

Université Kasdi Merbah - Ouargla
Faculté de sciences appliquées
Département de Mécanique



Mémoire

MASTER PROFESSIONNEL

Domaine : Sciences techniques

Filière : Génie mécanique

Spécialité : Maintenance industriel

Présenté par : *Oustani Mebrouk / Nedjaa Mohammed Mokhtar*

Thème

**ETUDE MAINTENANCE PREVENTIVE D'UN
TURBOCOMPRESSEUR PAR ANALYSE DES
HUILES**

Soutenu publiquement

Le : 08/06/2014

Devant le jury :

Mr. Issasfa. B

Président

UKM Ouargla

Mr. Karek Rabie

Encadreur/rapporteur

UKM Ouargla

Mr. Guebailia. M

Examineur

UKM Ouargla

Année Universitaire 2013/2014

Remerciements

Nous tiens tout d'abord à remercier ALLAH le tout puissant et miséricordieux, qui nous a donné la force et la patience d'accomplir ce modeste travail.

Nous tenons à remercier tous les enseignements du département génie mécanique et plus particulièrement notre promoteur: Mr. KAREK Qui nous a aidés durant l'élaboration de ce travail.

Nous tenons à remercier tous le personnel SONATRACH DP et GTFT.

Et tous ceux qui ont participé de loin ou de près et qui nous on aidés l'élaboration de ce mémoire de fin d'études.

MOHAMMED MOKHTAR * MEBROUK

SOMMAIRE

REMERCIEMENTS	
SOMMAIRE	
LESTE DE FIGURE	
LESTE DE TABLEAUX	
LISTE DES ABRÉVIATIONS	
INTRODUCTION GENERALE.....	1
PRESENTATION DU CHAMP DE GTFT.....	2
<i>Chapitre I : généralité du turbocompresseur</i>	----
Introduction...	8
I .1 Compresseur centrifuge.....	8
I .2 Types des compresseurs centrifuges Nouvo Pignons.....	10
I .3 Compresseurs axiaux.....	12
I .4 Description du compresseur centrifuge BCL 505 / N.....	13
Conclusion.....	15
<i>Chapitre II : Généralité sur la maintenance</i>	----
Introduction.....	17
II .1 Définition de la maintenance.....	17
II .2 Importance de la maintenance.....	17
II .3 Objectifs de la maintenance.....	18
II .4 Les niveaux de maintenance.....	18
II .5 Les opérations de la maintenance.....	21
II .6 Les différentes formes de la maintenance.....	22
II .6.1 Maintenance préventive	22
II .6.2 Maintenance corrective	23
II .7 La maintenance par l'analyse des huiles.....	23
II .7.1 Préparer les prélèvements d'échantillons.....	24
II .7.2 Préparer les étiquetages.....	24
II .7.3 Préparer les diagnostics.....	25
Conclusion.....	25

<i>Chapitre III : L'analyse des huiles</i>	----
Introduction.....	27
III .1 Rôle et fonctions des lubrifiants.....	27
III .2 Les additifs.....	27
III .2.1 Les antioxydants.....	27
III .2.2 Les anti-usures.....	27
III .2.3 Les additifs EP actifs.....	27
III .2.4 Les additifs anti-mousses.....	28
III .3 Analyse d'huile.....	28
III .3.1 Vérifications quotidiennes.....	28
III .3.2 Appareils portatifs d'analyse.....	31
III .3.3 Examens en laboratoire.....	31
III .3.4 Mesure de rigidité électrique.....	35
III .3.5 Règles de prélèvement d'huile.....	35
III .3.6 Vidange.....	36
III .4 Huile.....	36
III .4.1 Viscosités.....	36
III .4.2 Propriétés caractéristique des huiles.....	37
III .4.3 Principales classification.....	38
III .4.4 Principaux dispositifs de lubrification l'huile.....	39
III .5 Les graisses.....	41
III .5.1 Propriétés des graisses.....	41
III .5.2 Classification.....	42
III .5.3 Principaux dispositifs de graissage.....	42
III .6 Le régime de lubrifiant.....	43
III .6.1 Le régime onctueux.....	44
III .6.2 Le régime hydrodynamique.....	44

