la relation entre la maintenance et la sécurité est particulièrement étroite.

12.**Conclusion**

Dans ce chapitre, nous avons défini la maintenance et ses méthodes, puis nous avons exposé les opérations de la maintenance curative et de la maintenance préventive systématique d'une part et les techniques de la maintenance préventive conditionnelle d'autre part. A la fin, nous avons vu les différentes tâches de la maintenance. Dans le prochain chapitre, nous étudierons les différentes techniques de contrôle non destructif.

Chapitre II Contrôle Non Destructif

Chapitre II Contrôle Non Destructif

1. Introduction

La maintenance joue un rôle incontournable dans le contrôle de qualité du produit, elle est considérée comme une technique d'organisation et de gestion.
Dans le domaine pétrolier, les équipements de forage travaillent dans des conditions dures de température, de pression, de vibration, et agents chimiques agressifs (la boue…),…etc. Ces conditions génèrent des défaillances simples et critiques, ce qui rend nécessaire de prévoir les pannes avant leur occurrence. Actuellement, le contrôle non destructif a atteint une maturité industrielle grâce à
L'évolution et la perfection des logiciels de simulation numérique [7]. D'autre part, cette Évolution est encouragée par les différents secteurs (aéronautique, nucléaire, métallurgie..) qui Se sont trouvés devant la nécessité de se doter des techniques les plus sophistiquées pour se renseigner de l'état de santé, des caractéristiques physiques et géométriques des différents matériaux sans les détruire [8].

L'appellation Contrôles Destructifs (CND) ou Essais Non Destructifs (END) Non fait naturellement penser au diagnostic que le médecin formule lors de l'examen de son patient.
Le même principe appliqué aux pièces mécaniques consiste à mettre en œuvre des méthodes d'investigation pour permettre d'apprécier *sans destruction*, l'état de santé des pièces et de formuler un avis sur leur aptitude à remplir la fonction à laquelle elles sont destinées.
Dans la pratique, les spécialistes en CND chargés de l'inspection sont confrontés à des problèmes d'interprétation de résultats de contrôles par rapport à des critères établis en liaison avec le concepteur de la pièce. Dans cet esprit, la définition suivante des CND apparaît proche de la réalité industrielle : Il s'agit de « qualifier, sans nécessairement quantifier, l'état d'un produit, sans altération de ses caractéristiques ».
CND : ensemble des procédés d'examen de pièces qui permet de s'assurer de l'absence de défauts qui pourraient nuire à leur tenue en service**.**
L'exécution de cette tâche nécessite une bonne connaissance des techniques d'investigation mises en œuvre, de leurs limites et surtout, une adéquation parfaite entre le pouvoir de détection de chaque technique et les critères appliqués pour la mise en œuvre [9].

2. Les stades de contrôle

On peut considérer que le contrôle non destructif d'un produit ou d'un objet peut être effectué à trois stades différents de sa vie :

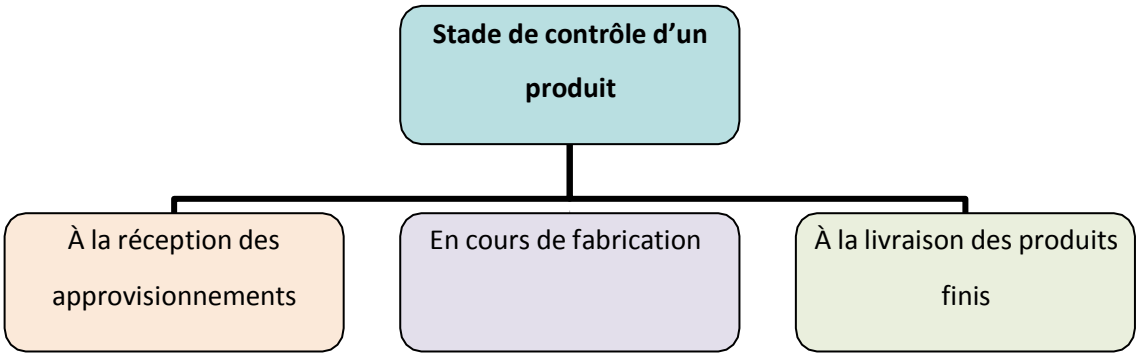


Figure 3:Les stades de contrôle

2.1. Le contrôle de réception

Le contrôle de réception d'un lot de pièces, d'une installation, d'un ouvrage au moment de la livraison a pour but de respecter de conformité à des spécifications de qualité définies auparavant.

2.2. Le contrôle en cours de fabrication

Le contrôle en cours de fabrication est un outil de contrôle d'un procédé souvent automatisé et impliquant alors un appareillage installé àdemeure en ligne de fabrication présentant une grande robustesse, une réaction rapide, un coût d'exploitation faible et une bonne fiabilité. Les défauts recherchés sont ici généralement bienidentifiés, le fonctionnement est automatique aboutissant à un repérage ou un tri des produits défectueux. [10].

2.3. Le contrôle de produit fini

Ce contrôle s'effectue sur pièces ou produitsfinis

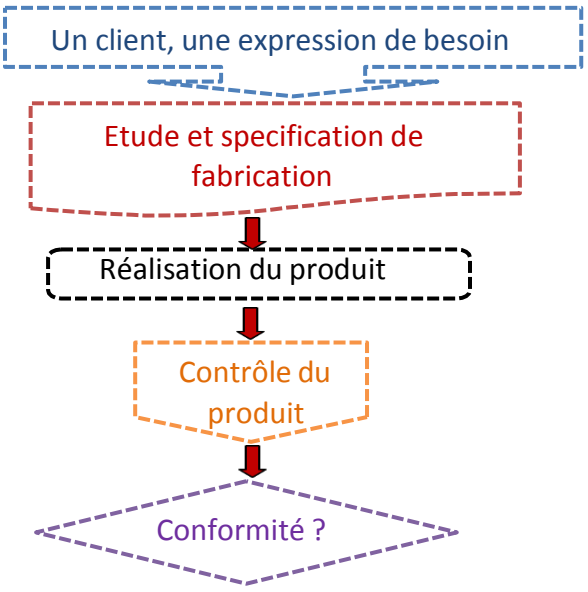


Figure 4: Le contrôle de produit

3. Origines et classifications des défauts

3.1. Origines de défauts

Un objet (pièce, installation, machine) peut contenir des défauts qui ont plusieurs origines :

- la méthode et le procédé d'élaboration de brut (soudage, laminage, forgeage, moulage, …),
- les conditions de service (chargement, température, nombre d'heures de fonctionnement …),
- les traitements thermiques (trempe, …).

Les défauts peuvent être de type surfacique (externe) ou de type volumique (interne) [10].

3.2. Classification des défauts

3.2.1. Défauts dus au soudage

Il existe plusieurs types de défauts de soudure ainsi que différentes méthodes pour les prévenir et les corriger.

- **Soufflures :** Ce sont des défauts creux, généralement sphériques, formés par la présence degaz. Quant aux piqûres, ce sont plus précisément des soufflures débouchantes

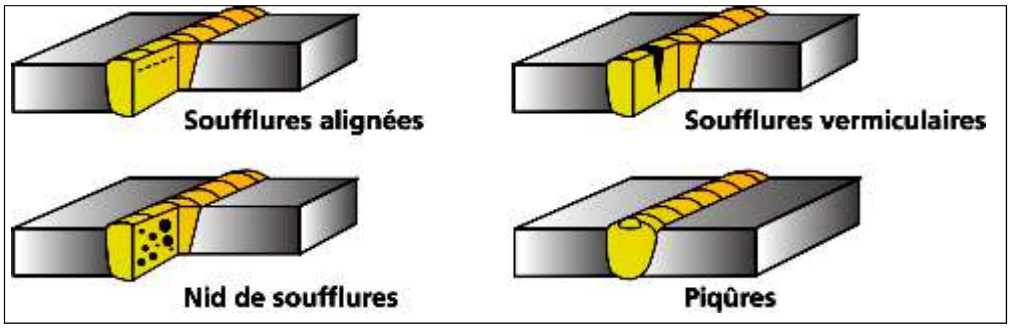


Figure 5: Défauts dus à la soudure

(en surface).

- **Fissurations :** Les fissurations constituent l'un des défauts de soudure les plus fréquents. Elles sont causées par la présence de tensions internes trop importantes à l'intérieur du métal soudé.

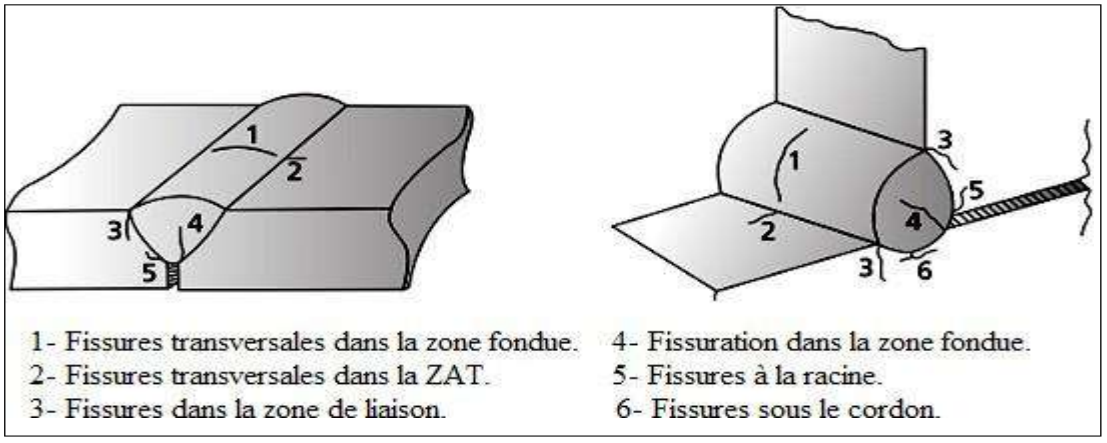


Figure 6 : Les fissures dans les soudures

	Moyen de prévention	
Fissuration à chaud	• **Joint trop étroites.** • **Présence d'impuretés dans la soudure(souffre, phosphore).** • **Métal d'apport incompatible avec lemétal de base.** • **Cordon trop petit.** • **Trop de retrait durant ou après lesoudage.**	▪ **Bonne mesure des angles des chanfreins.** ▪ **Préchauffage et chauffage en cours de soudure.** ▪ **Bon choix du métal d'apport** ▪ **Refroidissement lent.** ▪ **Traitement thermique aprèssoudage.** ▪ **Cordon suffisamment large.**
Fissuration à froid	• **Hydrogène coincé dans la soudure.** • **Tension internes résiduellesimportantes.**	▪ **Préchauffage et chauffage en cours de soudure.** ▪ **Refroidissement lent.** ▪ **Utilisation d'électrodesbasiques.** ▪ **Traitement thermique après** **udage.**

Table 1:Causes et Moyen de prévention de Fissuration

- Inclusions solides ou inclusions de laitier,

Type d'inclusion	Description
Inclusion solide	**Corps solide étranger emprisonné dans le métal fondu (ex : poussières).**
Inclusion de laitier	**Résidu de laitier emprisonné dans le métal fondu.**
Inclusion d'oxyde	**Oxyde métallique emprisonné dans le métal fondu au cours de solidification.**
Inclusion métallique	**Particule de métal étranger emprisonnée dans la masse du métal fondu(ex : le tungstène lors du soudage TIG, le cuivre et tout autre métal étranger).**

Table 2:Type d'inclusion

- Manque de fusion ou collage.
- Manque de pénétration.

3.2.2. Défauts dus au moulage

Défaut	scription	Origine	Remèdes
Cloques (bulles, soufflures ...)	isonnement d'air (ou de gaz) dans le métal qui se dilate lors de la libération de la pièce de son empreinte	- Temps de remplissagetrop long. - Température dedémoulage tropélevée. - Peau de pièce trop fine qui ne peut résister à la pression des bulles d'air à proximité et qui tendent à accroître leur volume (température)	- Viser un temps mini ulement pulvérisé et nonen jet. - Abaisser la température du moule ou attendre plus longtemps avant le démoulage. - Modifier le tracé la position del'attaque ou l'angle d'écoulement.
Criques (fissures)	ation de fissures (principaleme ntdans les angles)	- Retrait différentié dumétal provoquant des contraintes (tensions divergentes) dans le métal.	- Veiller à l'uniformité des épaisseurs des parois (éviderde la matière si nécessaire). - Arrondir les angles.
Retassures	Retraits visibles àla surface de la pièce qui se forment à la solidification du métal.	- Différence dans le refroidissement de certaines parties de lapièce.	- Compenser l'effet de retrait parune pression maintenue du piston en fin d'injection. - Vérifier au préalable lapression d'injection. - Evider, enlever de la masse.
Gouttes froides (repli)	ure incomplète apparaissant lorsde la jonction de parties dumétal liquide.	- Division du jet lors duremplissage de l'empreinte. - Température tropfaible du moule.	- Modifier l'emplacement del'attaque; - Prévoir des talons de lavage - Augmenter la température dumoule et/ou la vitesse de remplissage.
Bavures	ès de matière au plan de joint dela pièce.	Pression trop importante provoquantune ouverture du plan de joint au-delà de 4/10 éme de mm.	- Réduire la pression ou - Augmenter la force defermeture ou - Régler le plateau mobile.
Pelage (écaillage)	ition d'écailles à la surface de la pièce.	Arrachement de parties de peau lors dudémoulage. □ peau trop fine □ points chauds dans lemoule	

Table 3:Défauts dus au moulage

3.2.3. Défauts dus au forgeage

- **Déchirure:** dans le cas d'un cylindre forgé, il peut être décrit comme une fissure en forme d'étoile située au cœur la pièce et orientée selon l'axe de forgeage. Il est dû à un forgeage à une température très basse, ce défaut est très rare. [10].

- **Replis:** défaut situé en périphérique de la pièce parallèlement à la surface.
- **Tapure: lors du Défauts dus aux traitements thermiques**

hauffage ou de refroidissement brusque, les contraintes thermiques qui ne peuvent pas être absorbées par la pièce engendrent des chocs thermiques trop importants et créent des fissures consécutives. Les tapures de trempe sont des fissures externes débouchant résultant d'un refroidissement très rapide de la pièce. [10].

4. Techniques de contrôle

Technique	Application
Ressuage	**Recherche des défauts de surfaces**
Magnétoscopie	**Recherche des défauts de surfaces et sous-jacents**
Ultrason	**Recherche des défauts internes** **Mesures d'épaisseurs de parois**
Radiographie	**Recherche des défauts internes**
Courants de Foucault	**Mesure de l'épaisseur de revêtements** **Examen de tubes et faisceaux tubulaires**
Thermographie infrarouge	**Détection de défauts thermiques**

Table 4:Techniques et Application De contrôle

5. LES METHODES COMMUNES :

Les CND peuvent s'effectuer selon les méthodes suivantes :

- Procédés optiques
- Ressuage
- Particules magnétiques
- Radiographie
- Courants de Foucault
- Ultrasons

5.1. L'examen visuel

5.1.1. Compétences nécessaires

L'examen visuel permet d'aider le contrôleur à choisir la technique la plus adaptée en CND pour des examens approfondis.

La formation et l'expérience du contrôleur sont très importantes :

- la connaissance des méthodes de fabrication et d'assemblage et leurs possibles défauts : défaut de coulée ou de forge, de cintrage, défaut de soudure …
- la connaissance des contraintes apparaissant en service (corrosion, fatigue, fluage…).
- la connaissance d'autres techniques CND pour des contrôles plus profonds en addition du contrôle visuel (détection des défauts cachés et dimensionnement).
- la formation doit être adaptée au secteur : aéronautique, centrale thermique et nucléaire, industrie... [11].

5.2. Equipements

- Le boroscope ou fibroscope est un appareil permettant de voir dans des endroits extrêmement petits et difficiles d'accès. Il est constitué de fibres optiques situées dans un câble et permettant de visualiser une image située à l'extrémité de celui-ci. [11].



Figure 7: appareil endoscope

5.3. Le ressuage

5.3.1. Définition

Le ressuage une méthode de contrôle non destructif dont le but est la détection et la localisation de défauts ouverts et débouchant en surface sur tous métaux et certains matériaux non métalliques (céramiques, matières plastiques…).

Cette méthode repose sur la capacité de certains liquides à pénétrer, puis à ressuer par capillarité, dans ces discontinuités géométriqu La capillarité ou la force capillaire caractérise l'aptitude d'un liquide en contact avec un solide à sedéplacer par rapport à ce solide[11].

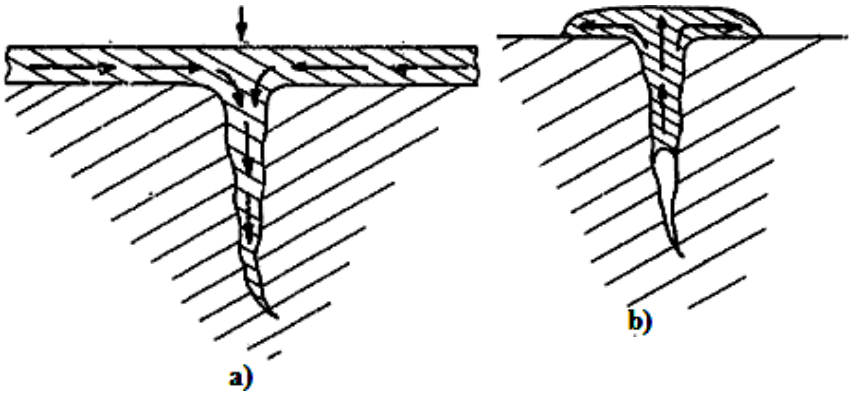
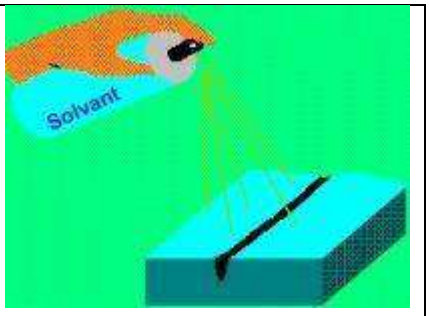
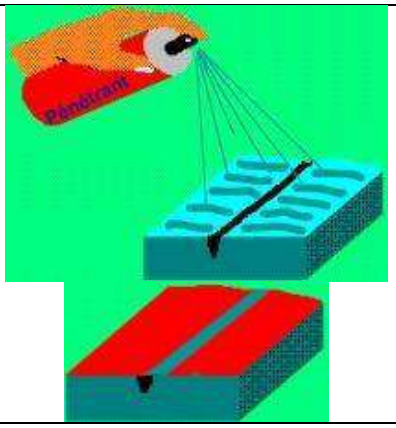


Figure 8: L'examen des soudures par ressuage

- Introduction du pénétrant dans les discontinuités par capillarité,
- Phénomène de ressuage après élimination de l'excès de pénétrant.

5.3.2. Principe de ressuage

Le ressuage comporte 6 étapes [11].

a- Le nettoyage de la surface à contrôler : La méthode consiste à appliquer un pénétrant de faible tension superficielle (de bonne capillarité) sur la surface de la pièce : • Par meulage, • Par brossage, • Par dégraissage (chimique ou en phase vapeur)	
b- L'application du pénétrant sur la surface à contrôler : On laisse au pénétrant un certain temps de sorte qu'il puisses'introduire dans les discontinuités aboutissants à la surface.	
c- L'élimination de l'excès de pénétrant : On élimine ensuite le pénétrant sur la surface mais cette opération laisse cependant en place la partie qui à réussie à s'infiltrer dans les discontinuités. On utilise dans cette opération : • Un chiffon sec et propre et non pelucheux, • L'eau suivi ou non d'un séchage, • Un solvant.	

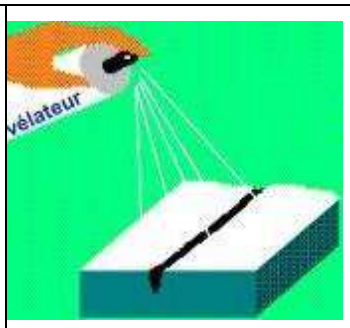
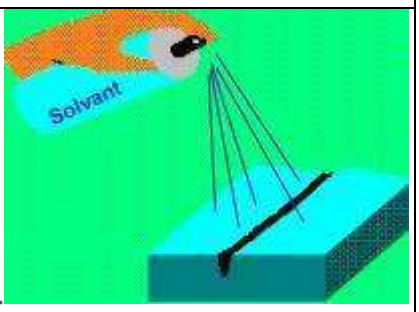
Application du révélateur : **Un révélateur, produit opaque et absorbant est appliqué sur la surface, le pouvoir absorbant du révélateur fait que le pénétrant quia réussi à s'infiltrer dans les discontinuités est alors aspiré vers la surface et y laisse une trace. Cette trace à cause de la diffusion du pénétrant dans le révélateur, est toujours plus importante que la discontinuité**	
Interprétation des résultats : **L'efficacité de cette méthode de contrôle repose sur la possibilité de détecter les indications de discontinuité afin d'améliorer cette détectabilité, le pénétrant contient en général :** • **un produit coloré visible à la lumière blanche (lumière dujour).** • **ou un produit fluorescent visible à la lumière noire (ultra violet).** **Une estimation grossière de la fissure peut être faite grâce à la largeur de l'étalement du pénétrant sur le révélateur.**	
Nettoyage final : **Un nettoyage final est préconisé pour certains matériaux (alliages d'aluminium. alliage de magnésium) pour lesquels la présence des produits utilisés peut entraîner des corrosions.**	

Table 5: Procédure générale de contrôle par ressuage [11].

Exemple d'une pièce avant (à gauche) et après (à droite) le contrôle par ressuage.





5.4. Types et significations des indications

5.4.1. Types d'indications

Toute apparition du pénétrant indique en principe la présence d'une discontinuité sur la surface.

Les indications peuvent être classées en trois types:

- Les vraies indications : se sont les seules indications soumises à une évaluation, elles ont pour origine les discontinuités non prévues à la conception de la pièce ou non justifié par les conséquences normales des procédés de fabrication.
- Les indications parasites: il s'agit d'indications résultantes des discontinuités existantréellement mais dont ont connaît l'origine qui est d'ordre conceptuel.
- Les fausses indications: elles sont en général pour origine une élimination incomplète de pénétrant restant en surface, l'absence d'indication est aussi une fausse indication (dégraissage incomplet de la pièce, présence de poussière, …) [11].

5.4.2. Significations des indications

Les indications observées en ressuages peuvent être regroupées en 5 types :

- Forme arrondie: indications d'origine les défauts surfaciques de forme sphérique, (soufflure, piqûre, structure poreuse de la pièce…).
- Ligne continue: indication d'origine les fissures, les replis de forge, les rayures.
- Ligne discontinue: indication apparaît lorsque la pièce subit une préparation mécanique ou toute autre opération qui peut enfermer une partie d'un défaut débouchant.
- Tache ponctuelle: indication apparaissant surtout lors de contrôle des pièces moulées, elle est d'origine la nature poreuse de la pièce, des piqûres, ou de la structure grossière de la pièce.
- Tâche diffusée: présence de micro-pore dans les pièces. [11].

5.5. Avantages et inconvénients

Avantages	Inconvénients
- **Mise en œuvre possible sur organes montés dans un ensemble.** - **Très grande fiabilité.** - **Grande souplesse d'adaptation en fonction de la géométrie des pièces et de leur état de surface.** - **Interprétation aisée des indications des iscontinuités révélées.** [11].	- **Nécessité d'une bonne préparation dessurfaces à contrôler.** - **Domaine de températures à respecter.** - **Nécessité de travailler proprement.** - **Effluents liquides à traiter.**

Table 6: Avantages et inconvénients de contrôle par ressuage [11].

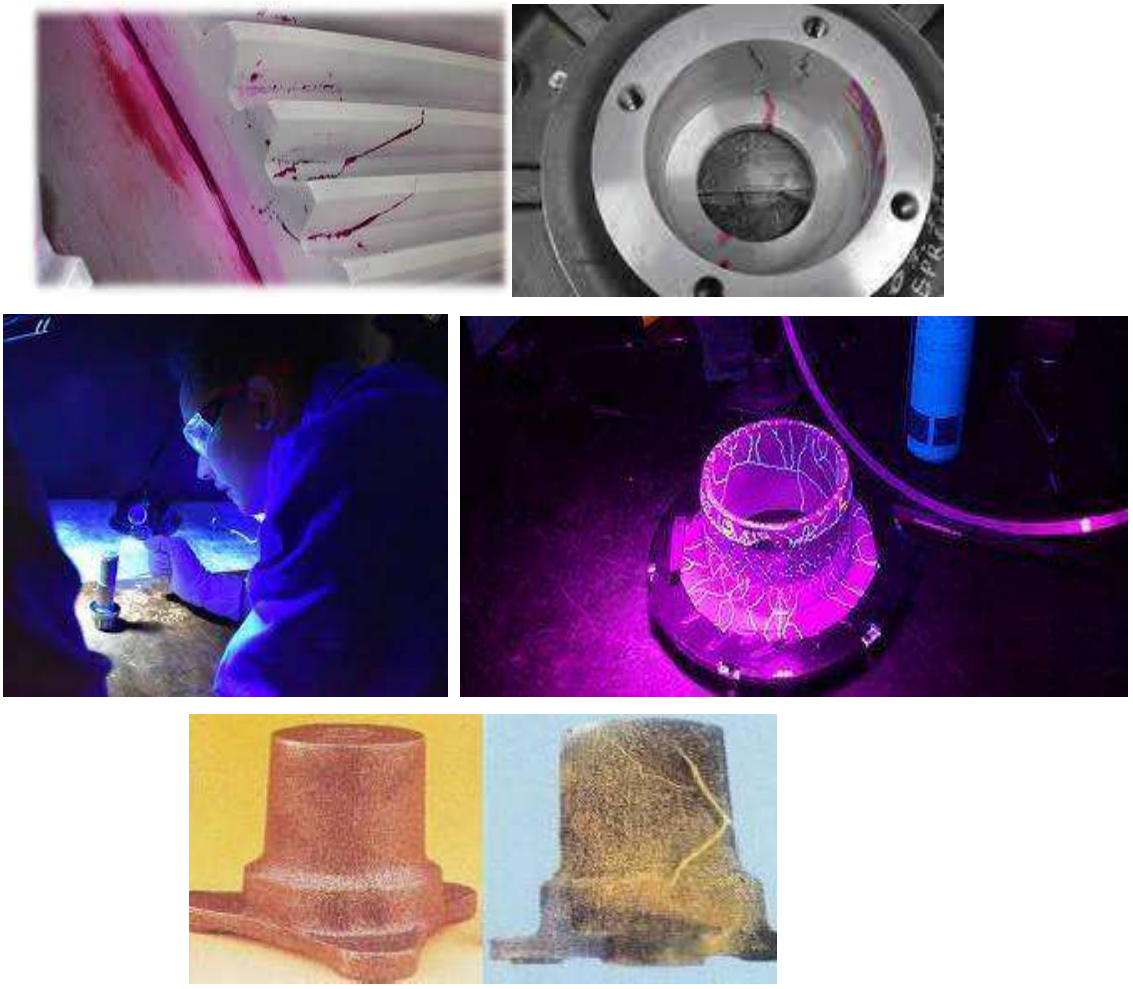


Figure 9: Exemples de pièces contrôlées par ressuage

5.6. La magnétoscopie

5.6.1. Définition

La norme **NF A09-590** définit la magnétoscopie comme suit:

"L'examen magnétoscopie consiste à soumettre la pièce ou une partie de la pièce à un champ magnétique de valeur définie en fonction de la pièce. Les discontinuités superficielles provoquent à leur endroit des fuites magnétiques qui sont mise en évidence par des produits indicateurs déposés à la surface de la pièce. L'image magnétique obtenue est observée dans des conditions qui dépendent du produit indicateur utilisé."

Le contrôle par magnétoscopie permet la détection de défauts superficiels débouchant ou sous- jacents dans les matériaux ferromagnétiques.

Un matériau est dit ferromagnétique si lorsqu'il est soumis à un champ magnétique de 2400 A/m il présente une induction d'au moins 1 Tesla **(NF A 09-125 de Janvier 1982)**. En effet un champ magnétique élevé ne peut s'obtenir que sur les matériaux ferromagnétiques. [12].

5.6.2. Matériaux ferromagnétiques

- le fer pur, - la fonte, - le nickel, - le cobalt, - les aciers moulés, forgés, - les aciers ordinaires au carbone, au silicium et faiblement alliés, - les aciers à 3,5 - 6 et 9% de nickel (martensitique et ferritique -	- les aciers ferritiques au chrome,…et globalement tous les matériaux sensibles à l'action d'un aimant. **Par contre**, les aciers austénitiques, les aciers à 12% de manganèse, les aciers à 17% de chrome, 4% de nickel, 1% de molybdène mais aussi l'aluminium, le cuivre, le titane, le magnésium, le laiton, le bronze, le plomb et leurs alliages ne sont pas considérés comme ferromagnétiques à cause de leur perméabilité magnétique trop faible.

Table 7:Parmi les matériaux courants on peut considérer comme étant ferromagnétique

5.1. Principe de la méthode

Mise en présence d'un champ magnétique, la pièce ferromagnétique à examiner est parcourue par des lignes de forces. Lorsque ces lignes de force rencontrent un défaut dans la pièce, elles ne le traversent pas, mais la perturbation ainsi produite se transmet aux lignes de forces adjacentes et se propage jusqu'aux lignes proches de la surface de la pièce. Ces dernières vont alors "fuir" à l'extérieur, créant un champ local dénommé " champ de fuite" au droit du défaut [12].

5.1.1. Phase d'excitation

C'est la phase initiale qui consiste à soumettre la pièce à l'action du champ magnétique. Trois paramètres importants sont à prendre en considération dans cette phase :

- la nature du champ magnétique,
- l'intensité du champ magnétique,
- la direction du champ magnétique [12].

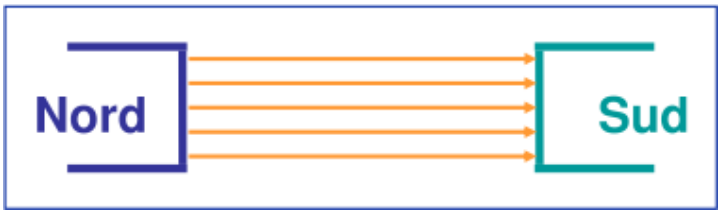


Figure 10: L'EXCITATION Champ magnétique

5.1.1.1. La nature du champ magnétique : On peut rencontrer, suivant les installations utilisées, les formes d'ondes suivantes : monophasée sinusoïdale, monophasée redressée simple ou double alternances, triphasée redressée simple ou double alternances. La forme d'onde utilisée réagit essentiellement sur la pénétration des lignes d'induction dans la section de la pièce se qui agit sur la précision de détection des défauts. [12].

5.1.1.2. L'intensité du champ magnétique : Ce paramètre influe sur les conditions d'aimantation du matériau : une valeur trop élevée provoque la saturation de l'induction dans le matériau, ce qui n'est pas souhaitable. [12].

5.1.1.3. La direction du champ magnétique : La sensibilité est optimale lorsque la direction est perpendiculaire à la direction présumée du défaut. C'est pourquoi on réalise généralement un contrôle suivant deux directions de champ orthogonales. [12].

5.1.2. Phase de perturbation

C'est la phase la plus complexe car elle traduit l'interaction entre le matériau, le défaut et le champ excitateur. Les paramètres à prendre en considération dans cette phase sont les suivants :

- nature ferromagnétique du matériau,
- géométrie de la pièce,
- géométrie et position du défaut,
- nature du milieu constitutif. [12].

5.1.2.1. **<u>Nature ferromagnétique du matériau :</u>** La courbe d'évolution de la perméabilité magnétique relative en fonction du champ magnétique est une caractéristique propre du matériau, présentant un maximum pour une valeur précise du champ excitateur : c'est pour cette valeur maximale que l'efficacité de la méthode est la plus grande. Dans la pratique, un compromis est adopté autour de cette valeur. [12].

5.1.2.2. **<u>Géométrie de la pièce :</u>** La carte des lignes d'induction dans la pièce, ou son voisinage immédiat, est influencée par le profil de la pièce. [12].

5.1.2.3. **<u>Géométrie et position du défaut :</u>** La perturbation des lignes d'induction, localement à l'aplomb de défaut conduit à un gradient d'induction dont l'intensité est fonction de la largeur du défaut, de sa profondeur et de sa position sous la surface. [12].

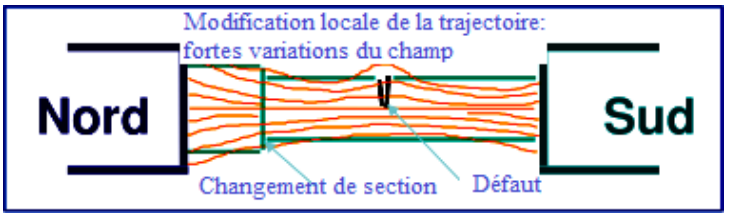


Figure 11: LA PERTURBATION Défaut de la surface

5.1.3. Phase de révélation

Le mécanisme mis en jeu dans cette phase résulte d'un équilibre des forces auxquelles sont soumises les particules de révélateur : force due à la pesanteur, force due à l'action mécanique de projection et force magnétique due au gradient local d'induction. Cette dernière force dépend du volume de la particule et de son aimantation.

En d'autres termes, les paramètres influençant la formation du spectre sont les suivants

- nature ferromagnétique des particules,
- volume et géométrie des particules,
- valeur locale de l'induction à l'aplomb du défaut.

L'efficacité globale de la méthode est étroitement liée à la maîtrise des paramètres évoqués dans ces trois phases et du jugement apporté par l'opérateur qui se trouve confronté à l'interprétation des spectres obtenus :

- seule l'appréciation de la longueur du défaut est possible,
- un doute subsiste dans certains cas critiques sur la distinction entre le défaut réellement préjudiciable et l'effet géométrique ayant engendré un spectre sans caractère de nocivité [12].

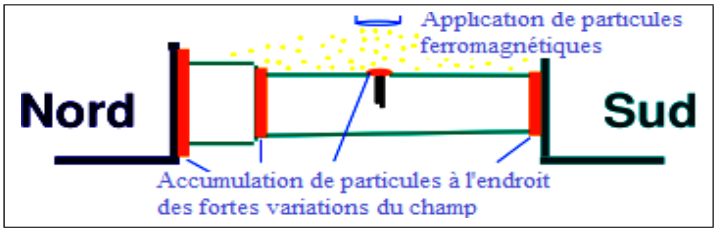


Figure 12: LA REVELATION Accumulation de particules magnétiques Eclairage

5.2. La radiographie

5.2.1. Nature des rayonnements ionisants

Rayonnements de même nature mais d'origine différente, les rayons X et γ sont des ondes électromagnétiques de très courtes longueurs.

Les rayons X, créés par la collision d'électrons sur des atomes de matière, sont des ondes électromagnétiques, de même nature que la lumière visible ou les ondes radiophoniques, mais de longueur d'onde très courte, comprise entre 10^{-7} et 10^{-11} mètres, et dotées d'une grande énergie.

Ces longueurs d'onde de l'ordre de l'Angström (10^{-10} m), sont proches des distances inter-atomiques, ce qui permet le passage du rayonnement à travers la matière, alors qu'un rayonnement de plus grande longueur d'onde se trouve réfléchi par la surface du matériau étudié.

On caractérise couramment ces rayonnements par l'énergie unitaire E des photons associés, exprimée en électronvolts (eV). Si l'on exprime E en MeV et la longueur d'onde λ en pm, on tire de la relation du photon : $E = h*f$

Avec : W est exprimée en électron-volt,

h est la constante de Planck (h = 6.62 10^{-34}J.s),

f est la fréquence de l'onde.

La relation pratique : $E = \frac{1,24}{\lambda}$

Les énergies requises en contrôle non destructif se situent dans une gamme allant de 50 keV à 20 MeV.

Généralement, la fréquence f d'un phénomène périodique peut s'écrire : f = C / λ

Avec : C est la vitesse d'une onde électromagnétique (C = 2.998 10^{8} m.s^{-1}).

D'où, l'expression de l'énergie devient : $W = \frac{h*C}{\lambda}$

Par conséquent, l'énergie W sera plus importante si la longueur d'onde est plus faible.

Cela confère donc aux rayons X et aux rayons gamma l'aptitude de traverser des milieux solides puisqu'ils sont caractérisés par des énergies élevées qui sont comprises entre 10^{4} eV et 10^{9}eV pour les rayons X et $10^{5} < W < 10^{7}$eV pour les rayons gamma. [13].

5.2.2. Principe

La radiographie enregistre l'image formée par des rayons X qui sont plus ou moins absorbés lorsqu'ils traversent un objet. On obtient ainsi à la fois une représentation de la constitution interne (structure, armatures, assemblages, ...).

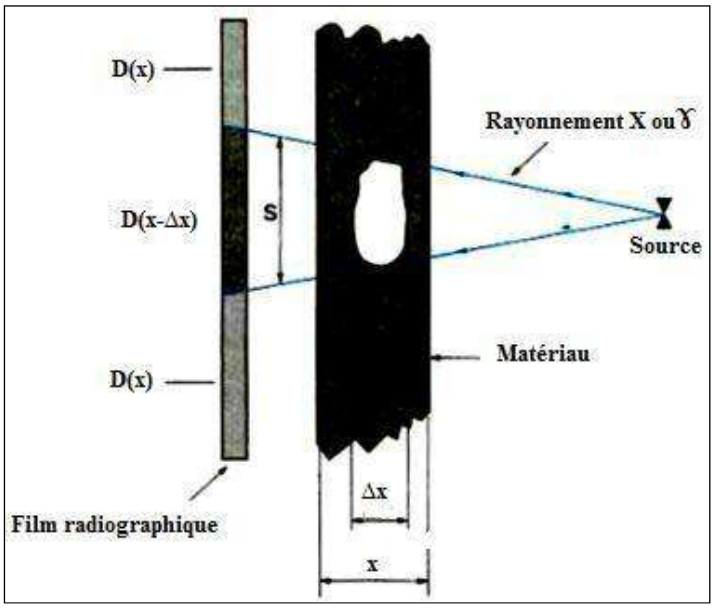


Figure 13: Principe de la Radiographie

Lors de la traversée de la matière par les rayons, les éventuels défauts contenus dans celle-ci constituent des obstacles qui absorbent plus aux moins le rayonnement. Les différences d'absorption peuvent être soit visualisées sur un écran fluorescent (par exemple : la radiographie utilisée dans le domaine médical), soit enregistrées sur un film spécial (cas de radiographie industrielle). [13].

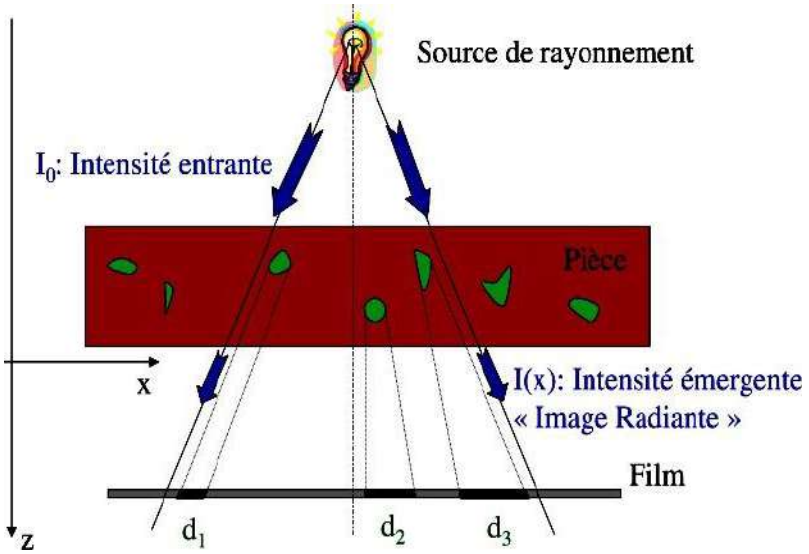


Figure 14: *2* **Principe de la Radiographie**

- La pièce est placée entre la source de radiation et le film.
- Plus le matériau traversé est dense, plus il absorbe le rayonnement.
- L'intensité de gris du film est proportionnelle à l'intensité du rayonnement.
- Impression, sur le film radiographique, de l'image du défaut.

5.2.3. Production des rayons X

L'enveloppe externe d'un générateur de rayons X est en général une ampoule de verre ou plus récemment une association métal-céramique, dans laquelle a été fait le vide. [13].

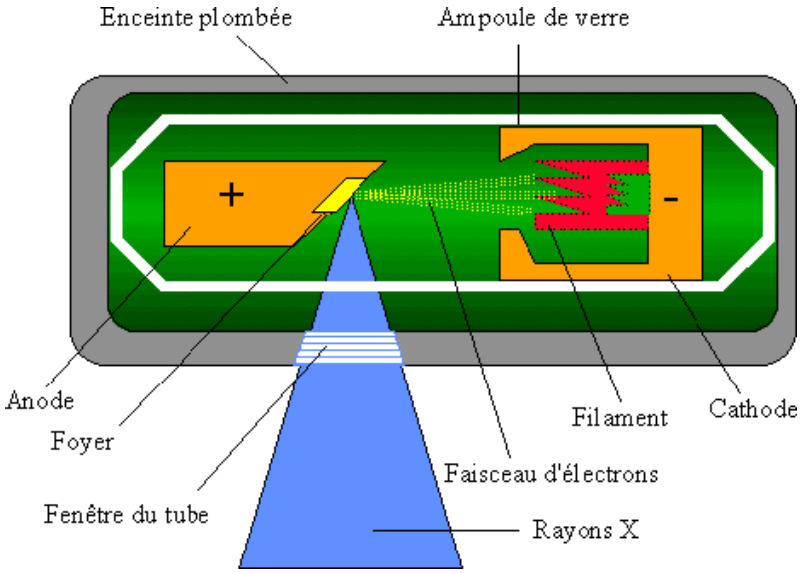


Figure 16:Production des rayons X Le tube à rayons X



Figure 15:Dispositif expérimental de production des rayons X.

Une cathode (-), constituée d'un filament métallique chauffé par le passage d'un courant de quelques milliampères, fournit des électrons mobiles facilement accélérés par une forte différence de potentiel (de quelques kilovolts à environ 450 kilovolts pour les générateurs les plus courants). [13].

Ce pinceau d'électrons heurte l'anode (+), en produisant principalement de la chaleur (99 %), mais aussi des rayons X.

Une **augmentation de la tension** appliquée entre l'anode et la cathode influe sur la qualité du rayonnement en entrainant:

- **un raccourcissement** des longueurs d'ondes.
- **un accroissement** de la pénétration du rayonnement par élévation de l'énergie des rayons X.

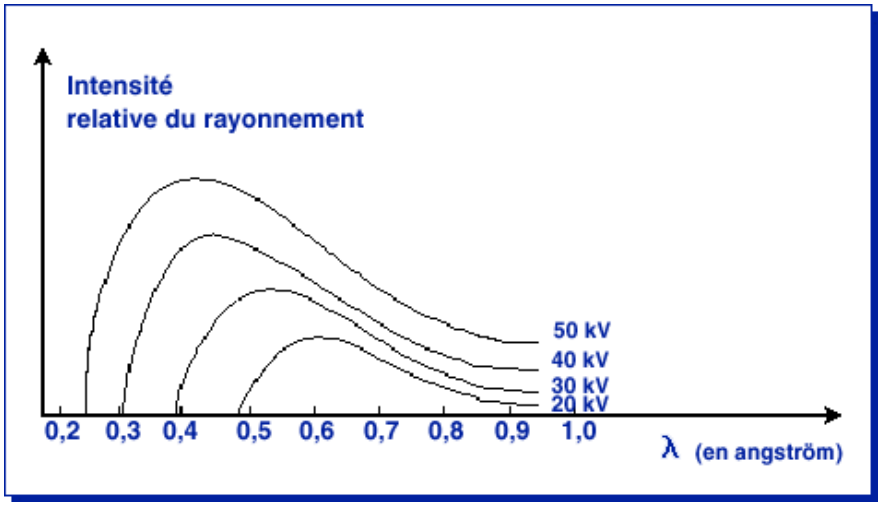


Figure 17: Variation du rayonnement en fonction de l'intensité appliquée à la cathode, pour une tension constante.

L'intensité de rayonnement émis augmente approximativement comme le carré de la tension d'excitation.

Les variations de l'intensité du courant de chauffage appliqué au filament de la cathode modifient la quantité des rayonnements émis, mais pas leur qualité: les longueurs d'ondes demeurent identiques.

Le noircissement obtenu sur le film dépend directement du produit du temps d'exposition par l'intensité du rayonnement, par exemple en radiographie médicale l'unité d'exposition utilisée est le mAs (produit des milliampères par les secondes), pour d'autres applications (radiographie industrielle) le mAm (produit des milliampères par les minutes). Certains matériels travaillent à intensité fixe, seuls varient le temps d'exposition et la tension. [13].

5.2.4. Formation de l'image radiographique

Les rayons X sont issus d'une petite surface de l'anode appelée foyer. Ils se propagent en ligne droite et ne sont pas déviés par des champs magnétiques.

Ils sont très difficilement réfractés, sauf par des dispositifs extrêmement complexes. L'image radiographique est donc formée uniquement par la projection conique des rayons à partir du foyer, sans utilisation d'un système optique.