III .6.3 Lubrification limite.....	45
III .6.4 Lubrification « mixte »	45
III .6.5 Lubrification « pseudo-hydrodynamique ».....	45
III .6.6 Lubrification élasto-hydrodynamique	46
III .6.7 Lubrification hydrostatique ou aérostatique	46
III .7 Les poudres sèches	46
III .7.1 Utilisations.....	46
III .7.2 Modes d'application.....	46
III .7.3 Propriétés.....	47
Conclusion	48
<i>Chapitre VI : Partie expérimentale</i>	
Introduction.....	50
VI.1 Application des analyses d'huile.....	50
IV.1.1 Analyses d'huile avant mise en service.....	50
IV.1.2 Analyses d'huile après mise en service.....	51
Conclusion.....	53
CONCLUSION GENERALE	55
Annexe	56
BIBLIOGRAPHIQUES	58
Résumé	

LISTE DES FIGURES

Figure	Page
Figure 1: Localisation de champ GTFT.....	04
Figure 2 : L’organigramme Département maintenance.....	04
Figure 1.1: Compresseur centrifuge.....	09
Figure 1.2: Compresseur centrifuge MCL.....	10
Figure 1.3: Compresseur centrifuge 2MCL.....	11
Figure 1.4 : Compresseur centrifuge BCL.....	11
Figure 1.5: Compresseur centrifuge 2BCL.....	12
Figure 1.6: Compresseur axial.....	13
Figure 1.7 : Présentation du compresseur BCL 505 / N.....	13
Figure 1.8 : Codification du compresseur BCL 505 /N.....	14
Figure 2.1: Différents formes de maintenance.....	23
Figure 3.1: Tache d’huile.....	30
Figure 3.2: Les viscosités.....	36
Figure 3.3: Comparaison des classifications ISO et SA.....	39
Figure 3.4: Principe de la Lubrification par brouillard d’huile ou air-huile.....	40
Figure 3.5: Principe de la Lubrification par circulation d’huile.....	41
Figure 3.6: Exemple de graisseur automatique.....	43
Figure 3.7: Installation simplifiée de graissage centralisé.....	43
Figure 3.8: Exemple de régime onctueux.....	44
Figure 3.9: Le régime hydrodynamique.....	44
Figure 3.10: Lubrification limite.....	45
Figure 3.11: Lubrification « mixte ».....	45
Figure 4.1: Analyse de la viscosité (cSt).....	51
Figure 4.2: Analyse de l'acidité (mg KOH/g d'huile).....	52
Figure 4.3: Analyse teneur de métaux.....	53

Liste des tableaux

<i>Tableaux</i>	<i>Page</i>
Tableau 3.1: Classification ISO.....	38
Tableau 3.2 : Classification SAE.....	39
Tableau 3.3: Les Avantages et Inconvénients des graisses par rapport aux huiles.....	42
Tableau 4.1 : Seuils pour analyses d'huile.....	50
Tableau 4.2 : Résultats des analyses sur huile neuve.....	51

Liste des abréviations

AFNOR	Association Française de Normalisation
ASTM D	American Society For the Testing of Materials
AW	Anti-Wear
EP	Extrême Pression
ISO	International Organisation for Standardization
HIAC	Compteurs de particules dans les liquides
NLGI	National Lubricating Grease Institute
SAE	Society of Automotive Engineers
TAN	Total Acide Numbre
μ	Viscosité dynamique
ν	Viscosité cinématique
ρ	Masse volumique



Introduction générale

Introduction générale

Dans différents domaines de l'industrie et du transport, les machines tournantes ont un grand intérêt, elles sont le plus souvent stratégiques et vitales. Pour prévenir les défaillances et assurer une disponibilité optimale de ces machines il existe heureusement des outils de surveillances puissants tel que l'analyse vibratoire, l'analyse des lubrifiants, la thermographie et l'analyse acoustique, et d'autres tel que le CND qui entrent dans le cadre de la maintenance préventive conditionnelle.

Donc la surveillance dans notre étude en ce qui concerne les analyses des échantillons du fluide qui permettent d'une part de déterminer les caractéristiques physico-chimiques de l'huile afin de déterminer sa dégradation ou bien sa contamination à un stade précoce.

L'objectif du travail présenté ici est d'appliquer un outil de surveillance sur le turbocompresseur composé de un compresseur centrifuge BCL 505 N et turbine à gaz MS 5002C dans Le champ Tin Fouye Tabankourt (TFT).

Notre mémoire subdivise en trois parties, la première partie est présentée une vue sur le lieu de complexe GTFT, la deuxième partie est la synthèse bibliographique divisée en trois chapitres : premièrement généralité sur les turbocompresseurs et présentation sur le compresseur centrifuge BCL 505 N, ensuite la deuxième chapitre est généralité sur la maintenance, et le troisième chapitre est présentée la notion de lubrification et la méthode d'analyse des huiles. En fin la dernière partie est présentée un exemple d'une maintenance préventive conditionnelle d'un turbocompresseur par analyse des huiles.

Présentation générale de Le champ Tin Fouye Tabankourt (TFT)

Le champ Tin Fouye Tabankourt (TFT) qui a découvert en **1961**, est un champ d'huile avec un gas-cap très important. Le gaz qui est contenu dans le chapeau de gisement est un gaz a condensât. L'exploitation de ce champ n'a été réalisée qu'en **1999** par le GTFT. [13]

L'Aspects contractuels de ce projet TFT a été faite comme ça :

- ✓ Contrat d'association signé le **28 Janvier 1996**.
- ✓ Durée : 20 ans après fin du développement (3 ans).
- ✓ Association : SONATRACH 35%

TOTALFINAELF 35%

REPSOL-YPF 30%

- ✓ Opérateur : Groupement organe conjoint sous l'autorité d'un Conseil de gestion.

Dans le cadre de nos études, nous avons effectués une tournée d'information d'un mois au sein des différentes structures du Groupement-TFT, et essentiellement dans le département Engineering&Production. Pendant cette tournée nous avons suivre ce programme :

- ✚ Service HSE : la journée du 28/07/08 ;
- ✚ Département exploitation : du 29 au 30/07/08 ;
- ✚ Département maintenance : du 31/07/08 au 01/08/08 ;
- ✚ Département logistique : la journée du 02/08/08 (matin) ;
- ✚ Section ADM : la journée du 02/08/08 (après midi) ;
- ✚ Département EP : les restes des jours.

1- Situation géographique et géologie :

Le champ de Tin Fouye Tabankourt (TFT) est situe environ 400km au sud Est de Hassi Messaoud et de 300km au nord ouest de in Amenas. Le champ gazier de GTFT est constitué de gas cap du champ TFT est situe de 450km au sud Est de Hassi Messaoud et de 260 km au nord ouest de in amenas.

La superficie du champ de GTFT est de 1500km² avec des dimensions de 50km de l'ouest vers l'Est, et 47km du sud vers le nord. Sa structure fait partie d'un ensemble de structure formant le bassin d'Illizi, qui est situé dans la partie sud Est du Sahara Algérien et qui est limité au sud par le massif du Hoggar, a l'ouest par le haut fond Amguid-El Biod Hassi Messaoud. Le bassin d'Illizi s'entend vers le nord jusqu'à la latitude 32°N approximativement et se prolonge a l'Est jusqu'en Libye .Une grande partie de cette région est recouvert de dunes, notamment dans la partie septentrionale ou se trouve le Erg oriental qui est d'accès difficile a cause de hautes dunes qui le recouvrent. [13]