- L'atténuation du rayonnement est fonction du carré de la distance parcourue entre la source et le film radiographique.
- La netteté de l'image dépend de la distance entre la source, l'objet et le film, de l'épaisseur de l'objet, des dimensions du foyer, et aussi de l'absence de mouvement de l'objet, du film et de la source de rayonnement. [13].

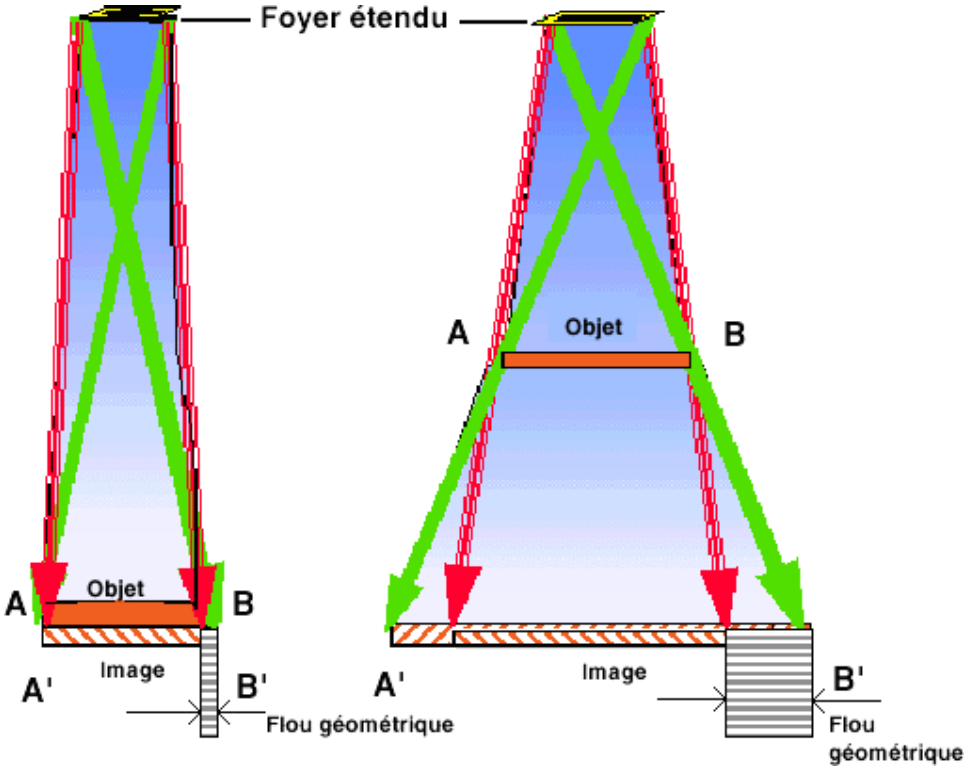
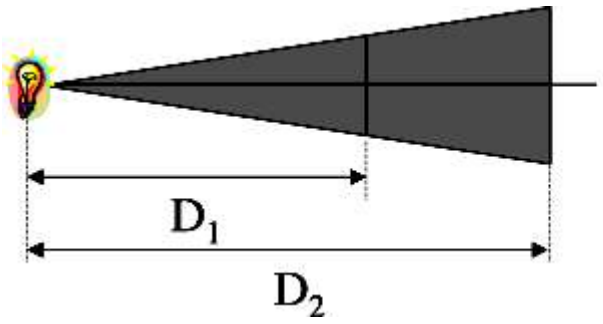


Figure 18: Principe de l'atténuation des rayons X

☑ Lorsque le film est en contact direct avec l'objet, l'image A'B' est de même grandeur que l'objet (image de gauche).

☑ L'éloignement de l'objet vers la source de rayons X augmente la taille de l'image (image de droite), mais abaisse sa netteté à cause de l'étendue du foyer (comprise en général entre0,6 mm au carré et 3 mm au carré), les rayons X issus des points extrêmes du foyer donnent des images éloignées d'un point de l'objet.



$$\frac{E_2}{E_1} = \left(\frac{D_1}{D_2}\right)^2$$

Figure 19: l'image dépend de la distance entre la source, l'objet et le film,

☑ L'image est considérée comme nette lorsque le flou géométrique maximal (l'étendue de la pénombre) est d'environ 0,2 mm.

☑ L'image suivante montre que la diminution des dimensions du foyer par l'utilisation d'un tube à micro-foyer (typiquement 0,015 mm au carré) rend négligeable le flou géométrique et permet de forts agrandissements directs de l'image.

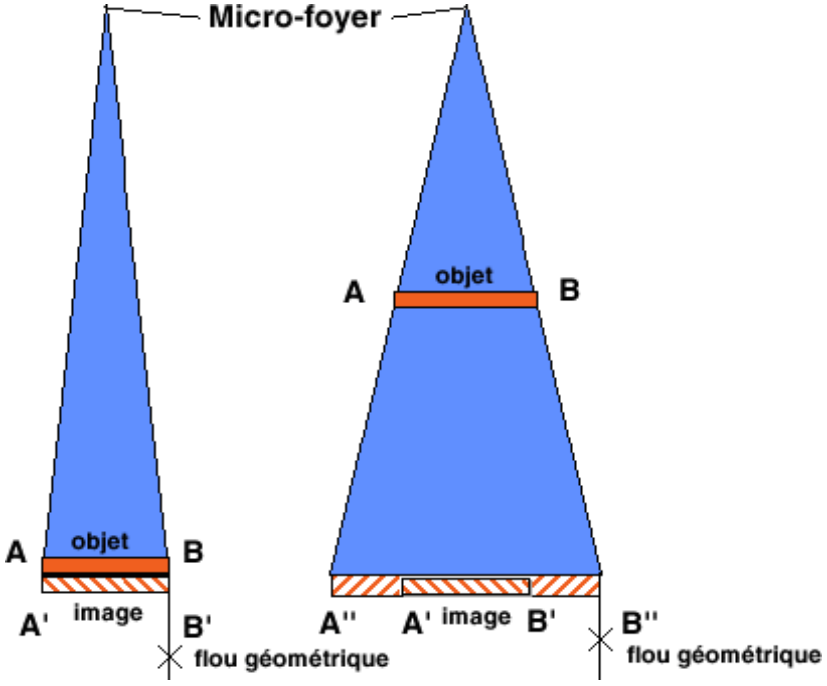


Figure 20: Flou Géométrique Ou Le Flou Des Bords De L'image

◈ L'absorption du rayonnement est proportionnelle à l'épaisseur de matière traversée, et à une puissance du numéro atomique de l'élément traversé. Ainsi un objet composé d'un unique matériau sera de plus en plus opaque aux rayons X quand son épaisseur augmentera.

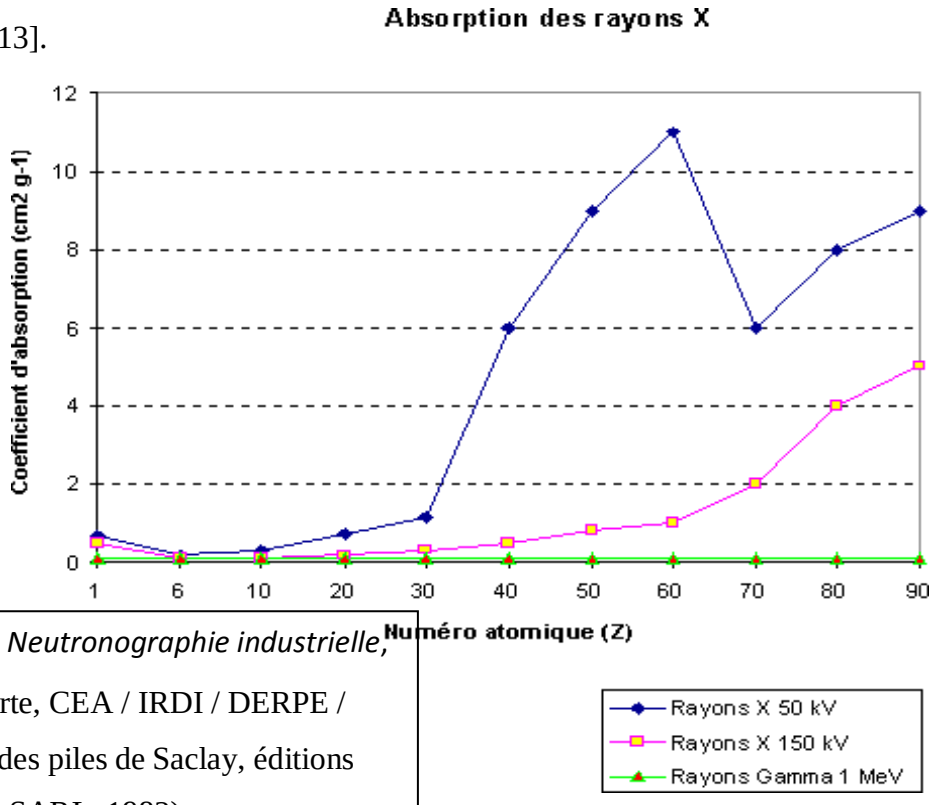
5.2.5. Enregistrement de l'image radiographique

5.2.5.1. Paramètres d'influence

L'image radiographique est formée par les modulations du faisceau émergent résiduel de rayons X ayant traversé l'objet. Les paramètres à prendre en compte pour l'exposition sont :

- **la tension**, mesurée en kilovolts (kV), elle règle l'énergie du rayonnement et donc sapénétration dans la matière,
- **l'intensité**, en milliampères (mA), et le temps, dont le produit détermine la quantitétotale de rayonnements reçus par l'objet,
- **la distance** séparant la source de rayonnements du récepteur,
- **la sensibilité** du récepteur
- la présence éventuelle de **filtration** dans le faisceau, d'**écrans renforçateurs** disposés contre le film,
- **la nature de l'objet** (numéro atomique des éléments constitutifs), et son (ou ses) épaisseurs(s).

La plus importante restriction dans l'emploi de la radiographie est la mauvaise discrimination de deux éléments de numéro atomique très proches. Ce phénomène provient du fait que la distribution de l'absorption du rayonnement ne présente pas de discontinuité entre un élément et ses voisins immédiats. On constate sur la courbe suivante la constance du coefficient d'absorption des rayons X, et les variations de plus en plus affirmées pour des rayons X de plus basse énergie. [13].



(d'après *Neutronographie industrielle*, A. Laporte, CEA / IRDI / DERPE / Service des piles de Saclay, éditions Papillon SARL, 1982).

Figure 21: Coefficient d'absorption (cm2 g-1)

5.2.5.2. Visualisation et enregistrement de l'image radiographique

Il existe trois moyens complémentaires de visualiser et d'enregistrer l'image radiographique :

5.2.5.3. le film radiographique

C'est un film photographique spécial, muni d'une forte épaisseur d'émulsion sensible, très chargée en halogénures d'argent. Il est généralement bicouche (une demi-émulsion sur chaque face) pour faciliter le développement de l'image. Plus l'énergie du rayonnement est élevée, plus l'oxydation des sels métalliques contenus dans l'émulsion photographique est importante, et le noircissement du film important. [13].

5.2.5.4. la radioscopie

La fluorescence d'écrans sensibles aux rayons X forme l'image visible de l'objet. Cette image était naguère observée directement derrière l'écran, ce qui était très dangereux pour l'observateur non protégé, et a entraîné au début du siècle de nombreuses maladies chez les radiologues (nécrose des mains par exemple), et même plusieurs décès. De nos jours, cette image est reprise par une caméra de télévision, l'observation se fait donc loin des rayonnements dangereux. L'écran fluorescent constitue souvent la face d'entrée d'un amplificateur de brillance, dans lequel les électrons produits à la surface de l'écran par les rayons X sont accélérés puis transformés en lumière visible par un écran phosphorescent qui fournit une image lumineuse à l'objectif de la caméra. Cette amplification diminue fortement les doses de rayonnement nécessaires. L'image de l'écran peut être enregistrée sur bande magnétique, imprimée, ou numérisée. [13].

5.2.5.5. la numérisation directe

Un capteur sensibilisé aux rayons X transforme l'intensité du rayonnement en valeur numérique. Deux voies parallèles existent :

- les **capteurs** en forme de **barrette**, qui nécessite l'exploration de la surface de l'image par défilement soit de l'objet, soit du support de la barrette,
- les **capteurs plans**, en forme de **matrice**, qui analyse en bloc la surface de l'image. Une voie détournée consiste à effectuer la numérisation d'après un film radiographiquedéjà existant, ou en sortie de la radioscopie télévisé [13].

5.3. Les ultrasons

5.3.1. Définition

Les ultrasons sont des vibrations mécaniques de la matière fluide ou solide, de même nature que les sons, dont la fréquence est supérieure au domaine audible d'une oreille humaine normale (16Hz à 16KHz).

Le phénomène initial du son ou d'un ultrason est toujours produit par un corps élastique animé de vibrations mécaniques dus par exemple à un choc (diapason), à une impulsion électrique (tonnerre)à un jet gazeux interrompues (sirène). [14].

16 Hz	Hz-----16.10^3 Hz	16.10^3Hz--150.10^6 Hz	Plus que 150.10^6 Hz
frasons sons	Zone audible	Ultrasons	Hyper sons

Table 8 : Les ultrasons sont des vibrations (16 Hz à 16 KHz).

5.4. Notion d'onde

5.4.1. Définition

Les sons d'une manière générale sont des ondes élastiques, elles ne se diffèrent entre eux que par leurs fréquences.

On parle généralement d'onde lorsqu'il s'agit d'un phénomène qui se répète après un certain temps (T) appelé période.

- La fréquence (f) de réapparition du phénomène est donc donnée par l'inverse du temps $f = \frac{1}{T}$
- L'espace parcourue par l'onde pendant un cycle ou une période est dit longueur d'onde ($\lambda = V \times T = \frac{V}{f}$)

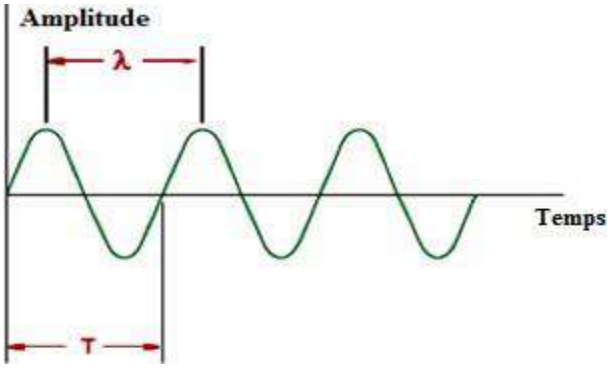


Figure 22: Représentation des vibrations du son (sinusoïde).

En contrôle non destructif, pour qu'on puisse détecter un défaut, il faut que celui-ci ait une taille au moins égal à λ/2. C'est pourquoi, on utilise des fréquences élevées, comprises en général entre 1 et 20 MHz. [14].

Application

Calculer l'ordre de grandeur du plus petit défaut décelable dans un morceau d'acier pour ces deux fréquences. Données : V_{acier}= 5900 $m.s^{-1}$

5.4.2. Types d'ondes

On distingue trois types d'onde :

Onde longitudinale ou de compression : la direction des vibrations des particules est parallèle à la direction de propagation de l'onde.

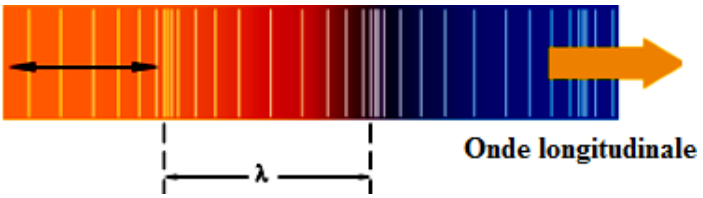


Figure 23: Onde longitudinale ou de compression

- ✓ Onde transversale ou de cisaillement : la direction des vibrations des particules estperpendiculaire à la direction de propagation de l'onde.



Figure 24: Onde transversale ou de cisaillement

Onde de surface : ondes obtenues par superposition des deux ondes longitudinale ettransversale parallèle à la surface du solide.

Sur la figure suivante, on illustre les trois types d'onde :

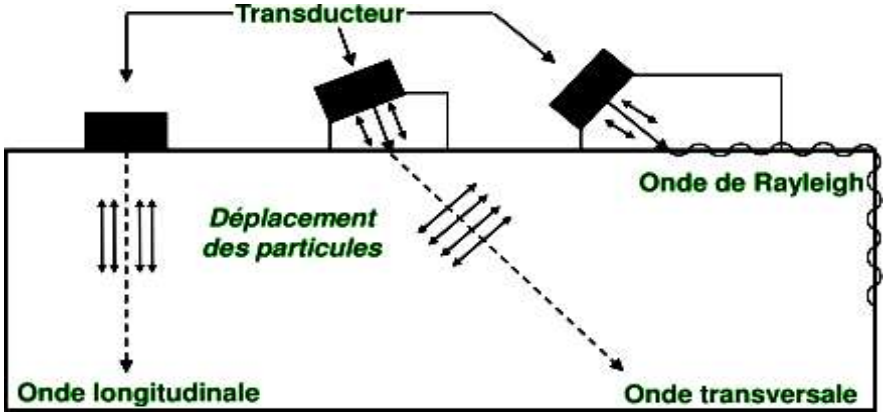


Figure 25: Types d'ondes et modes de propagation des ultrasons dans un solide

5.4.3. Vitesse de propagation :

La vitesse de l'onde dépend de la nature de matériaux que la transporte et de type d'onde :

- ✓ **Onde longitudinale :**

$$V_L = \sqrt{\frac{E(1-\nu)}{\rho(1+\nu)(1-2\nu)}}$$

E : Module d'Young (module d'élasticité) du matériau N/m².

ρ : Masse spécifique du matériau (Kg/m^3).

ν : Coefficient de Poisson.

- ✓ **Onde transversale :**

$$V_T = \sqrt{\frac{E}{2\rho(1+\nu)}}$$

E : Module d'Young (module d'élasticité) du matériau N/m².

ρ : Masse spécifique du matériau (Kg/m^3).

ν : Coefficient de Poisson.

- ✓ **Onde de surface :**

Vs = 0,9 ×Vt.

◈ **Application**

5.4.3.1. Calculer la vitesse de propagation des ondes ultrasonores dans l'acier, en onde longitudinale, onde transversale et onde de surface.

On donne : E = 21 10^{10} N /m² ρ = 7,8 10^3 Kg/m^3 ν = 0,28

5.4.3.2. Calculer la vitesse de propagation des ondes ultrasonores dans l'aluminium, en ondelongitudinale, onde transversale et onde de surface.

5.5. LES COURANTS DE FOUCAULT

C'est une méthode de contrôle qui consiste à créer, dans un matériau conducteur, un courant induit par un champ magnétique variable. Ces courants induits, appelés **courants de Foucault**, circulent localement, à la surface du matériau. La présence d'une discontinuité à la surface de la pièce contrôlée perturbe la circulation des courants,

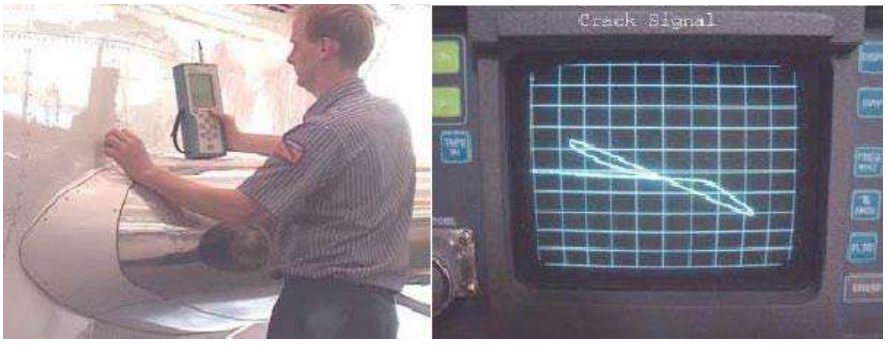


Figure 26: Mesure par courants de Foucault sur une pièce

entraînant une variation de l'impédance apparente de la sonde de mesure.

5.10.1.1. Génération des courants :

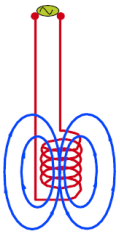
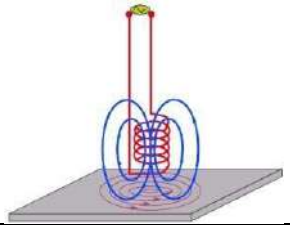
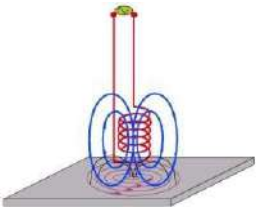
Pour générer des courants de Foucault, une sonde est utilisée. À l'intérieur de cette sonde setrouve un solénoïde.	**Ce solénoïde est alimenté avec une source de tension alternative.**	**flux magnétique alternatif est donc produit dans et autour du solénoïde.**
		
qu'une plaque conductrice est exposée à une portion de ce flux magnétique alternatif, un courant alternatif est induit dans la plaque.Ce courant est, en fait, un courant de Foucault.		**circulant, les courants de Foucault produisent leur propre flux magnétique (fluxsecondaire). n la loi de Lenz, le sens des courants de Foucault fait en sorte que le flux secondaire s'oppose au flux initial.**
		

Table 9: Principe des courants de Foucault – mesure sur matériau métallique. [14].