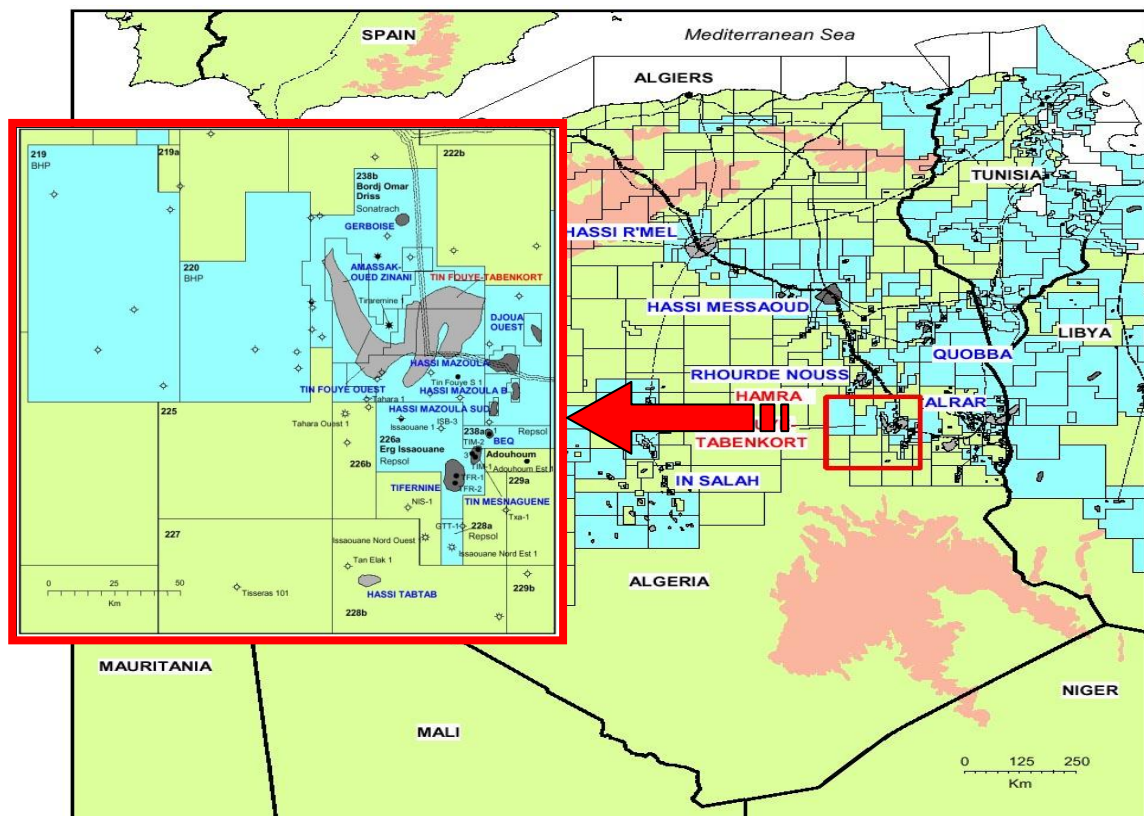


Figure 1: Localisation de champ GTFT

2- Département maintenance :

L'organigramme de ce département est présent comme suite : [13]