5.10.2. DETECTION DE DEFAUTS :

5.10.2.1. – Principe simplifié de l'instrumentation :

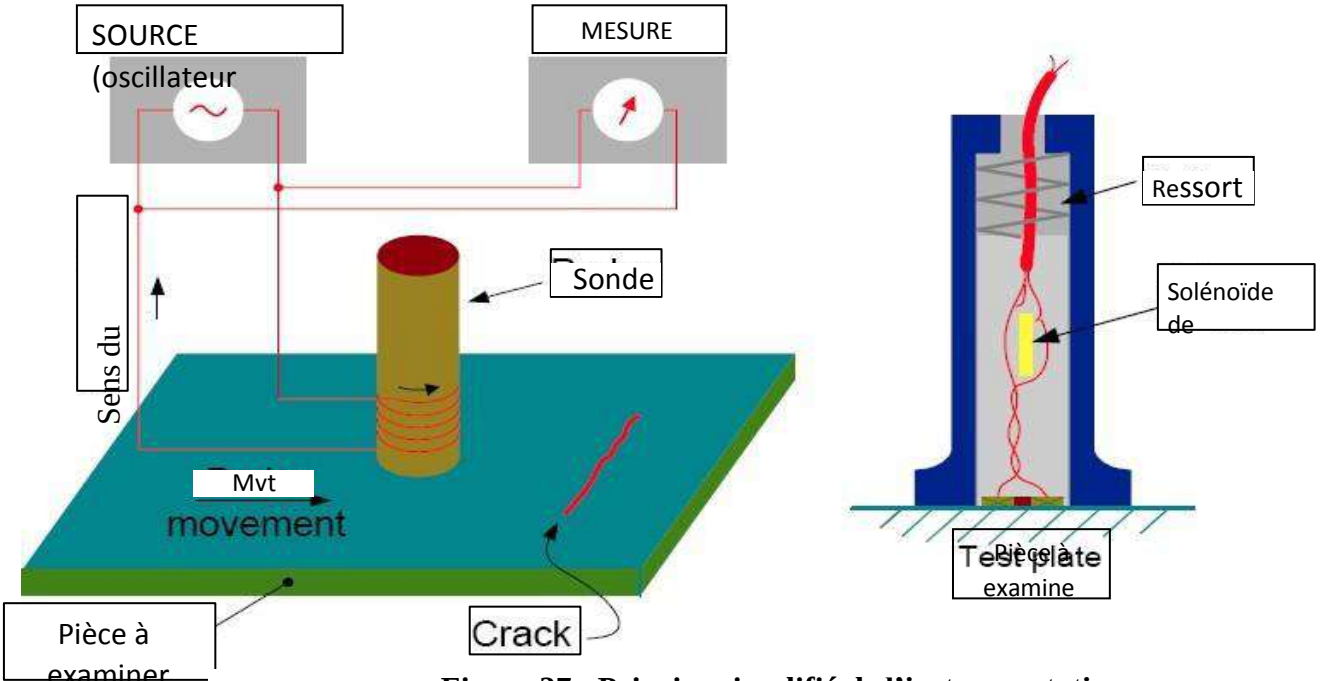


Figure 27 : Principe simplifié de l'instrumentation :

5.10.2.2. **Principe de la détection :**

rincipe est basé sur la perturbation par le défaut du champ magnétique créé par courants de Foucault

courant alternatif « I » circulant dans la bobine crée un champ H.

courants de Foucault « Ic » créés dans la pièce (conductrice) par H créent un champ « Hc », opposé à H.L'équilibre est modifié par la présence d'un défaut qui

urbe la distribution des courants de Foucault dans la e.

variation est détectée en mesurant l'impédance de la bobine.[14].

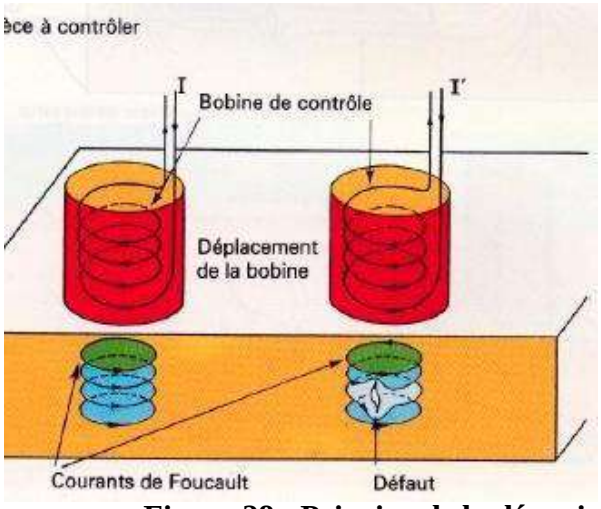


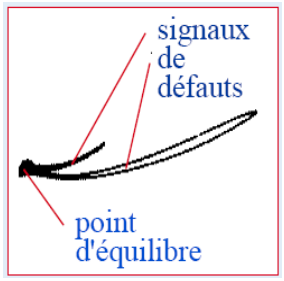
Figure 28 : Principe de la détection

5.10.3. **La mesure en mode absolu :**

bine d'examen est une branche d'un pont d'impédance alimenté par un oscillateur. Le pont est équilibré en l'absence de défaut.

ssage de la sonde devant un défaut provoque l'apparition d'un signal dans le plan complexe.

litude du signal est liée au volume de matière affecté par le défaut ; la phase est liée au type de défaut et à sa profondeur.



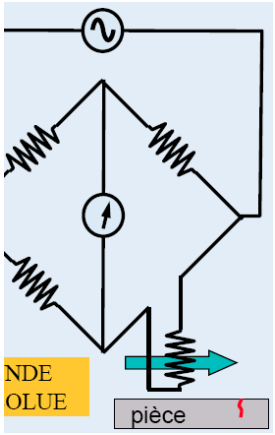


Figure 29:La mesure en mode absolu

5.10.3.2. **La perturbation**

La trajectoire des courants induits dans la pièce est perturbée par des variations locales de la géométrie ou par desvariations des caractéristiques électromagnétiques du matériau.

La perturbation locale des lignes de courant provoque une modification du champ magnétique induit, s'opposant ainsi àchaque instant au champ magnétique d'excitation.

Il en résulte alors une modification de l'impédance du capteur. Cette modification d'impédance est en général synonyme de présence d'un défaut.

Il résulte de ces principes de perturbation 3 applications différentes des CND par courants de Foucault :

- Détection des défauts superficiels ou légèrement sous jacents
- Mesure d'épaisseurs de revêtements

Tris de nuances[14].

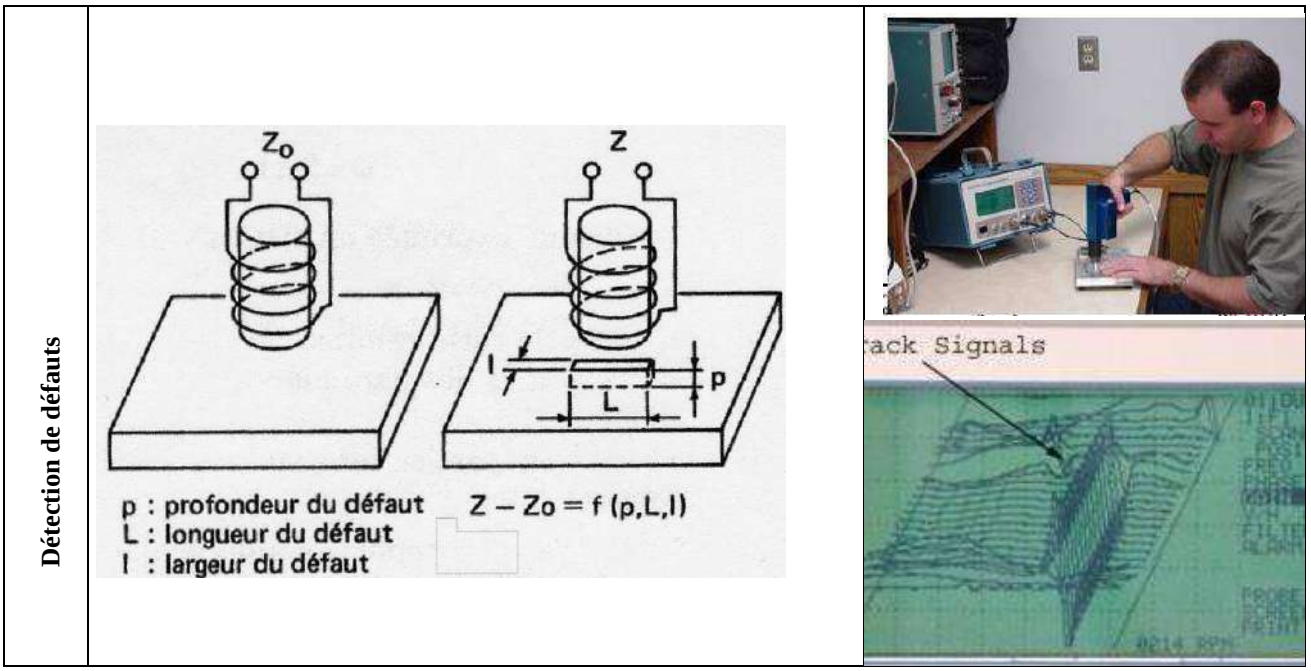


Figure 30 : Détection de défauts

6. Conclusion

Après avoir rappelé brièvement la nature, le but et le domaine d'application du contrôle non destructif, nous avons tout d'abord évoqué les grands principes de détection des défauts et les bases physiques qui gouvernent les procédés et leur performance. Nous avons ensuite décrit plus en détail les principes physiques, la réalisation et la mise en œuvre des 6 principales familles de procédés du contrôle non destructif, à savoir : les procédés optiques, le ressuage, les procédés par flux de fuite, les procédés par courants de Foucault, les procédés radiographiques et connexes, enfin les procédés de contrôle par ultrasons. Nous avons volontairement passé sous silence les procédés de contrôle d'étanchéité qui, bien que traditionnellement rattachés au domaine des essais non destructifs, se rapportent pour l'essentiel à la technique du vide . Il en va de même pour les techniques de l'émission acoustique qui font l'objet d'un article complet et de la thermographie infrarouge [15].

Chapitre III analyse des lubrifiants industriels

1. Introduction :

Le pétrole existe depuis plus de dix mille ans et les premiers ancêtres ont découvert différentes manières d'adoucir leur dernière invention : la roue. L'ajout d'huile à la roue a facilité le processus de pousse et les gens ont expérimenté différents revêtements. Ils ont commencé avec des huiles d'animaux, en particulier des graisses de cerf grillées et des porcs bouillis, avant de passer aux huiles végétales.

C'était même la prise de connaissance que des gisements d'or noir pouvaient produire du pétrole brut, ce qui fait une révolution sur la production de véhicules.

Lorsque les voitures sont devenues plus courantes au début des années 1930, les constructeurs automobiles ont compris la nécessité de normaliser leurs voitures. La Society of Automotive Engineers des États-Unis d'Amérique a commencé ce processus en se concentrant sur l'huile moteur et a décidé de classer les huiles en fonction de la viscosité ou de la vitesse du liquide.[16]

2. Rôle des lubrifiants :

Les lubrifiants ont plusieurs fonctions principales :

1. Réduire les frottements dans les machines et par conséquent économise l'énergie, l'énergie de frottement étant intégralement dissipée en chaleur. La réduction du coefficient du frottement entraine la diminution des températures de fonctionnement des mécanismes.
2. Combattre l'usure des surfaces frottantes sous toutes ses formes et les protéger contre la corrosion et la rouille.
3. Refroidir les machines en évacuant la chaleur produite dans le contact.
4. Contribuer à l'étanchéité aux gaz, aux liquides et aux contaminants solides.
5. Garder propre les surfaces et les circuits en évacuant les produits indésirables(poussières, débris d'usure, …).
6. Transmettre l'énergie dans les systèmes hydrauliques.
7. Absorber les chocs et réduire le bruit.
8. Contrôler l'oxydation pour prévenir des changements de viscosité [17].

3. Différents types de lubrifiants

On peut distinguer les lubrifiants selon leur origine : animale, végétale, minérale ou synthétique, ou selon leur présentation, liquide, pâte ou solide.

3.1. Lubrifiants d'origine animale :

Ils sont constitués essentiellement d'esters résultant de la combinaison d'acides gras avec la glycérine. Ce sont souvent des *« ancêtres »* mais certains entrent encore dans diverses compositions.

3.2. Lubrifiants d'origine végétale :

Ce sont en général des combinaisons d'acides gras peu ou pas estérifiés. Certains sont encore largement utilisés en addition dans les huiles de pétrole ou dans les graisses

3.3. Lubrifiants d'origine minérale : (Les huiles de base)

Les huiles minérales proviennent de la distillation du pétrole brut. D'un prix peu élevé, elles présentent des performances *« moyennes »*.

Le procédé d'obtention de ces huiles n'est pas parfait : les molécules obtenues sont de tailles différentes, ce qui nuit à l'homogénéité de l'huile et limite ses possibilités d'application. Des produits indésirables restent également dans cette huile de base *(paraffines, solvants légers…).*

Les huiles minérales sont, et de très loin, les plus utilisées aussi bien dans les applications automobiles qu'industrielles.

3.4. Les huiles de synthèse ou synthétiques

Dans le cas de l'huile synthétique, on fabrique la molécule dont on a précisément besoin, si bien que l'on obtient une huile de base dont le comportement est voisin de celui d'un corps pur. En créant un produit dont les propriétés physiques et chimiques sont prédéterminées, on fait mieux que la nature.

On rajoute ensuite les additifs nécessaires pour répondre à un service voulu. Ces huiles ont des performances élevées, en particulier pour des objectifs et des conditions de service difficiles.

Ces huiles elles offrent des performances supérieures :

1. indice de viscosité plus élevé.
2. meilleure tenue thermique.
3. meilleure résistance à l'oxydation

4. Les additifs

Les additifs peuvent stimuler les propriétés existantes, supprimer des propriétés indésirables et introduire de nouvelles propriétés dans les fluides de base [19].

4.1. Additifs améliorant d'indice de viscosité :

Ce sont des polymères qui, introduits à faible concentration dans une base lubrifiante entraînent une augmentation relative de la viscosité plus importante à haute qu'à bassetempérature et qui, par conséquent augmentent l'indice de

viscosité du lubrifiant sans modifier défavorablement les autres propriétés essentielles**.**

Les produits généralement utilisés sont des polyméthacrylates, des polycrylates et des polymères d'oléfines.

Il faut cependant mentionner que ces polymères utilisés comme additifs ont des masses moléculaires élevées et sont relativement fragiles, ils peuvent se dégrader d'une part sous l'effet de sollicitations mécaniques telles que les contraintes de cisaillement, par rupture de la molécule et d'autre part sous l'effet de température soit par thermo oxydation soit par dépolymérisation [20].

4.2. Additifs de point d'écoulement :

A basse température, le cisaillement des paraffines modifie les propriétés rhéologique dulubrifiant qui tend à solidifier, les additifs de point d'écoulement sont donc utilisés pour lutter contre la solidification, ils agissent sans doute par absorption en diminuant la taille des cristaux de paraffine, ou en modifiant la forme cristalline qui évolue vers une structure en aiguilles et en réduisant l'adhésion entre les cristaux. Les produits utilisés appartiennent aux quatre familles suivantes alkyl aromatiques, les posters, les polyamides et les polyléfines.

4.3. Additifs antioxydants :

Ces produits ont pour rôle de ralentir et si possible de supprimer les phénomènesd'oxydation du lubrifiant, ils agissent de très différentes façons :

- Par blocage du processus des destructions en captant les radicaux libres des chaînesmoléculaires, ces produits sont généralement des phényles et des amines.

- Par désactivation des peroxydes qui se forment lors du phénomène de détérioration,ces composés sont des dithiophosphates et des dithiocardamates.

- Par désactivation des ions métalliques et par formation d'un film protecteur sur lessurfaces afin d'éliminer l'action catalytique des métaux, ces additifs sont des phénates.

4.4. Additifs détergents et dispersants :

L'action de ces additifs s'effectue essentiellement par adsorption sur les surfaces métalliques afin d'éviter l'adhérence des dépôts et par adsorption sur les particules en suspension dans l'huile pour maintenir leur dispersion.

Les produits utilisés sont soit des organo-sels de métaux alcolino terreux tels que les sulfonâtes, les théophosphates et les phénat, soit des succins imides plutôt utilisées comme dispersants.

4.5. Additifs anti-usure :

Les additives anti-usures sont utilisés dans de nombreuses huiles de lubrification pour réduire les frottements, l'usure, dans des conditions de lubrification limite, lorsque les films de lubrification ne peuvent pas être maintenues. Comme le film d'huile devient progressivement plus mince en raison de charges croissantes ou de températures, le contact à travers le film d'huile est d'abord fait par l'irrégularité de surface ou aspérités. De ce fait, le frottement augmente et la soudure peut se produire.

Deux catégories d'additifs sont utilisées pour empêcher tout contact métallique, selon la gravité de ces exigences. Les additifs anti-usures et les réducteurs de frottement, parfois appelés additifs de lubrification limite, sont des matériaux polaires tels que les huiles d'acides gras, les acides, et les esters. Ce sont des matériaux à longue chaine qui forment un film adsorbé sur les surfaces métalliques avec les extrémités polaires des molécules attachées au métal et les molécules se projetant plus ou moins normale vers la surface. Le contact est alors entre les extrémités des couches de molécules sur les surfaces opposées. La friction est réduite, et les surfaces se déplacent plus librement les unes par rapport aux autres. L'usure est réduite dans des conditions douces de glissement, mais sous de sévères conditions, le glissement des couches de molécules diminue jusqu'à disparaitre, de sorte que leur effet de réduire l'usure est perdu [21].

4.6. Additifs extrême-pression (EP) :

Lorsque le lubrifiant fonctionne en régime hydrodynamique, le film d'huile est stable et il n'y a pas réellement de problème d'usure. Dans des conditions plus sévères, si les pièces se rapprochent et si le film se rompt, le frottement peut provoquer l'arrachement de métal. Les conditions extrêmes réchauffement

peuvent conduire à la soudure des pièces. Les additifs(EP) et anti-usure ont pour rôle de créer un lubrifiant solide par réaction avec la surface [22].

4.7. L'anti-mousse :

Dans la plupart des applications, les lubrifiants sont agités, ce qui provoque la formation de bulles d'air et de mousse, un moussage excessif de l'huile entraîne des défauts de lubrification et une oxydation précoce [23].

Alors on doit utiliser les additifs anti- mousse qui réduisent le moussage en diminuant la tension de surface du fluide et en facilitant la séparation des bulles de la phase liquide, ces additifs sont très peu solubles dans l'huile et sont donc présents en très petites quantités.

Les produits employés comme anti-mousse sont des silicones tels que le polydiméthylsiloxame (PDMS), ou des polyalkylméthacrylates (PAMA) [20].

5. Principales classification des huiles lubrifiantes

Les spécifications de viscosité peuvent être établies à deux fins :

1. Pour l'identification, ce sont alors des spécifications de raffinage ou de fabricationcomportant des tolérances plus ou moins larges.
2. Pour les applications, ce sont celles qui sont imposées par les utilisateurs en fonction de ladestination ou de l'usage des huiles.

Elles sont données par des fourchettes de viscosité, des maxima et des minima, àcertaines températures [18].

- **Classification ISO**

La classification internationale des huiles industrielles est la classification ISO VG dont chaque classe est repérée par un nombre entier qui correspond sensiblement à la viscosité cinématique en centistokes (mm^2/s) du lubrifiant à 40 °C.

6. MATERIELS ET METHODES

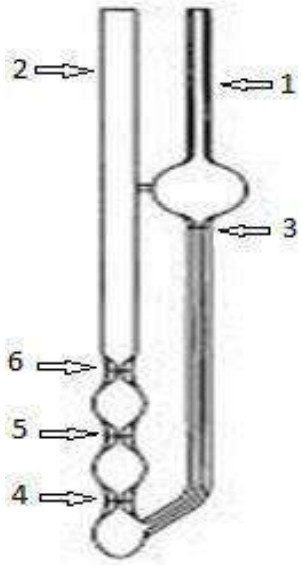


Figure 31 **:Viscosimètre à capillaire Cannon-Fenske**

6.1. Mode opératoire

- Préparer le viscosimètre Cannon-Fenske à tube ascendant, et plonger le tube avec capillaire (1) dans l'huile, pendant que l'on aspire au tube de ventilation (2) avec un tuyau flexible jusqu'à ce que l'huile atteigne le trait de remplissage (3).
- Fermer le tube de ventilation (2) avec un bouchon, puis accrocher le viscosimètre avecson support dans le bain viscosimétrique.
- Attendre un temps de 15 à 20min pour que l'huile atteigne la température du bain.
- Enlever le bouchon du tube de ventilation, et à l'aide d'un chronomètre mesurer le temps de passage du trait (4) jusqu'au trait (5), puis avec un autre chronomètre du trait

  (5) jusqu'au trait (6).
- Déterminer la viscosité cinématique en utilisant la relation suivante :

$$\mu = (C_1 \times t_1 + C_2 \times t_2)/2$$

C_1 et C_2 : sont des constantes fournies par le constructeur.t_1 et t_2 : sont les temps de passage[30].





Figure 32:Bain viscosimètrique à 100°C **Figure 33:Bain viscosimétrique à 40°**

6.1.1. Principe

Cette technique à pour objectif de mesurer le temps d'écoulement d'une bille àtravers une quantité de lubrifiant, elle est effectuée à une température de -15°C[30].

6.1.2. Appareillage

- Bille en verre.
- Eprouvette graduée de 500ml.
- Une balance.
- Un chronomètre.
- Un pied à coulisse.

6.1.3. Mode opératoire

- A l'aide de pied à coulisse, mesurer le diamètre de la bille.
- Peser la bille et l'éprouvette vide et noter les mesures.
- Verser une quantité mesurée d'huile dans l'éprouvette et noter la mesure.
- Mettre l'éprouvette équipée du thermomètre dans le congélateur.
- Lorsque la température atteint -15°C, démarrer le chronomètre et laisser tomber labille dans l'éprouvette au même moment dans le temps.

- Arrêter le chronomètre à l'instant où la bille atteint le fond du l'éprouvette et noter letemps parcouru.
- Peser l'éprouvette et l'huile ensemble et noter la mesure.
- Calculer la viscosité dynamique de l'huile on utilisant la

relation suivante :Viscosité= (2*(densité de la bille –

densité de l'huile)*g *r^ 2) / (9*V)

Où :

Densité de l'huile et la bille : en g/cm^3

V : vitesse moyenne de la bille en (cm/s)

g : L'accélération due à la gravité,

g= 9.81cm/ s^{2}r : le rayon de la

bille en cm

6.2. Indice de viscosité (D 2270)

6.2.1. Principe

L'indice de viscosité sert à caractériser la qualité de l'huile, plus l'indice est grand moins la viscosité varie en fonction de la température.

L'indice de viscosité est déterminé soit a partir des mesures des viscosités cinématiques effectuées respectivement à 40°C et à 100°C et en utilisant l'abaque de Groff, soit en utilisant un programme de calcul spécifique [30].

6.3. Point d'éclair (D 92)

6.3.1. Principe

Le point d'éclair est la température à laquelle les vapeurs de l'huile s'enflamment en présence d'une flamme. Son essai consiste à chauffer dans un vase ouvert à vitesse déterminée un échantillon du produit jusqu'à ce qu'une

quantité suffisante d'éléments volatils soit vaporisée et puisse être enflammé par une petite flamme que l'on déplace au dessous du vase. Dés qu'un un éclair apparaisse, on note la température du produit, qui correspond au point d'éclair.

6.3.2. Appareillages

- Testeur de point d'éclair HFP 386 de type Cleveland Open Cup.
- Thermomètre.
- Vase ouvert.
- Brique

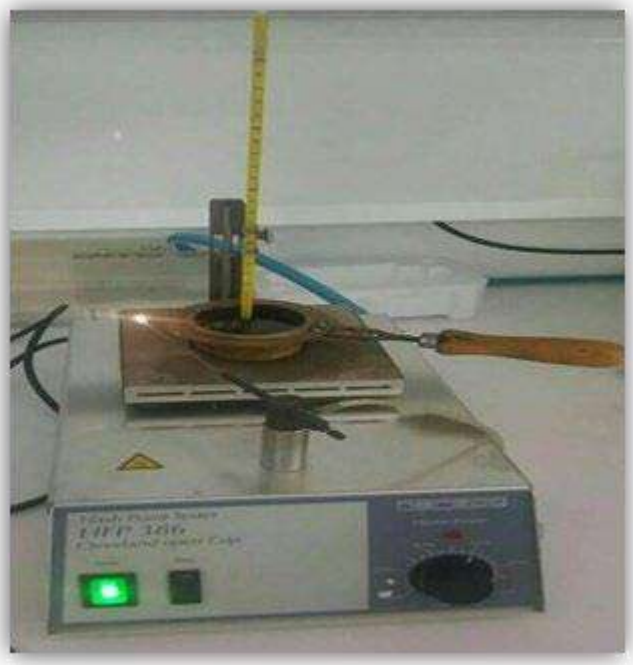


Figure 34:Testeur de point d'éclair de type Cleveland Open Cup

6.3.3. Mode opératoire

- Introduire l'huile dans le vase ouvert jusqu'au trait de remplissage.
- Installer le vase dans l'appareil, insérer le thermomètre dans le porte-thermomètre, puis chauffer l'huile à une vitesse uniforme (2°C/ min).
- Allumer la flamme d'essai en utilisant le briquet. Ajuster la flamme avec les vis d'ajustement de façon qu'elle ait un diamètre

d'environ 4mm.

Passer une flamme test au dessus de l'échantillon à des intervalles de tempsréguliers jusqu'à ce qu'une quantité suffisante d'éléments volatils soit vaporisée et puisse atteindre la flamme, tandis que l'huile dans le vase continue à se chauffer. On note la température qui correspond au point d'éclaire [30].

6.4. Densité (D 1298)

6.4.1. Principe

La densité d'une huile est le rapport de sa masse volumique à celle de l'eau prise comme référence à la température de 4°C. La technique de mesure varie suivant la précision de mesure recherchée. Les mesures de routine s'effectuent le plus souvent avec un densimètrestandard. Pour une mesure plus précise, on utilise un pycnomètre, il est caractérisé par un volume très précis. La détermination de la densité s'effectue par pesée.

6.4.2. Appareillages :

- Pycnomètre.
- Balance analytique.
- Bain- marie.
- Thermomètre.



Figure 35:Pycnomètre

6.4.3. Mode opératoire

- Peser le pycnomètre vide et sec (m_0), puis le remplir jusqu'au

trait de jauge avecde l'eau distillée prise a 4°C.

- Placer le pycnomètre rempli de l'eau dans un bain marie à une température de15°C pendant 15min.
- Retirer le pycnomètre du bain, le peser à nouveau avec l'eau et noter la masse(m_1).
- Remplir le pycnomètre séché du l'huile, puis le plonger dans le bain pendant15min.
- Peser le pycnomètre avec l'échantillon et noter la masse (m_2).
- La détermination de la d_4^{15} se fait selon la formule suivante :

$$d_4^{15} = m_2 m_0 / m_1 m_0$$

6.5. Point d'écoulement (D 97, D 2500)

6.5.1. Principe :

L'huile préalablement chauffée est refroidie, et ses caractéristiques d'écoulementsont observées à des intervalles de 3°C. La température minimale à laquelle l'huile s'écoule encore est notée, elle correspond au point d'écoulement [30].

6.5.2. Appareillages :

- Tube à essai cylindrique en verre transparent.
- Thermomètre.
- Bouchon, s'adaptant au tube à essai, et percé d'un trou central pour thermomètre.
- Jaquette.
- Disque en liège ou de feutre de 6mm d'épaisseur.
- Joint d'étanchéité.
- Bain réfrigérant.

6.6. Spectromètre DCP SPECTRASPAN 7

La spectrométrie est l'étude de l'interaction des photos avec les molécules accompagnée d'une variation d'énergie. La quantification de l'énergie donne les valeurs possibles des niveaux d'énergie. Selon les cas, il peut s'agir d'absorption, d'émissionou de diffusion inélastique. [24]. Dans le domaine des lubrifiants, l'analyse spectrométrique infrarouge a joué un rôle capitale dans la détermination de la vie utile restante RUL

(RemainingUseful Life) de l'huile de lubrification[25]. En effet, la disparition et l'apparition progressive de certains groupements fonctionnels justifient la disparition et l'apparition de certains composants de l'huile en service. Par ailleurs, la spectrométrie d'émission est une méthode d'analyse qui permet la quantification de la contamination de l'huile par des particules métalliques [26]. Cela fournit des informations très fiables sur le lubrifiant et le système lubrifié [27].



Figure 36:Spectromètre DCP SPECTRASPAN 7

L'analyse spectrale a été réalisée au laboratoire de l'Adonis Group Environement basé à Antananarivo.

La spectrométrie d'émission atomique DCP « Direct Current Plasma » (Plasma à Courant Continu) est l'une des techniques spectrochimiques les plus couramment utilisées aujourd'hui pour mesurer la concentration des particules métalliques. La spectrométrie d'émission DCP est une méthode d'analyse rapide, précise et apte pour mesurer plusieurs éléments métalliques simultanément avec une grande sensibilité. [28, 29].

Dans la spectrométrie DCP, l'excitation de l'émission atomique se fait par un plasma d'une température d'environ de 10.000°K, dit plasma à courant continu. Ce plasma est produit par un décharge électrique stabilisé par un courant d'argon et maintenu par un noyau composé d'arcs à courant continu.

Spectromètre DCP SPECTRASPAN 7 : Le dispositif DCP SPECTRASPAN 7 est un spectromètre d'émission composé d'un dispositif d'excitation, d'un système optique, d'un système de détection et d'un module électronique.

Le module électronique est piloté par un microprocesseur (esclave) lié à un ordinateur (maître). Les données transmises à l'ordinateur sont exploitées au moyen du logiciel PLASMAVISION. Les résultats sont présentés en ppm (

7. Exemple analyse des lubrifiants

L'étude dégage des informations, connaissances et savoirs très intéressants et enrichissantes en matière de maintenance de tracteurs. Plusieurs systèmes de modélisation de lubrification ont été exécutés afin d'évaluer ou dégager les indices qui puissent restituer l'état de dégradation d'huile dans le carter. Nos résultats sont concluants. On peut alors confirmer que l'hypothèse de recherche est bien vérifiée. Après des essais on a constaté qu'il y a encore des améliorations à faire. Il s'agit de combiner le séparateur centrifuge et le recycleur avec du coalesceur afin de combler le vide sur le séparateur centrifuge, c'est-à-dire rattraper le défaut.

Nous avons orienté nos recherches d'abord sur la première mise en épreuve de deux tracteurs JX 80 de même état sur un terrain à travers l'analyse de dégradation de l'huile minérale monograde SAE 40 du moteur après 300 HDM et ensuite par l'huile minérale multigrade 20W40 également afin de bien voir la différence d'usures qu'apporte chaque huile dans un souci de trouver un meilleur rendement de travail de tracteur.

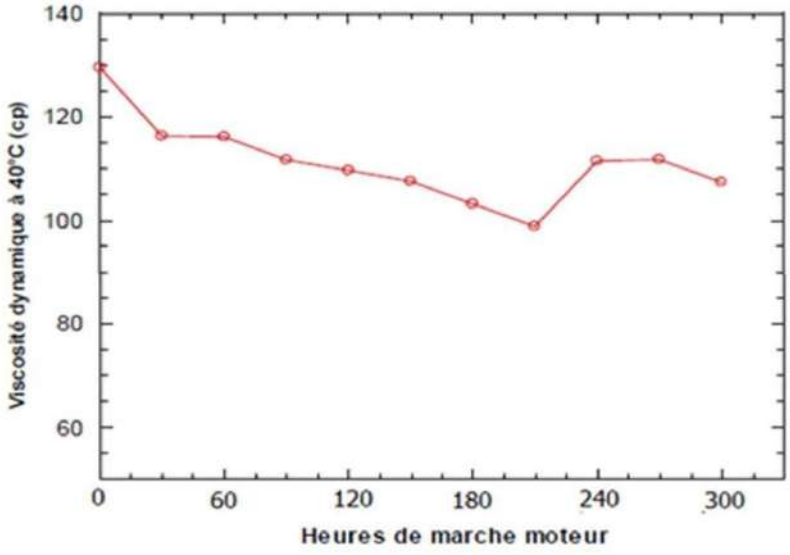
Pour la première mise en épreuve, nous avons étudié l'évolution caractéristique d'échantillon d'huile SAE 40 en particuliers les différents viscosités par la méthode d'essai ASTM D2983[33].

8. RESULTATS ET INTERPRETATIONS

8.1. L'huile monograde SAE 40

8.1.1. Viscosité dynamique

Les tracés relatifs à la viscosité dynamique mesurée à 40°C et 100°C sont d'allures semblables. L'analyse des courbes obtenues indique que la qualité de l'huile de lubrification change en fonction du nombre de marche du moteur [33].



[uile SAE40

Figure 37: Evolution de la viscosité dynamique mesurée à 40° C de l'huile de lubrification SAE40 en fonction des heures de marche du moteur

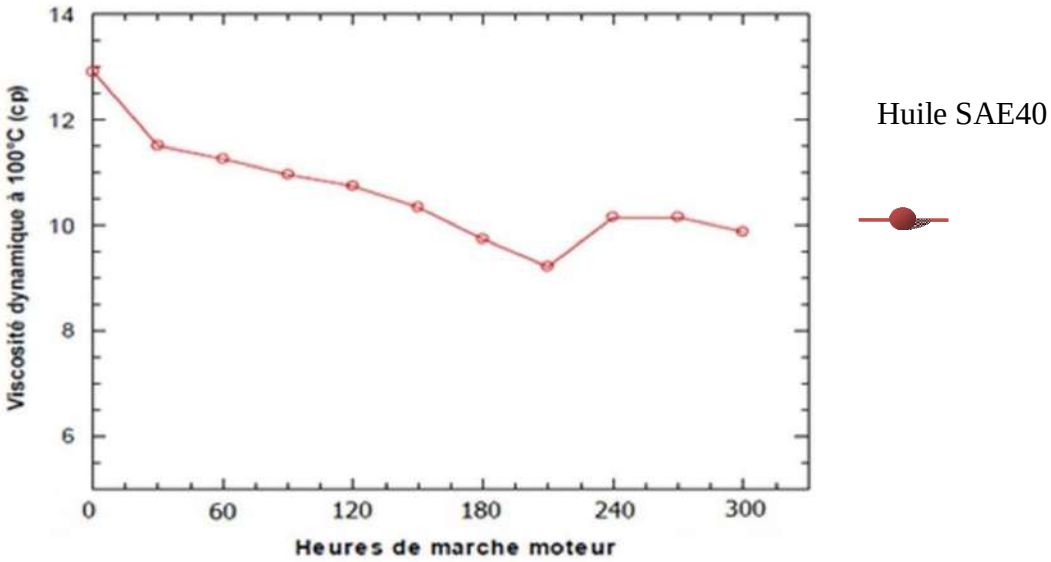


Figure 38: Evolution de la viscosité dynamique mesurée à 100° C de l'huile de lubrification SAE40 en fonction des heures de marche du

Pour un fonctionnement du moteur à 210 heures de marche, la viscosité dynamique diminue. Mais au-delà, elle subit une légère augmentation pour en décroître en fin. Ceci est dû au phénomène d'épaississement engendré par la suie et la formation excessive de la boue. [31,32]

8.1.2. Viscosité cinématique

Les figures 39 et 40 représentent l'évolution de la viscosité cinématique à 40° C et 100°C respectivement de l'huile de lubrification en fonction des heures de marche (HDM) du mote

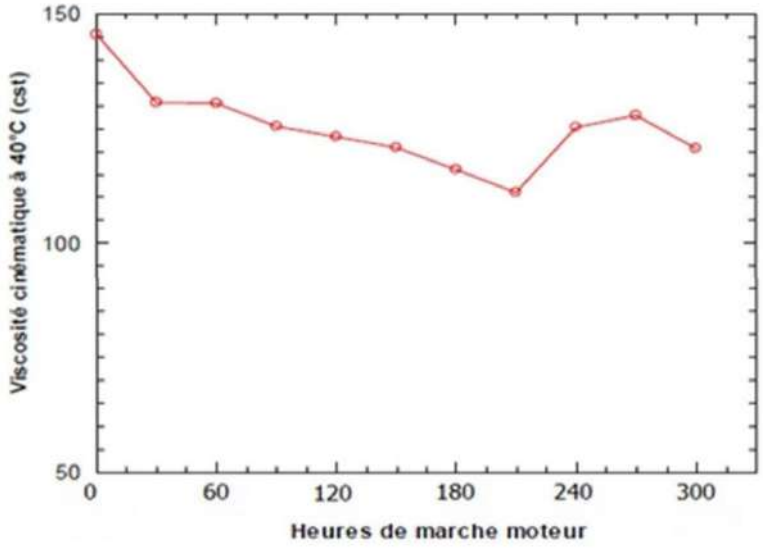


Figure 39: Evolution de la viscosité cinématique à 40°C de l'huile de lubrification SAE40 en fonction des heures de marche du moteur

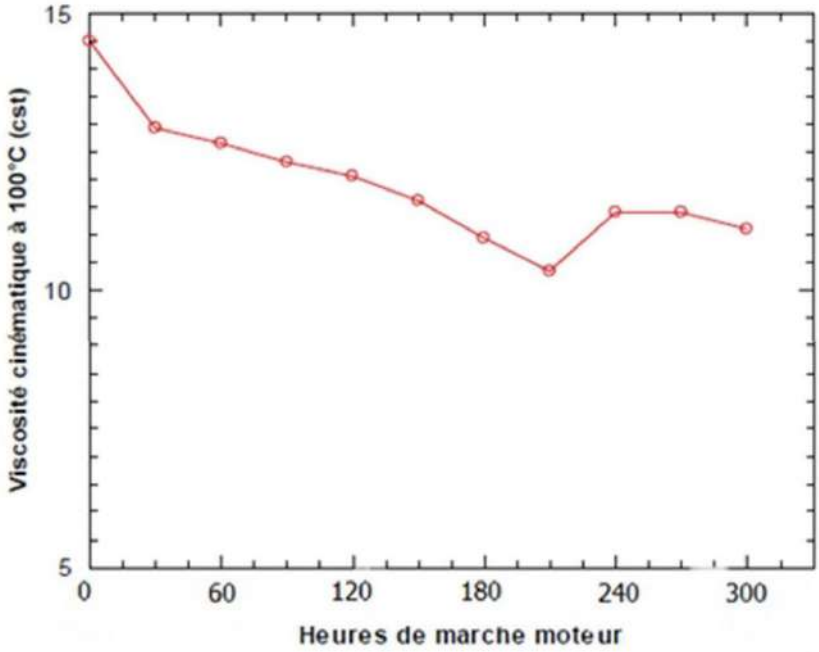


Figure 40: Evolution de la viscosité cinématique à 100°C de l'huile de lubrification SAE40 en fonction des heures de marche du moteur

Dans ce cas, on note aussi que l'évolution de la viscosité cinématique mesurée à 40°C et à 100°C est la même que celle de la viscosité dynamique. Les courbes obtenues la même allure. Ce résultat montre que l'huile perd progressivement sa qualité lubrifiante initiale en fonction du nombre d'heures de marche du moteur[33].

Pour un fonctionnement du moteur inférieur à 210 heures de marche, la viscosité cinématique décroit de manière remarquable. Mais au-delà, elle subit une légère

augmentation pour s'incliner en fin. Ceci est dû au phénomène d'épaississement engendré par la suie et la formation excessive de la boue [31,32].

La hausse de la viscosité dynamique et cinématique, observée entre 210 HDM et 240 HDM et probablement due aux produits lourds polymérisés, provoque des problèmes lors de la lubrification. En effet, lorsque l'huile atteint les parties chaudes du moteur, elle se polymérise de plus en plus et forme ainsi des dépôts. En outre, l'huile se charge d'avantage en éléments d'usure, ce qui entraîne une amplification du processus de dégradation de l'huile [34,35].

8.1.3. Indice de viscosité

L'indice de viscosité des différents échantillons de l'huile étudiés a été déterminé suivant la norme ASTM D 2270 à l'aide des tables ASTM. Ces tables fixent directement l'indice de viscosité comme croisement des valeurs de viscosité cinématique à 40° C et à 100° C. [31, 32]

Sur la figure 41, nous avons représenté l'évolution de l'indice d'huile de lubrification en fonction des heures de marche du moteur

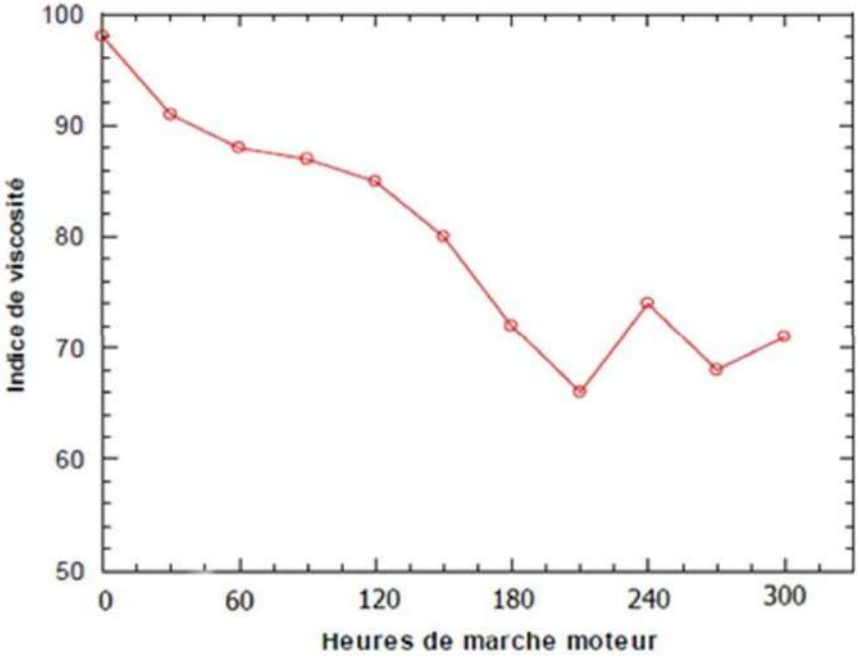


Figure 41: Evolution de l'indice de viscosité de l'huile de lubrification SAE40 en fonction des heures de marche du moteur

Nous observons que l'indice de viscosité, qui traduit l'aptitude de l'huile à résister à la variation de température, diminue fortement en fonction des heures de marche du moteur pour atteindre son minimum à 210 HDM et croître sensiblement pour s'incliner au-delà de 240 HDM. L'analyse de la courbe montre qu'à partir de 120 HDM, la viscosité de l'huile devient très sensible aux gradients de température rencontrés en dépit de sa

valeur assez élevée aux températures étudiées. [31, 32]

8.1.4. Point éclair

La figure 42 donne l'évolution du point éclair de lubrification en fonction des heures de marche du moteur

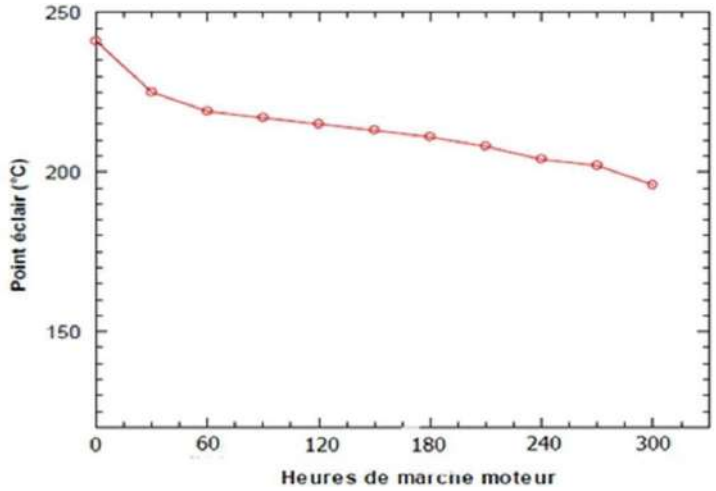


Figure 42: Evolution du point éclair d'huile de lubrification en fonction des heure de marche du moteur

Cette figure montre qu'au cours du fonctionnement du moteur, le point éclair connait au début une chute remarquable pour décroître d'une façon pratiquement linéaire lorsque le nombre d'heures de marche augmente. Cela est probablement dû à la perte de la stabilité thermique du lubrifiant. Nous reviendrons sur ce point de l'étude du comportement thermique des matériaux [31, 32].

8.1.5. Indice de basicité totale (TBN

L'évolution du TBN de l'huile de lubrification en fonction des heures de marche du moteur

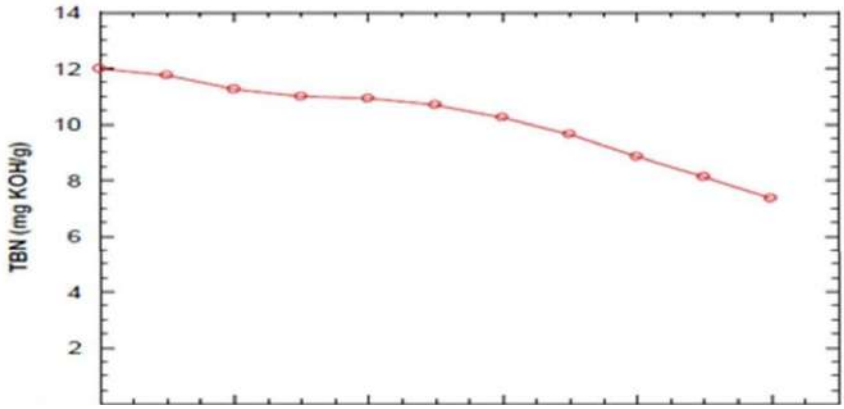


Figure 43 : Evolution du TBN de l'huile de lubrification SAE40 en fonction des heures de marche

est présentée sur la figure 43

Dès la mise en service de l'huile de lubrification, le TBN commence à décroître. En effet, dans le cadre de sa fonction requise, l'huile neutralise au fur et à mesure les acides formés désagréablement et ayant un impact corrosif sur les surfaces lubrifiées. A partir de 150 HDM, la diminution du TBM devient importante et l'huile perd excessivement la faculté de vaincre l'acidité produite lors du fonctionnement du moteur [31, 32].

8.1.6. Teneur en cendres sulfatées

Le tableau 10 montre les teneurs de l'huile de lubrification en carbone, hydrogène, azote et en soufre en fonction des heures demarche du moteur

Elémen tsen%	Heures de marche			
	0	100	200	300
Carbone	85,18	84,87	84,82	84,76
Hydrogène	12,82	13,03	13,06	13,11
Azote	0,137	0,082	0,078	0,080
Soufre	1,21	0,574	0,577	0,605

Table 10: Composition élémentaire de l'huile (en %) en fonction des HDM

Le tableau 10 montre que les teneurs de la boue en carbone, hydrogène, azote, et en soufre en fonction des heures de marche dumoteur

Eléments	Heures de marche		
	100	200	300
Carbone	87,85	87,37	88, 22

Hydrogène	8,016	8,48	8,39
Azote	0,1536	0,1203	0,1149
Soufre	1,685	0,863	0,892

Table 11 :Composition élémentaire des boues (en %) en fonction des HDM

La teneur en soufre de l'huile en service connaît une chute aigue durant les premières 100 HDM pour prendre une valeur presque stable durant les 300 HDM qui viennent. Cela montre que l'huile de lubrification subit, dès sa mise en service, une grande transformation.

La boue éliminée par nettoyage de la centrigeuse par l'intermédiaire de vilebrequin après les premières 100 HDM contient une quantité importante de soufre. En effet, la purification centrifuge a pour but de récupérer les éléments polluants contenus dans le lubrifiant[33].

Dans ce qui précède, nous avons vu que l'huile subit plusieurs changements rhéologiques et physico-chimiques lors de la lubrification. Par ailleurs, le lubrifiant ne pourrait échapper à une pollution de particules métalliques générées par usure du moteur, ce qui affecte bien sa structure. A cet effet, nous allons procéder, dans le chapitre suivant, à une étude spectrométrique [31, 32].

8.1.7. Etude spectrométrique

Les résultats des huiles en service obtenus par spectrométrie montrent que les principaux éléments générés par usure des surfacesen contact du moteur sont le fer, le cuivre et chrome.

Sur les figures 44, 45, 46, nous avons regroupé l'évolution du taux des éléments précités relatifs à l'huile et aux boues en fonction des heures de marches du moteur diesel.

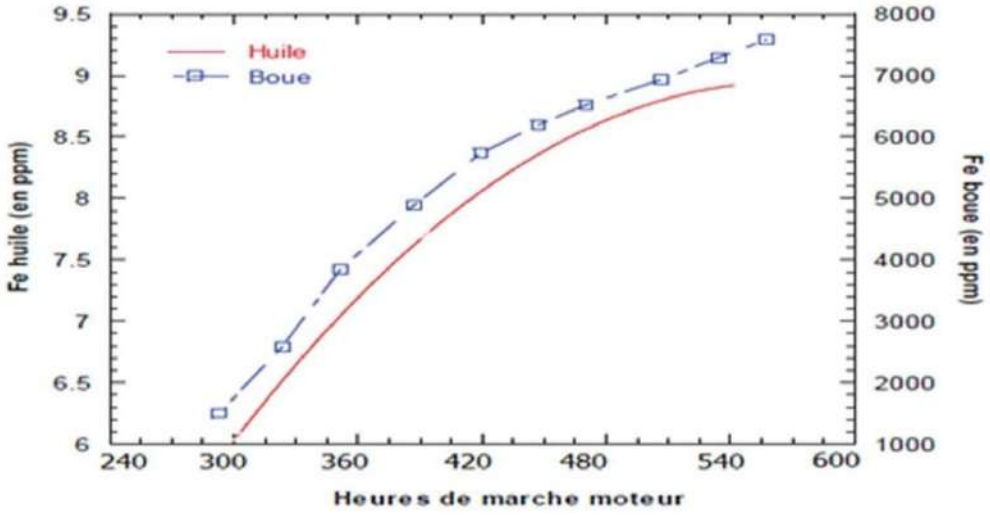


Figure 44: Variation du taux de Fer (en ppm) dans l'huile SAE40 et dans les boues en fonction des heures de marche du moteur

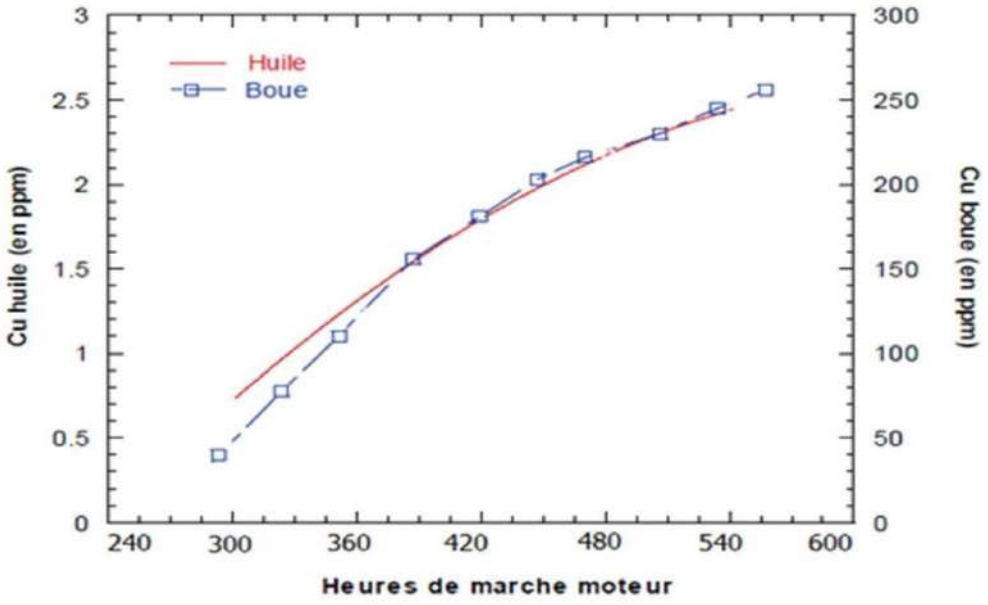


Figure 45: Variations du taux de Cuivre (en ppm) dans l'huile SAE40 et dans les boues en fonctions des heures de marche

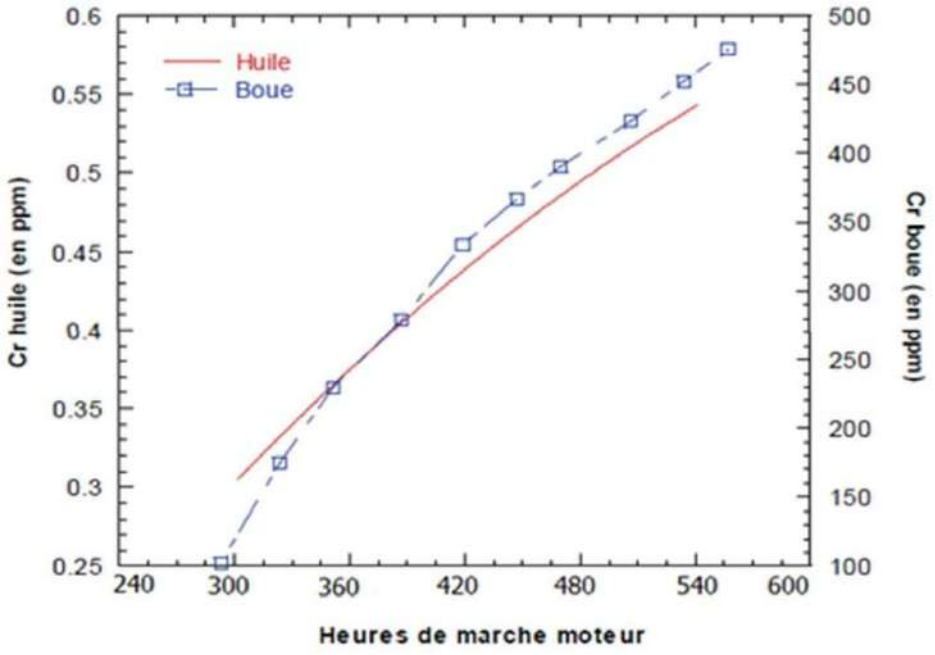


Figure 46: Variation du taux de Chrome (en ppm) dans l'huile SAE40 et dans les boues en fonction des heures de marche

Les résultats obtenus montrent une ressemblance qualitative entre l'allure des courbes relatives à l'évolution du taux de chacun des éléments métalliques majoritaires contenus dans l'huile SAE40 et dans les boues. Ceci prouve l'efficacité du système de purification centrifuge comme le vilebrequin pour ce genre de moteurs.

Aussi, le rapport entre les taux des particules métalliques respectivement présentes dans l'huile et dans les boues confirme que l'huile SAE40 a effectivement l'aptitude de se débarrasser facilement de la contamination causée par l'usure du moteur.

Par ailleurs, l'usure du moteur IVECO/ TTF8045.045.939 régénère, au niveau des chemises des particules en fer, au niveau des coussinets des particules en cuivre et au niveau des jupes des pistions des particules en aluminium. Ainsi, les résultats des figures 44, 45, 46 indiquent les endroits les plus usés du moteur durant la période de fonctionnement étudiée
Ces courbes présentent une progression logarithmique avec une tendance vers la saturation. Cependant, pour un régime de fonctionnement de moteur bien déterminé, la régénération des particules métalliques par usure est quasiment stable. En outre, les additifs anti-usures s'absorbent sur les surfaces lubrifiées et se sacrifient pour créer un contact chimique/chimique au lieu d'un contact métal/métal[33].

La perte progressive des additifs anti-usures causerait ainsi une augmentation du taux d'usure du moteur et par la suite une régénération excessive des particules métalliques.

Les additifs dispersants et détergents ayant pour rôles de maintenir les impuretés en suspension dans l'huile, d'empêcher un éventuel dépôt de particules (particules carbonées,

poussières et microparticules métalliques) sur les pièces mécaniques et enfin les véhiculer vers l'extérieur du moteur lors de sa vidange, connaissent progressivement une déplétion. La déplétion des additifs dispersants et détergents fait perdre à l'huile la propriété de maintenir les particules métalliques d'usureet d'autres impuretés en suspension. En effet, la progression logarithmique des courbes de la charge de l'huile en particules métallique générées par l'usure du moteur est due à la déplétion des additifs dispersants et détergents

8.2. Huile multigrade SAE 20W40

8.2.1. Viscosité dynamique

Les tracés relatifs à la viscosité dynamique mesurée à 40°C et à 100°C sont d'allures semblables comme montré aux Figures 47 et 48 . L'analyse des courbes indique que la qualité de l'huile de lubrification change en fonction du nombre d'heures de marche du moteur. Mais on constate une amélioration de dégradation d'huile sur la courbe dès qu'on a changé l'huile à tester par l'huile 20SAEW40 [31, 32].

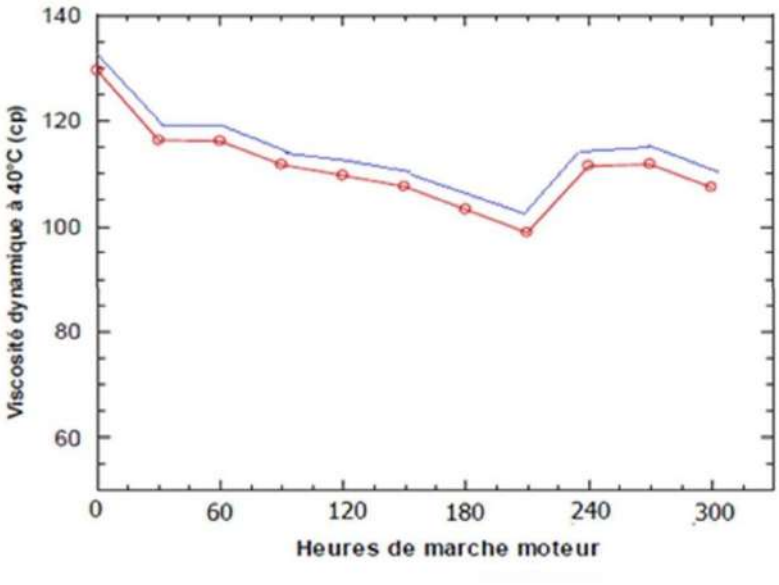


Figure 47: Evolution de la viscosité dynamique à 40°C de l'huile de lubrification SAE20W40 en fonction des heures de marche du moteur

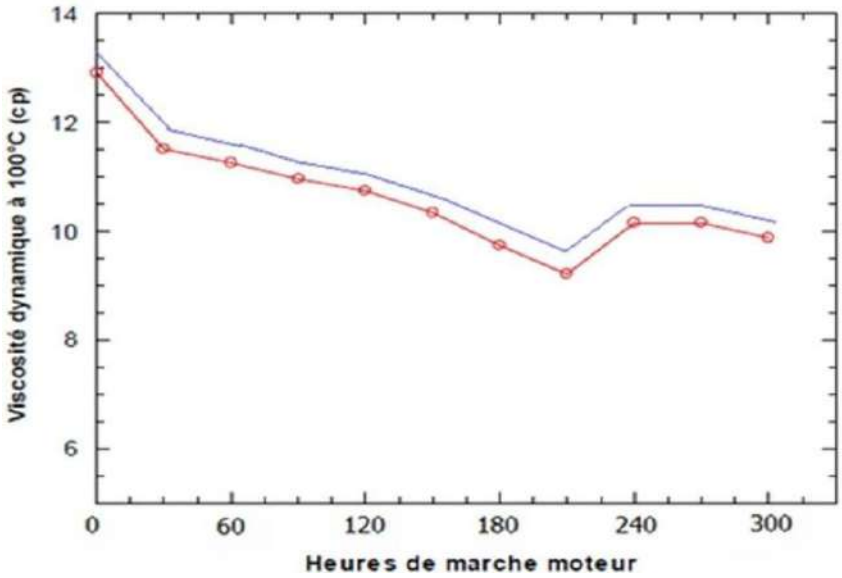


Figure 48: Evolution de la viscosité dynamique à 100°C de l'huile de lubrification SAE20W40 en fonction des heures de marche de moteur

Pour un fonctionnement du moteur inférieur à 210 heures de marche la viscosité dynamique de l'huile 20W40 diminue aussi mais par rapport à l'huile SAE40, on a constaté une amélioration de dégradation d'huileen tant qu'huile multigrade SAE 20W40 prouvée par la différence ou l'écart de deux courbes. Or au-delà, elle subit une légère augmentation pour décroître en fin [34,35].

8.2.2. Viscosité cinématique

La viscosité cinématique de nos échantillons a été mesurée à deux températures 40°C et

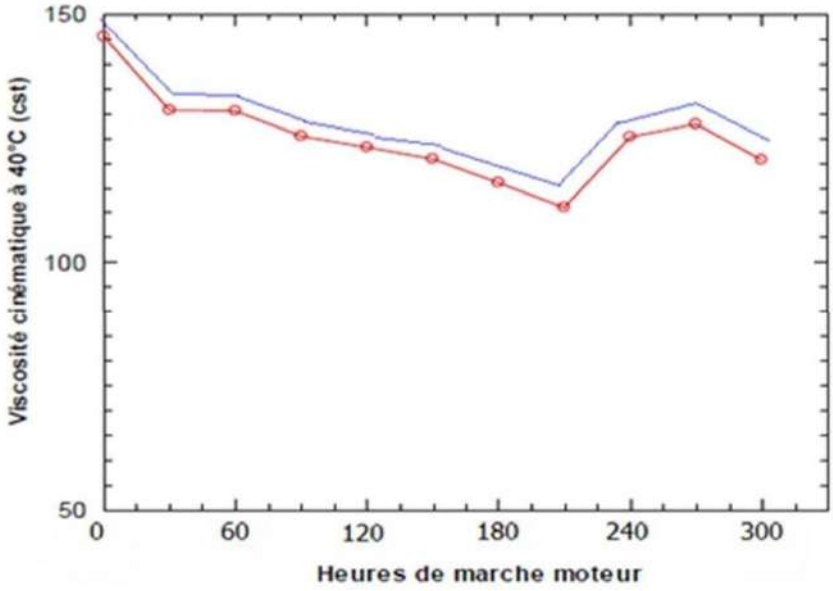


Figure 49: Evolution de la viscosité cinématique à 40°C de l'huile de lubrification20W40 en fonction des heures de marche du moteur

100°C. Les figures 49 et 50 représentent l'évolution de la viscosité cinématique à 40°C et 100°C respectivement de l'huile de lubrification en fonction des heures de marche (HDM) du moteu

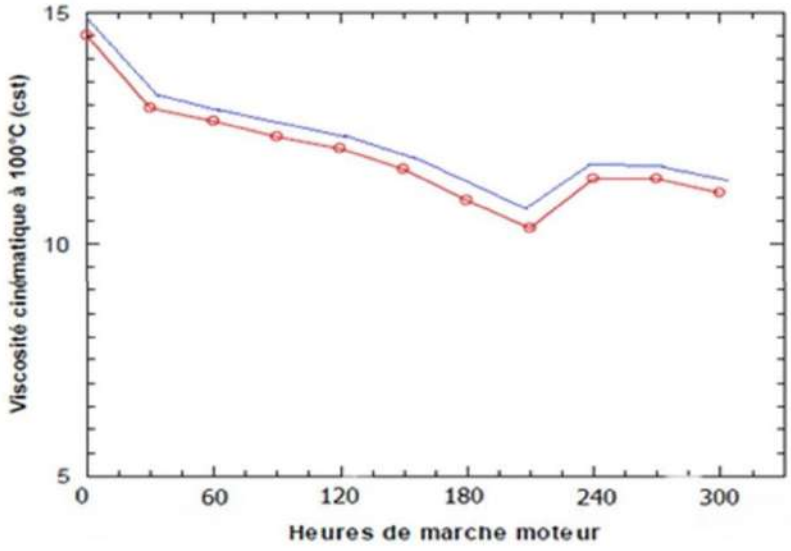


Figure 50: Evolution de la viscosité cinématique à 100°C de l'huile de lubrification SAE 20W40 en fonction des heures de marche du moteur

Dans ce cas, on note aussi que l'évolution de la viscosité cinématique mesurée à 40°C et 100°C est la même que celle de la viscosité dynamique. Les courbes obtenues détiennent la même allure. Ici, le résultat montre que l'huile reprend progressivement sa qualité lubrifiante en fonction du nombre d'heures de marche moteur par rapport à l'huile de lubrification SAE40.

Pour un fonctionnement du moteur inférieur à 210 heures de marche, la viscosité cinématique décroit de manière remarquable aussi mais par rapport à l'huile de lubrification SAE40, on a décelé une amélioration de dégradation en tant que huile multigrade 20SAE40, prouvée par la différence ou l'écart de deux courbes. Or au-delà, elle subit une légère augmentation pour s'incliner en fin. Ceci est dû au phénomène d'épaississement engendré par la suie et la formation excessive de la boue.

La hausse de la viscosité dynamique et cinématique est la même que la précédente, observée entre 210 HDM et 240 HDM et probablement due aux produits lourds polymérisés, provoque des problèmes lors de la lubrification. En effet, lorsque l'huileatteint les parties chaudes du moteur, elle se polymérise de plus en plus et forme ainsi des dépôts. En outre, l'huile se charge d'avantage en éléments d'usure, ce qui entraîne une amplification du processus de dégradation de l'huile [31, 32].

8.2.3. Indice de viscosité

Sur la figure 51, nous avons représenté l'évolution de l'indice de viscosité de lubrification SAE20W40 en fonction des heures de marche du moteur.

Nous observons que l'indice de viscosité, qui traduit l'aptitude de l'huile SAE20W40 à résister à la variation de température, diminue parallèlement avec l'huile SAE40, c'est à dire elles ont les mêmes allures sur la courbe en fonction des heures de marche du moteur pour atteindre son minimum à 210 HDM et croître sensiblement pour s'incliner au-delà de 240 HDM, mais par rapport à l'huile SAE40, on a découvert une sensible amélioration de dégradation d'huile, celle de la différence entre les deux courbes qui est bien mis en évidence sur le graphe. L'analyse de la courbe montre qu'à partir de 120 HDM, la viscosité de l'huile devient très sensible aux gradients de température rencontrés en dépit de sa valeur assez élevée aux températures étudiées [34,35].

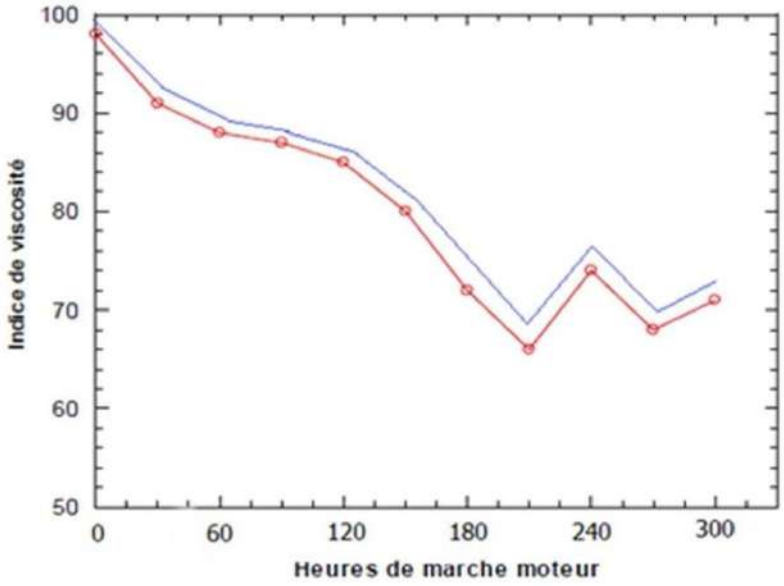


Figure 51: Evolution de l'indice de viscosité de l'huile de lubrification SAE20W40 en fonction des heures de marche

8.2.4. Point éclair

Ainsi, la figure 52 donne l'évolution du point éclair de l'huile de lubrification en fonction des heures de marche du moteur.

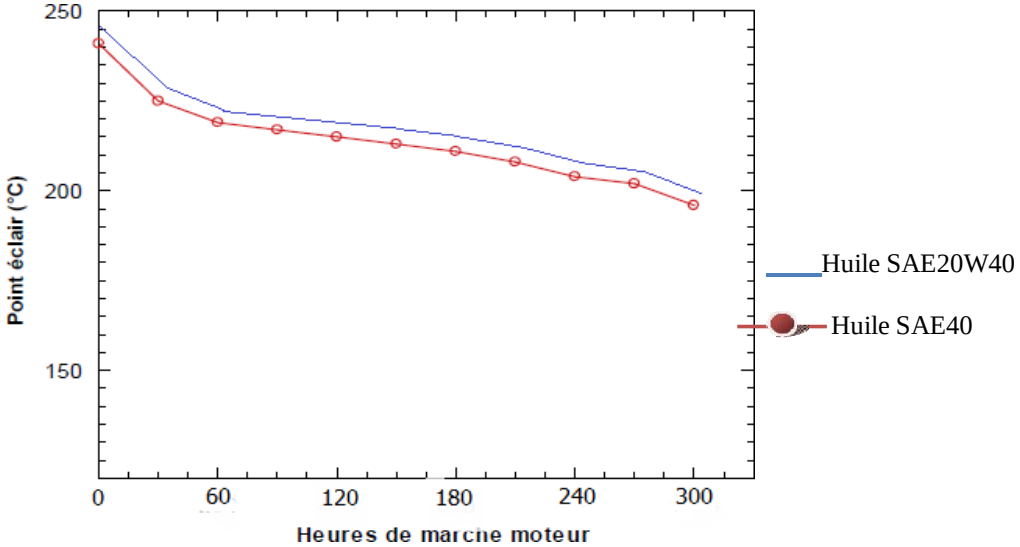


Figure 52: Evolution de point éclair de l'huile de lubrification SAE20W40 en fonction des heures de marche

Cette figure 52 démontre qu'au cours du fonctionnement du moteur, le point éclair connaît au début une chute remarquable pour décroitre d'une façon pratiquement linéaire aussi lorsque le nombre d'heures de marche augmente. Cela est probablement dû à la perte de la stabilité thermique du lubrifiant, mais au regard de l'huile monograde SAE40, on constate un changement en termes de

point éclair, celui de l'écart affiché entre le SAE20W40 et le SAE40, c'est-à-dire le point éclair augmente de valeur autant dire qu'il revient un peu dans le sens positif de son état initial [33].

8.2.5. Indice de basicité totale (TBN)

L'évolution du TBN de l'huile de lubrification SAE20W40 en fonction des heures de marche du moteur est présentée sur la figure53

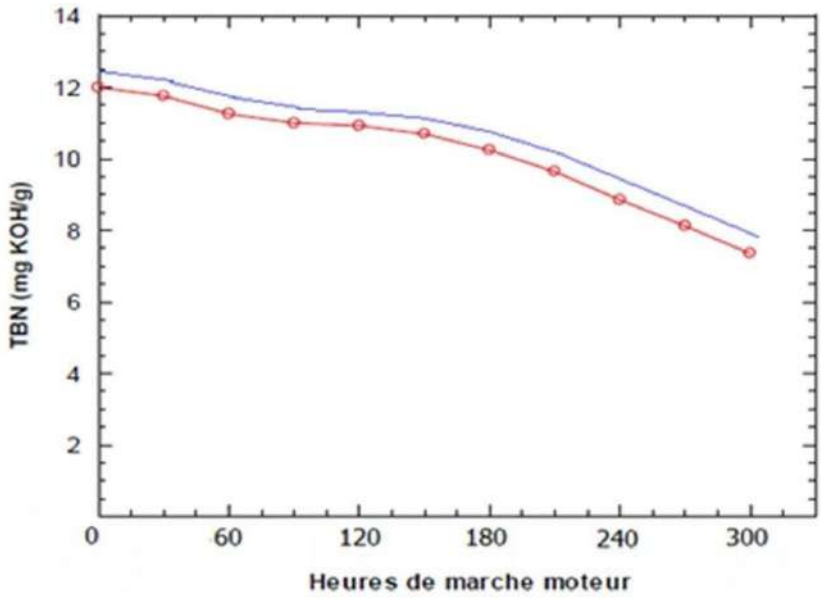


Figure 53: Evolution du TBN d'huile de lubrification SAE20W40 des heures de marche du moteur

Dès la mise en service de l'huile de lubrification SAE20W40, le TBN commence à décroître mais n'est pas si remarquable que ça par rapport au SAE40 selon la courbe affichée. En effet, dans le cadre de sa fonction requise, l'huile neutralise au fur et à mesure les acides formés désagréablement et ayant un impact corrosif sur les surfaces lubrifiées. A partir de 150 HDM, la diminution du TBN devient importante et l'huile perd excessivement la faculté de vaincre l'acidité produit lors du fonctionnement du moteur mais ici en huile SAE20W40, elle a encore la faculté de vaincre l'acidité grâce à sa propriété et la qualité supérieure de l'huile. Onconstate ici que l'huile résiste à la faculté d'être vaincu par l'acidité [31,32].

8.2.6. Teneur en cendres sulfatées

Eléments	Heures de marche			
	0	100	200	300
Carbone	85,18	84,87	84,82	84,76
Hydrogène	12,82	14,03	14,06	14,11
Azote	0,137	0,083	0,079	0,081
Soufre	1,21	0,675	0,678	0,806

Table 12: Composition élémentaire de l'huile SAE20W40 (en%) en fonction des HDM

Eléments	100	200	300
Carbone	87,85	87, 37	89,22
Hydrogène	8,016	8,48	9,39
Azote	0,1536	0,1203	0,1249
Soufre	1,685	0,883	0,893

Table 13: Composition élémentaire des boues (en %) en fonction des HDM

La teneur en soufre de l'huile en service connaît aussi une chute aigue durant les premières 100 HDM pour pendre une valeur stable durant les 200 HDM qui viennent. Cela montre que l'huile de lubrification subit, dès sa mise en service, une grande transformation. La boue éliminée par nettoyage de la centrifugeuse après les premières 100 HDM contient une

quantitéimportante de soufre. En effet, la purification centrifuge a pour but de récupérer les éléments polluants contenus dans le lubrifiant.De ce qui précède, nous avons vu que l'huile subit également plusieurs changements rhéologiques et physico-chimiques lors de la lubrification. Par ailleurs, le lubrifiant ne pourrait échapper à une pollution de particules métalliques générées par usure du moteur, ce qui affecte bien sa structure. A cet effet, nous procéderons dans le chapitre suivant à une étude spectrométrique, de la même manière que nous avons mené l'action du précédent[31,32].

9. Conclusion

Les huiles lubrifiantes ont pour rôle de réduire les frottements entre les pièces en mouvement. Elles sont de très loin les plus utilisées, aussi bien dans les applications automobiles qu'industrielles. Ce sont des mélanges d'hydrocarbures ayant subit denombreuses opérations de raffinage avant d'être utilisées.

Le but de notre travail est d'évaluer la conformité de l'huile de lubrification et de l'identifier selon la classification SAE, ensuite, étudier la dégradation de cette huile en fonction du nombre de kilomètres parcourus.

D'après l'étude comparative des propriétés physico-chimiques de l'huile moteurSAE 40 et 20SAEW40, on constate qu'ils sont dans les normes. Ainsi, selon la classification SAE,donc on peut déduire que cette huile est conforme aux spécifications auxquelles elle répond.

La caractérisation des différents échantillons nous a permis de suivre l'évolution des propriétés physico-chimiques de l'huile en service lors de la lubrification du moteur diesel. D'après les résultats obtenus, les causes de la dégradation de l'huile moteur est la contamination.

L'huile moteur commence à perdre son pouvoir lubrifiant dès sa mise en service, sa composition change en raison de certains facteurs, tels que la modification physico-chimique des molécules, elle dépend, entre autres, du temps d'utilisation de l'huile, des additifs qu'elle contenait et du type de moteur employé.

Chapitre IV :

détection des défauts mécanique par technique de l'analyse des lubrifiants industriels

1. INTRODUCTION

L'analyse d'huile est une technique traditionnellement utilisée sur le marché industriel pour déterminer l'état des lubrifiants couramment utilisés dans les usines et les équipements. Cette analyse est cependant également utilisée sur les équipements automobiles depuis de nombreuses années pour déterminer l'état non seulement de l'huile mais également de l'équipement. Lorsqu'elles sont correctement appliquées, les techniques d'analyse impliquées peuvent être utilisées sur des échantillons d'huile provenant d'installations et d'équipements industriels, pour établir l'état de la machine ainsi que l'état du lubrifiant. Quelle que soit la technique utilisée, cependant, il convient de noter que la surveillance de l'état repose sur la prise de mesures régulières et sur l'analyse des tendances qui s'ensuit pour établir l'état de l'équipement. Dans ce cas, il s'agit de prélever régulièrement des échantillons d'huile. En plus des prélèvements réguliers,

1. précision et représentativité de l'échantillon ; 2. utilisation d'une gamme sophistiquée et reproductible de techniques analytiques ; 3. interprétation précise des résultats ; 4. retour d'information pour confirmer l'interprétation de l'analyse.

En conséquence, ce chapitre décrit en détail les critères ci-dessus et montre comment l'analyse d'huile peut être utilisée comme un outil efficace de surveillance de l'état [36].

2. ÉCHANTILLONNAGE DE LUBRIFIANT

Idéalement, l'échantillon doit être prélevé lorsque la machine a atteint sa température de fonctionnement normale et que l'équipement a fonctionné normalement. Le lubrifiant doit être extrait, de préférence pendant que le fluide est en écoulement turbulent, avec la machine toujours en marche. Si cela n'est pas possible, cela doit être fait dès que possible après l'arrêt de la circulation du lubrifiant. Toute zone morte de circulation de fluide, telle qu'une section peu utilisée dans un circuit hydraulique, ne doit pas être utilisée. S'il existe le moindre doute que l'échantillon n'est pas suffisamment représentatif, il convient de prélever un certain nombre d'échantillons à différents points de la machine pour déterminer lequel est le plus approprié. Après avoir déterminé le meilleur endroit pour prélever l'échantillon, il faut alors réfléchir à la manière dont il est extrait de l'équipement. La mesure du possible, il est conseillé d'installer un point de dérivation. Le robinet est situé de sorte qu'il n'y ait pas de zone morte créée, où les débris peuvent s'accumuler dans la ligne de dérivation. Si cela n'est pas évitable, une quantité suffisante d'huile doit être évacuée pour éliminer tout débris résiduel avant de prélever l'échantillon. Les points d'échantillonnage de dérivation sont de loin le moyen le plus rapide, le plus simple et le plus cohérent de prélever des échantillons. Les bouchons de vidange du réservoir doivent être évités à moins qu'il n'y ait pas d'alternative, car ils peuvent donner des lectures artificiellement élevées en termes de saleté sédimentaire, de poussière et de métaux d'usure, etc. Si un bouchon de vidange doit être utilisé, une attention particulière à ce fait doit être faite lors de la interprétation des résultats. Les échantillons peuvent également être extraits à l'aide d'un tube avec une pompe à vide ou une seringue s'il n'existe pas de point de dérivation approprié. Si une pompe à vide ou une seringue est utilisée, il est recommandé de n'utiliser la tubulure ou la seringue qu'une seule fois, afin d'éviter toute contamination croisée qui entraînerait une mauvaise interprétation de l'analyse. Lorsqu'une pompe à vide est utilisée, il convient de veiller à ce que l'huile ne soit pas aspirée dans le corps de pompe lui-même, car cela [37].

3. Échantillonnage de lubrifiant

Une fois que la meilleure méthode d'échantillonnage est établie, il est important qu'elle soit respectée, car des variations dans les techniques d'échantillonnage peuvent conduire à des résultats incohérents.

Ceci est également vrai de la prochaine chose qui doit être déterminée, c'est-à-dire la fréquence à laquelle les échantillons doivent être prélevés.Tableau 14 illustre des fréquences d'échantillonnage typiques pour différentes applications. Ces fréquences ne sont toutefois qu'un guide suggéré, car la fréquence dépend des conditions environnementales, du cycle de service et de la sévérité du fonctionnement de l'équipement. Il est également suggéré que les fréquences d'échantillonnage soient augmentées sur un équipement spécifique lorsque les résultats de l'analyse commencent à susciter des inquiétudes. Un temps de rotation rapide de l'échantillon est également recommandé. Ceci, si possible, devrait être inférieur à 48 heures à compter de la réception de l'échantillon, ce qui signifie que les fréquences d'échantillonnage peuvent être augmentées à une fréquence hebdomadaire ou plus, lorsque les conditions de l'usine l'indiquent. Si les fréquences d'échantillonnage sont trop longues, c'est-à-dire tous les six mois ou même tous les ans, les résultats de toute analyse ne peuvent pas être utilisés comme technique de surveillance de l'état. Il s'agit alors d'une simple analyse d'huile, qui ne peut que [37].

application	Les conditions	Frequence
Boite de vitesse automobile et industriel	Charge lourde/température élevée (>65 »C)/conditions humides et sales/fonctionnement continu	Mensuel
Hydraulique industrielle	légères/température normale (<50’C)/conditions de fonctionnement propres les conditions	2-3 mois
Machine Outils hydraulique	Charge lourde/température élevée (>65 »C)/conditions humides et sales/fonctionnement continu	3-4 mois
applications légères Hydraulique automobile	légères/température normale (<50’C)/conditions de fonctionnement propres	Mensuel ou 250 heures
Compresseurs dair	Fonctionnement continu (>service 6090)	Mensuel ou 500 heures
Moteurs installation mobile	Fonctionnement intermittent toutes conditions	2 moi ou 10000 km
Usine statique de moteurs	toutes conditions	500-1000 heures

Table 14 :Fréquence d'échantillonnage typique

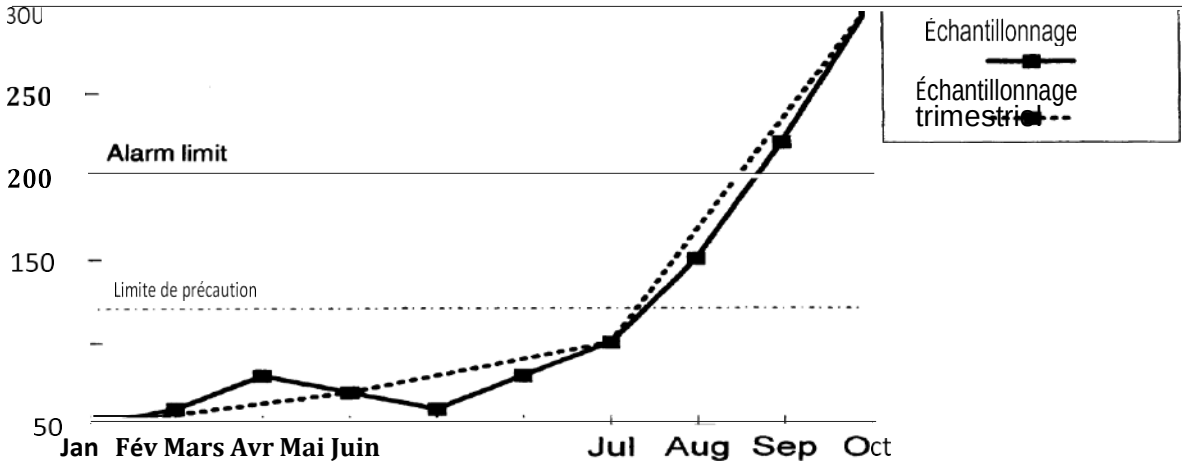


Figure 54 :Fréquence d'échantillonnage.

commenter l'état de l'huile à ce moment-là et par conséquent, tout autre problème potentiel peut ne pas être détecté. En référence à la figure 54 la courbe en trait plein représente les variations du taux de fer pour des échantillons prélevés sur une base mensuelle dans un élément d'installation industrielle. La courbe en pointillé montre la tendance si les échantillons avaient été prélevés sur une base trimestrielle ou trimestrielle. À partir de cet exemple, on peut voir que le niveau d'alarme d'avertissement aurait été atteint avec l'échantillon d'août. Cependant, si la fréquence d'échantillonnage avait été trimestrielle, un niveau d'alarme n'aurait été atteint qu'en octobre. Ainsi, l'échantillon est la partie la plus importante de cette forme de surveillance de l'état. À moins qu'elle ne soit cohérente, représentative et prise à la bonne fréquence, l'analyse de l'huile et son interprétation ultérieure n'ont aucun sens [36].

4. ANALYSE DES ÉCHANTILLONS

Une fois qu'un point d'échantillonnage et une fréquence d'échantillonnage appropriés ont été établis, les échantillons doivent être analysés de manière à pouvoir déterminer l'état du lubrifiant et de la machine. Les tests effectués sur l'échantillon doivent non seulement être précis et reproductibles, mais doivent également être suffisamment rapides pour fournir un délai d'exécution acceptable. Idéalement, le délai d'exécution devrait être compris entre 24 et 48 heures à compter de la réception de l'échantillon. Les tests effectués sur un échantillon dépendront de l'équipement surveillé et du lubrifiant utilisé. Aperçu du tableau 15

	Viscosity	Insolubles	ter	TAN	Flash point	'st	Optical	PQ	ICP	ISO count
Gearbox	X	X	X				O	X	X	
Hyd system	X	X	X	O				X	X	O
Engine	X	X	X		X	Ø			X	
Compressor	X	X	X	O				O	X	
Turbine	X	X	X	O				O	X	O

Table 15 :Sélection des méthodes d'essai

ces tests qui doivent être effectués sur certaines applications typiques. Lales tests normalement effectués sont les suivants [37].

4.1. Viscosité cinématique à 40 et 100 °C

Les machines industrielles nécessitent généralement des lubrifiants d'une plage de viscosité spécifique pour réduire la friction et prévenir l'usure excessive des composants. Ce test est utilisé pour détecter la contamination du lubrifiant par une autre huile, une oxydation sévère ou par un autre fluide tel que l'essence, le diesel ou un solvant, etc. Les effets produits par une viscosité trop élevée ou trop faible du lubrifiant peuvent être extrêmement préjudiciables, tels que comme une usure prématurée ou accélérée, un fonctionnement à haute température, un mouvement lent et une durée de vie réduite du lubrifiant. A partir des deux résultats de viscosité produits par ce test, l'indice de viscosité du lubrifiant peut être calculé. Notez que l'indice de viscosité est un nombre qui se rapporte à la relation viscosité/température du lubrifiant. Ce calcul aide également à établir que le lubrifiant utilisé est correct et répond aux spécifications requises. Il est donc essentiel de connaître la spécification du lubrifiant utilisé.

4.2. Teneur en eau

Il s'agit d'un test important, car toute présence d'eau dans le lubrifiant peut favoriser la corrosion, augmenter l'usure des engrenages, des roulements, des composants hydrauliques ou provoquer le moussage des huiles de turbine. La présence d'eau dans l'échantillon suggère une pénétration par les joints, les garnitures ou éventuellement par condensation. Ce test dépendra donc de la connaissance de l'équipement pour indiquer les défaillances des joints, les dommages aux joints de culasse ou les fuites du refroidisseur d'eau. Ce test peut également être utilisé pour vérifier l'état de fluides spéciaux contenant de l'eau, par exemple les glycols aqueux ou les fluides hydrauliques résistants au feu HFA et HFB.

4.3. Insolubles

Dans ce test, l'échantillon est filtré à travers généralement un filtre de 1 ou 5 microns. Le poids des débris laissés sur le papier filtre peut alors être exprimé en pourcentage. Ce test donne une bonne indication de l'efficacité du filtre ou de l'efficacité du joint. Il peut également être utilisé pour donner une

Indication d'une mauvaise combustion du carburant, sous la forme de suie de carburant dans le carter du moteur.

4.4. Indice d'acide total (TANJ)

Ce paramètre est normalement utilisé comme indication d'une utilisation prolongée à haute température ou de l'oxydation d'un lubrifiant. Une forte exposition à l'oxygène ou à l'aération, par un lubrifiant, peut accélérer le processus d'oxydation. Aux stades avancés, la viscosité du lubrifiant commencera à augmenter de manière significative, ce qui peut induire des problèmes de corrosion et de lubrification. Les indications typiques d'oxydation sont une décoloration caractéristique du lubrifiant et une odeur de brûlé.

4.5. Total

Indice de base (TBNJ) Il est utilisé pour déterminer l'alcalinité d'un lubrifiant, normalement pour les applications de carter. Lorsqu'un tel lubrifiant de carter est formulé, des réserves d'alcalinité sont intégrées. Celles-ci sont progressivement épuisées par les acides formés au cours du processus de combustion. d'un carburant contenant du soufre, c'est-à-dire du diesel Une fois que le TBN a été épuisé à 50% de sa valeur d'origine, le lubrifiant doit être changé pour éviter la corrosion des composants du moteur.

4.6. Point de rupture

Ceci est normalement associé à la détection d'un carburant dans le lubrifiant, c'est-à-dire de l'essence ou du diesel. Cela est généralement dû à des pannes du système d'injection de carburant ou à une conduite intermittente, à des arrêts/démarrages ou à des trajets courts. Il peut également être utilisé pour détecter la présence de certains solvants ou gaz dissous dans le lubrifiant.

4.7. Quantification des particules (PQ)

Il s'agit d'un nombre qui, lorsqu'il est cité, indique la quantité de matériau ferromagnétique présent dans un échantillon de lubrifiant. Le test réagit à toutes les gammes de tailles de matériaux ferreux. Cependant, il réagit mieux aux gros débris, c'est-à-dire supérieurs à 20 microns. Il est conçu pour capturer les défaillances potentielles telles que les piqûres de fatigue, les éraflures et les écaillages, c'est-à-dire les modes de défaillance qui se dissocient normalement de l'usure abrasive et où la majorité des particules se situent dans la plage inférieure à 10 microns.

4.8. Microscopie optique

À l'aide de la pastille de filtre préparée pour le test des insolubles, la forme, la taille et la couleur des particules peuvent être examinées. Les matériaux ferreux ou rouillés brillants, les métaux jaunis, les flocons plats et les spirales, etc. peuvent tous être identifiés à partir de l'échantillon. Il est également possible de donner une indication de leur source, ainsi que la nature de l'usure qui se produit à l'intérieur de la machine, par exemple les éraflures, etc.

4.9. Analyse élémentaire par plasma à couplage inductif (ICP)

Grâce à l'utilisation des techniques ICP, les éléments d'usure peuvent être détectés et quantifiés en parties par million (ppm). La combinaison d'éléments détectés peut être combinée pour isoler des matériaux tels que les alliages d'acier, les laitons, le bronze, les métaux blancs, etc. D'autres contaminants éventuels du processus ou de l'environnement, sous forme de minéraux et de nombreux composés chimiques, peuvent également être identifiés. En plus de vérifier l'usure interne d'une machine ou une éventuelle contamination de l'environnement, le test ICP peut également détecter des éléments additifs dans l'échantillon de lubrifiant. Additifs tels que anti-usure, extrême pression, détergents et dispersants

5. INTERPRÉTATION DES RÉSULTATS

Pour permettre la con:ecu et une interprétation significative des données d'échantillons de lubrifiants, six exigences principales doivent être prises en compte[36].

5.1. Connaissance des équipements surveilles

Avant qu'un élément de la centrale puisse être surveillé, il est essentiel d'établir sa fonction de conception, ses paramètres de fonctionnement et l'historique des défaillances récentes. La personne qui interprète les données doit disposer de suffisamment d'informations pour être en mesure de comprendre le fonctionnement de l'équipement, la disposition des composants au sein du système et si des équipements auxiliaires tels que des refroidisseurs, des filtres et/ou des pompes de lubrification sont installés. Il est également conseillé de connaître le cycle de service de l'équipement, par exemple 24 heures par jour, six jours par semaine ou huit heures par jour, cinq jours par semaine ? Les historiques d'entretien, lorsqu'ils sont disponibles, fournissent également un

excellent aperçu des types de défaillance attendus.

5.2. Métallurgie des composants

Les éléments d'usure trouvés dans un lubrifiant peuvent, lorsqu'ils sont correctement interprétés, permettre d'identifier un composant d'une installation comme source d'usure. Par conséquent, une connaissance approfondie de la métallurgie de toutes les pièces constitutives est nécessaire. En connaissant la métallurgie, il est alors possible de regarder les rapports d'éléments d'usure dans l'échantillon et de les comparer aux rapports d'éléments trouvés dans les composants, et ainsi d'identifier la source probable d'usure. Par exemple, considérons l'ensemble de données pour un échantillon d'huile, prélevé dans la boîte de vitesses d'une machine de découpe de charbon souterraine et présenté dans le tableau 16 L'examen des résultats montre que l'usure se produit à plus d'une source. En examinant le tableau des compositions métallurgiques, comme indiqué dans le tableau 17 on peut voir que la source d'usure la plus probable est les engrenages et les sélecteurs de vitesses [37].

Élément	Fe	Cu	Zn	Pb	Sn	Ni	Cr	moi s	Mn
ppm	440	110	3	4	dix	17	3	1	2

Table16: résultats d'analyse ICP

Composant	%	Fe %	Cr %	N %	mois %	Mn %	Pb %	Cu %	Zn %	Sn
Cages de roulement							0,1	60,5	39,5	
Roulements à éléments roulants		96,8	1.36			0,52				
Engrenages		94,72	0,85	3.4	0,17	0,45				
Sélecteurs de vitesse				1.0			3.5	87,0	2,0	7,5
Arbres		95,74	1.15	1,55	0,27	0,57				
Boîte de vitessesenveloppe		93,37				0,3				

Table17:Métallurgie des composants

la rapport nickel/chrome/molybdène suggère équipement porter par oppositionà celle de l'arbre ou du tubage. Il faut cependant comprendre qu'il existe également des cas où il est possible d'identifier le composant exact qui s'use. Un exemple typique serait un moteur dont la métallurgie est telle que l'identification des composants individuels est possible.

5.3. Contamination

L'un des principaux avantages de l'analyse d'huile par rapport à d'autres formes de surveillance de l'état est sa capacité à identifier et à surveiller les niveaux de contamination dans le lubrifiant. D'après notre expérience, la contamination est l'une des principales causes de défaillance dans une grande variété d'industries, par exemple l'exploitation minière, les usines de traitement, les carrières, la fabrication de composants et les produits de construction, etc. Des exemples typiques de contamination sont présentés dans le tableau 18 Après avoir identifié les sources potentielles de contamination, il est nécessaire de les analyser pour établir quels éléments peuvent être présents et dans quelles proportions. Par exemple, comme

indiisfry	contamination
Exploitation miniere Usine de traitement Extaction Fabrication de composants Fabrication de lacier ceramique	Poussiere de pierre minerai eau Materiau de traitement poussiere eau produit chimiques Poussiere de pierre eau Liquides de coupe poussiere eau copeaux Calamine poussiere eau Argiles produits chimiques poussiere eau

Table 18 :Exemples de contamination

Contaminant	Elements detectes
Gypse	Calcium soufre
Fluides de coupe solubles	Sodium bore soufre potassium
Poussiere de pierre	Silicium aluminium calcium magnesium

Table 19 :Éléments de contamination typiques

montré dans le tableau 19 et une fois que cela a été établi, il est possible d'identifier les contam

5.4. Comprendre le lubrifiant utilize

Pour tirer le maximum de profitde la surveillance de l'état par l'analyse de l'huile, non seulement une compréhension approfondie de l'équipement surveillé est requise, mais également une connaissance approfondie des lubrifiants, de leurs ensembles d'additifs et de leurs applications. L'analyse du lubrifiant doit fournir des informations non seulement sur l'usure et la contamination, mais également sur le lubrifiant lui-même. Les types de tests qui montrent l'état du lubrifiant sont, par exemple, la viscosité, l'indice de base total, l'indice d'acide total et l'analyse spectroscopique des éléments additifs. A partir de ces tests, on peut déterminer si le lubrifiant utilisé est tel que spécifié pour l'équipement en question, ou s'il est contaminé par une autre qualité d'huile1. Dans ce dernier cas, des tests supplémentaires à ceux énumérés ci-dessus peuvent être nécessaires pour identifier le contaminant. Par exemple, la chromatographie gaz-liquide ou la spectroscopie infrarouge.

Par exemple, considérons un fluide de transmission automobile utilisédans une boîte de vitesses semi-automatique d'un camion à benne basculante. La transmission nécessitait un lubrifiant conforme à la spécification Allison C-3, et celle-ci devait fonctionner dans des conditions de charge élevée à un rapport inférieur pendant des périodes de temps anormalement longues. Le lubrifiant utilisé contenait un agent améliorant l'indice de viscosité qui, lorsqu'il fonctionne dans des conditions de cisaillement élevé, est susceptible de se détériorer et ainsi de donner une réduction de la viscosité du fluide. Les fabricants de transmissions ont recommandé une période de vidange d'huile de 1 000 heures, mais une surveillance régulière a produit la tendance illustrée à la figure 17.2. Bien que les résultats d'usure du métal aient tous montré des niveaux d'usure acceptables jusqu'à 500 heures, la

viscosité du lubrifiant au-delà de ce point est tombée en dessous de l'exigence Allison C-3. La conséquence en était une usure trop élevée. Il y avait deux réponses possibles à ce problème. Première, en raison de la sévérité de l'application, l'huile de transmission pourrait être changée à 500 heures et non aux 1000 heures recommandées. Deuxièmement, en ayant une compréhension approfondie des lubrifiants et de leurs applications, un fluide de transmission alternatif pourrait être recommandé. Cette dernière solution était [36].

6. Informations d'aide à la décision de maintenance

Pour une prise de décision de maintenance robuste, il est essentiel de relier l'appréhension technique du processus de dégradation à la collecte et à l'analyse de données pour évaluer l'état de l'équipement [38]. Un système d'aide à la décision de maintenance est donc nécessaire pour aider les équipes techniques, de maintenance et opérationnelles à analyser les informations LCM, générer des résultats et des connaissances à utiliser dans la prise de décision de maintenance. Au cœur du succès d'un système d'aide à la décision se trouve la connaissance des domaines d'application et des approches appropriées, spécifiques au besoin de maintenance et aux données d'analyse disponibles, qui doivent être sélectionnées et utilisées avec prudence pour garantir une décision de maintenance judicieuse. Pour un tel, les domaines d'application suivis ensuite par les approches utilisées lors de l'extraction et l'application des connaissances contenues dans l'analyse des lubrifiants sont passés en revue dans les prochaines sections de cette étude. 3.

7. Application du LCM en maintenance

L'application du programme LCM dans la prise de décision de maintenance peut être traitée en trois catégories complémentaires, qui sont : la détection, le diagnostic et le pronostic [39]. Le pronostic traite de la prédiction des performances futures d'un système en analysant sa dégradation ou son écart par rapport à l'état ou à la condition attendus dans ses opérations de routine. Le pronostic implique à la fois de confirmer si un défaut existe et de déterminer la durée de vie utile restante (RUL) pour déterminer le temps d'intervention de maintenance, par exemple, l'augmentation du nombre d'éléments d'usure pourrait être utilisée pour prédire la durée de vie utile d'une machine [41]. Dans le pronostic, un programme LCM utilisant des données historiques pour dériver des modèles indicatifs de défauts d'équipement et prédire la RUL du lubrifiant ou de l'équipement peut être développé. Cela peut s'appuyer sur un modèle prédictif pour prévoir les pannes critiques avant qu'elles ne surviennent, ce qui permet finalement une meilleure planification, planification et/ou intervention de la maintenance. L'état de l'huile de lubrification et de son système de circulation reflète l'état de santé de la machinerie et des composants lubrifiés, par exemple, la contamination par le sodium a pour effet résultant un colmatage du filtre [40]. En conséquence, la détection précoce d'une déviation des paramètres du lubrifiant permettra une intervention rapide et opportune pour corriger la condition ou l'état. En outre, un diagnostic, par exemple, à l'aide d'une analyse des métaux d'usure peut être effectué pour localiser un composant défectueux, si une action immédiate n'est pas possible ou si le niveau de détérioration est supérieur à celui permettant une intervention. Comme dans d'autres domaines, l'extraction des connaissances peut être réalisée en associant ou en extrayant des modèles dans les paramètres des échantillons d'huile suivant une technique univariée ou multivariée [42]. Les modèles extraits peuvent être appliqués de plusieurs manières avec des avantages potentiels tels que la réduction des coûts de maintenance, la réduction des déchets et une intervention de maintenance rapide et précise. Parmi les exemples d'application de ces

connaissances, citons notamment la détermination et la prédiction de l'état de santé actuel et futur de la machinerie et du lubrifiant, ainsi que la prédiction de la durée de vie utile restante (RUL) de la machinerie et du lubrifiant. et une intervention de maintenance rapide et précise. Parmi les exemples d'application de ces connaissances, citons notamment la détermination et la prédiction de l'état de santé actuel et futur de la machinerie et du lubrifiant, ainsi que la prédiction de la durée de vie utile restante (RUL) de la machinerie et du lubrifiant. et une intervention de maintenance rapide et précise. Parmi les exemples d'application de ces connaissances, citons notamment la détermination et la prédiction de l'état de santé actuel et futur de la machinerie et du lubrifiant, ainsi que la prédiction de la durée de vie utile restante (RUL) de la machinerie et du lubrifiant.

8. Approches LCM dans l'aide à la décision de maintenance

L'utilisation du LCM dans la maintenance a suscité un grand intérêt académique et de maintenance dans un passé récent. Récemment, une littérature considérable s'est développée autour du thème de l'application du LCM dans la maintenance, non seulement comme signal d'alerte précoce mais aussi pour le diagnostic et l'investigation des pannes (analyse des causes profondes). Une recherche dans la littérature a révélé peu d'études ayant passé en revue certaines sections du LCM (voir section 2.2) et rarement passé en revue toutes les approches appliquées à l'aide à la décision de maintenance. Cette section passe en revue les diverses approches utilisées lors de l'application du LCM dans la maintenance vers les trois régimes d'application de détection, de diagnostic et de pronostic. La figure 55 illustre la classification proposée des approches dans cette revue, à savoir statistique, basée sur un modèle, intelligence artificielle et hybride, comme examiné dans la section suivante.

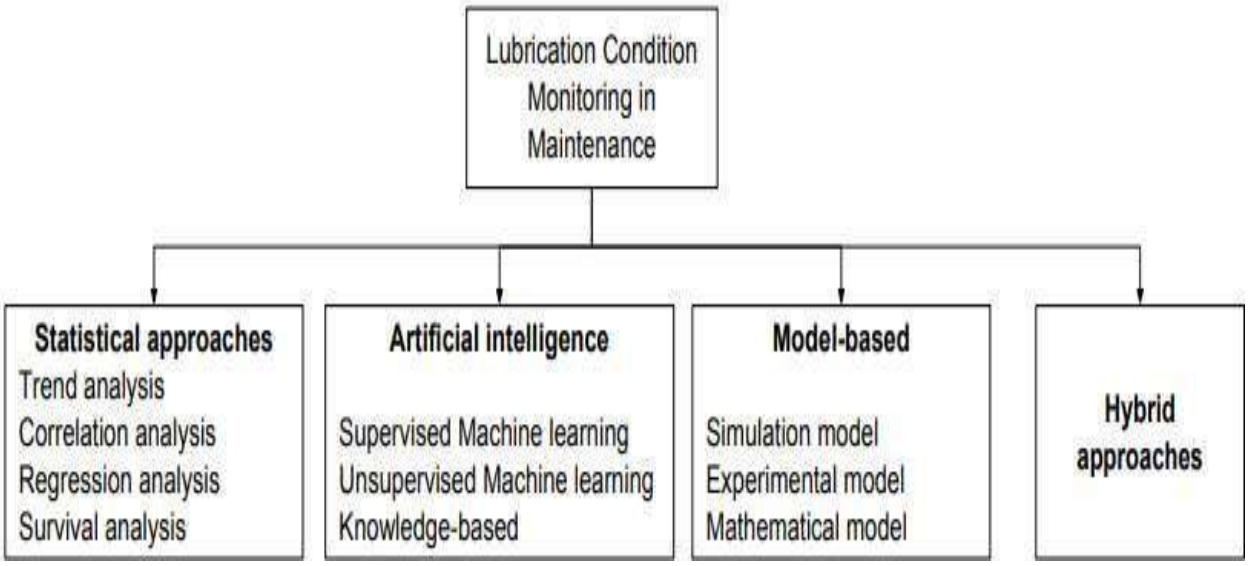


Figure 55 :Approches de surveillance de l'état des lubrifiants dans l'aide à la décision de maintenance

9. CONCLUSION

Une analyse d'huile correctement appliquée peut être utilisée comme méthode efficace de surveillance de l'état d'un élément de l'installation. La principale force de cette technique est sa capacité à identifier à la fois l'usure et la contamination à un stade précoce, permettant ainsi de prendre des mesures correctives pour prévenir les pannes d'équipement et/ou optimiser la planification de la maintenance. L'analyse de l'huile s'est avérée dans de nombreuses industries être une méthode efficace pour contrôler la contamination, réduire l'usure et améliorer la fiabilité de l'usine, ce qui réduit par la suite les coûts de maintenance et de production. Avec l'utilisation croissante des programmes de maintenance planifiée informatisés inants de processus dans le lubrifiant.

Conclusion générale

L'objectif principal des travaux présentés dans cette thèse est de mieux comprendre le phénomène de la lubrification, de souligner l'importance des lubrifiants dans le travail des moteurs et des organes des machines tournantes et de choisir une qualité.

L'analyse de l'huile de synthèse fait l'objet de ce travail.

La première partie de notre travail nous a permis de comprendre le rôle et les caractéristiques de la maintenance et d'appréhender le contrôle non destructif

Pour qu'une entreprise soit compétitive et reste compétitive, elle doit toujours produire mieux (de la qualité) au moindre coût. Pour réduire ce coût, des produits plus rapides et ininterrompus sont fabriqués sans défauts afin d'atteindre une production maximale par unité de temps.

Les CND n'ont pas d'objectifs pour détecter les défauts matériels en fabrication, les défauts de fatigue optiquement indétectables (fissuration) qui provoquent des bris de matériaux en maintenance, il est important de suivre l'évolution de ces défauts/vitesse de propagation) et de changer sa pièce avant de casser

La deuxième partie de notre travail est consacrée à une meilleure compréhension du phénomène de lubrification, en insistant sur l'importance de l'analyse d'huile comme méthode robuste de surveillance et de diagnostic,

Nous avons étudié le développement caractéristique de l'échantillon d'huile de SAE 40 et 20W40 en particulier de différentes viscosités par la méthode d'essai ASTM.

Nous avons vu que l'huile subit également de nombreuses modifications théologiques, physiques et chimiques lors de la lubrification, et le lubrifiant ne peut échapper à la contamination des particules métalliques d'usure du moteur qui affectent sa structure.

Enfin, nous avons mené une étude de cas et détecté des défauts et des erreurs mécaniques grâce à l'analyse d'huile industrielle

Références bibliographiques

[1] GUEMANA MOULOUD ;Cours de Cours de Maintenance Industrielle Auteur
[2] FRANCOIS MONCHY et JEAN-PIERRE VERNIER : maintenance (Méthode et organisation). Dunod , 2010
[3] TOUAMA Elhadj, « Evaluation des performances de la maintenance des systèmes de production » Mémoire de Master en génie électrique, université de M'sila, Juin 2014.
[4] Negadi Ali, « la maintenance des Equipements de forage (CAS TP127 HASSI MESSAOUD) » Mémoire de master génie mécanique, université ABDOU BEKR BELKAID-TLEMCEN, juin 2014
[5] ASBAI Samir, «Evaluation des caractéristiques de la sûreté de fonctionnement d'une turbine à gaz» Mémoire de Master en Génie Mécanique, Université de Bejaïa, 2017
[6] BEN DJAAFER Ahmed, «Réalisation d'un plan de maintenance préventive systématique pour l'amélioration de la sûreté de fonctionnement d'un système électromécanique» Mémoire de Master en génie électrique, université de M'sila, 2013
[7] P. Durouchoux, « La recherche en contrôle non destructif», traitement du signal, Vol 2- N0 5 Sp, 1985.
[8] V. Doirat, « Contribution à la Modélisation des systèmes de Contrôles non Destructifs par Courants de Foucault, application à la caractérisation physique et dimensionnelle de matériaux de l'aéronautique», Thèse de doctorat, Nantes, France
[9] M. Guemana, «cours de contrôle non destructif », Université de Medea
[10] Dr. Hadj brahim boujemaa , «cours de contrôle non destructif généralités », Institut supérieur d Etudes technologiques , ISET Silina , Tunisie 2018
[11] Dr. Hadj brahim boujemaa , «cours de contrôle non destructif examen visuel et magnétoscopie », Institut supérieur d Etudes technologiques , ISET Silina , Tunisie 2018
[12] Dr. Hadj brahim boujemaa , «cours de contrôle non destructif la magnétoscopie », Institut supérieur d Etudes technologiques , ISET Silina , Tunisie 2018
[13] Dr. Hadj brahim boujemaa , «cours de contrôle non destructif la la radiographie », Institut supérieur d Etudes technologiques , ISET Silina , Tunisie 2018
[14] Dr. Hadj brahim boujemaa , «cours de contrôle non destructif la les ultrasons », Institut supérieur d Etudes technologiques , ISET Silina , Tunisie 2018
[15] – PAJANI (D.) - Thermographie infrarouge. - Techniques de l'Ingénieur, R 2 740, traité Mesures et Contrôle, juil. 1994.
[16] : Don M, Pirro; Martin Webster; Ekkehard Daschner (2016). Lubrication Fundementals (Third Edition, Revised and Expanded edition).
[17] L. Laib, Etude de la stabilité à l'oxydation des huiles lubrifiantes algériennes (pour moteurs à essence). Mémoire de magister, Université de Boumerdes, 2010.
[18] Y. Benlalli, Modélisation numérique du comportement dynamique d'un film d'huile dans un roulement à billes. Thèse de doctorat, Université d'Annaba, 2008.
[19] R. Keith Mobley, "Maintenance fundamentals", livre 2 Edition Butterworth-Heinemann , USA, 2004.
[20] J. M. Georges, Frottement, usure et lubrification, livre Edition Eyrolles, collection Sciences et technique de l'ingénieur, janvier 2000.
[21] D. M. Pirro, A. A. Wessol et J.G. WILLS, "Lubrication fundamentals", 2 Edition, Virginia, 2001.

[22] J .P. Canselier, “Energie et formulation”, Les cahiers de formulation, Vol. 13, Edition EDP Sciences, France, 2005, p. 61-62.
[23] B. Sillon, Les lubrifications pour automobiles, Société Française des chimistes l’actualité chimique, cahier technique Octobre 2003.
[24] M. Chabanel, P. Gressier. Liaison chimique et spectroscopie. Ellipse (1991).
[25] Benzing R, Goldblatt I, Hopkins V, Jamison W, Mecklenburg K, Peterson M. Friction and wear devices. American Society of Lubrication Engineers (1976)
[26] S. Tsiareshka. Master of Science in Mechanical Engineering. Georgia Institut of Technology (2006)
[27] P. Vahaoja. Oil analysis in machine diagnostics. ACTA Universitatis Ouluensis. A. Scientiae Rerum Naturalium 458 (2006).
[28] James W. Ball, D. Kirk Nordstrom, Everett A. Jenne, Davison V. Vivit. Chemical analysis of hot springs, pools geysers, and surface waters from yellowstone national park, wyoming and vicinity. Science for a changing world (1998).
[29] Joint oil analysis program manual (Volume I). 0817LP1046015. Direction of Commander, Naval Air Systems Command (2005).
[30] Mémoire caractérisation dune huile moteur Universitéa.Mira-Bejaia 2017 / 2018
[31] Michael TRAUTWEIN, Gerd Hilgers, Franz HUNDS, Bruno STEGEMANN, G. STEGEMANN, Ingenieur-gruppe Trieboteknik Wiefelstede, Mannesmann REXROTH, Harry DAUTZENBERG, Gregor KRAUSE, Anneliese BOPY, Joachim FRENZEL-PAUL, Gestion de la maintenance, CDG (Carl Duisberg Gesellshaft), Aachen- Köhl-Berlin,1988-2000.
[32] Jean –Marie DE CONTO, Mesures physiques, Edition UIT Grenoble.
[33] ANALYSE DES DEGRADATIONS DES HUILES DE LUBRIFICATION MOTEUR RAMIELSON Luis Rufin(*), RAJAONARISON Eddie Frank, RANDRIAMOROSATA Josoa, BOURGEON Andy Marlon , RAKOTOARISOA Haga Johary, RAJOMALAHY Julien Institut d’Enseignement Supérieur d’Antsirabe Vakinankaratra+
[34] Castrol, ABC du graissage, Structure, Utilisation et Propriétés des lubrifiants. HC 04(2003)
[35] K. Malal, Thèse de doctorat, Contribution à l’étude de l’influence de la rigosité et des éffets non newtoniens dans le contacts sevères lubrifiés, Institut national des Sciences Appliquées de Lyon (2003)

[36] Riley, N.H. et Mann, M.D. (1988) Condition Monitoring-A Basic Guide to Techniques and their Applications, I.Prod.E, Londres, UK.
[37] Riley, N.H. et Mann, M.D. (non daté) The Role of Lubricant as a Condition Monitoring Tool, Century Oils Application Note.
[38] D. Xiao-feng, G. Yu-jiong, Y. Kun, Study on intelligent maintenance decision support system using for power plantequipment, 2008 IEEE Int. Conf. Autom. Logist. (2008) 96–100. doi:10.1109/ICAL.2008.4636127.
[39] J. Gertler, Fault Detection and Diagnosis, Encycl. Syst. Control. (2015) 417–422. doi:10.1007/978-1-4471-5058-9.
[40] J. Barker, S. Cook, P. Richards, Sodium Contamination of Diesel Fuel, its Interaction with Fuel Additives and the Resultant Effects on Filter Plugging and Injector Fouling, SAE Int. J. Fuels Lubr. 6 (2013) 826–838. doi:10.4271/2013-01-2687.
[41] J.Z. Sikorska, M. Hodkiewicz, L. Ma, Prognostic modelling options for remaining useful life estimation by industry, Mech. Syst. Signal Process. 25 (2011) 1803–1836. doi:10.1016/j.ymssp.2010.11.018.
[42] J. Wakiru, L. Pintelon, P. Chemweno, P. Muchiri, A lubricant condition monitoring approach for maintenance decisionsupport - a data exploratory case study, in: Maint. Forum, 2017: pp. 69–82.