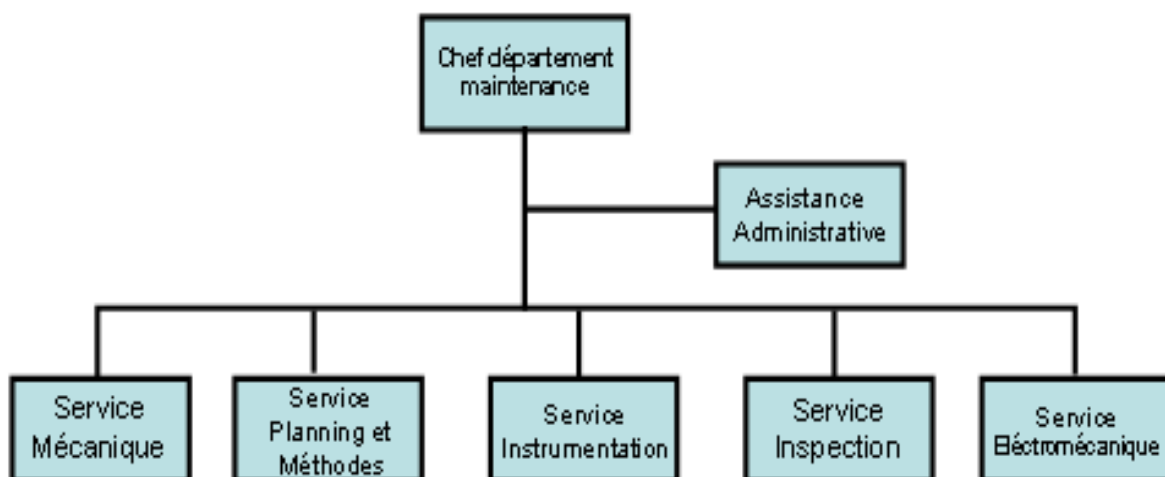


Figure 2 : Organigramme de département maintenance

Le département maintenance est une structure chargée de la maintenance (préventive, curative et systématique) et l'entretien des équipements des unités opérationnelles de complexe

de traitement et certain type d'équipement dans les puits et les collecteurs. Ce département est composé de 5 services.

A. Service mécanique :

Ce service est chargé des fonctions suivantes :

- ⇒ Réalise les révisions générales ou partielles (Groupe électrogène, groupe de pompage, pompe centrifuge et volumique, turbine...).
- ⇒ Le contrôle de la réalisation des travaux mécanique, chaudronnerie...etc.
- ⇒ Le contrôle périodique de la PSV dans les puits.
- ⇒ Etablir les rapports techniques de révision des machines.
- ⇒ Effectue la maintenance et l'entretien des machines tournantes.
- ⇒ Effectue des travaux de l'usinage et soudage au niveau de l'atelier.
- ⇒ Contrôler et tester les pièces mécaniques.

B. Service planning et méthode :

Ce service est un service de support pour les différents services maintenance (électromécanique, mécanique, instrumentation, inspection), a pour mission de la gestion de la GMAO (Gestion Maintenance Assisté par Ordinateur), qui prend en charge toute la planification et met en œuvre son application sur le terrain. Il participe en grande partie à la réalisation de la planification des arrêts programmés, de la préconisation de la pièce de rechange ainsi qu'à demande de modification des installations, sa mission est aussi le reporting des statistiques et la conservation des historiques des travaux effectués sur les équipements. [13]

C. Service électromécanique :

Elle s'occupe de l'entretien des appareils électriques tels que moteurs, transformateurs, sous stations électriques, l'éclairage.....,

L'alimentation électrique normale est fournie par l'unité de production de l'énergie CPC par une seule ligne de transmission aérienne de 60 KV. La ligne de transmission aboutit aérienne de 60KV. La ligne de transmission aboutit dans le parc de commutation 60KV de la sous station de TFT. Le parc de commutation 60KV distribue l'électricité à la sous station principale de l'unité d process et à un parc de commutation 5.5KV adjacent affecté à la base industrielle et à la base de vie. La sous station principale distribue l'électricité aux trois sous station de zone et aux utilisateurs individuels selon un plan de sélection secondaire. Se référer au schéma unifilaire général N° 100-070-E101.

Le parc de commutation 60KV est un parc extérieur muni de quatre sectionneurs amovibles SF (CB-8210/8220/8221/8222, de trois transformateurs de tension, de commutateurs de mise à la terre, de dispositifs de protection contre les surintensités, d'isolateurs et d'une barre omnibus tubulaire rigide supportée par une charpente en acier galvanisé. Un sectionneur reçoit la

ligne de transmission 60KV, deux sectionneurs avec transformateurs auxiliaires alimentent la sous station principale de l'unité de traitement de gaz de TFT et le quatrième sectionneur avec transformateur auxiliaire alimente la parc de commutation 5.5KV de la base industrielle et de la base de vie.

Les sous station principale sont logés dans un bâtiment métallique (B-006) préfabriqué, climatisé et pressurisé. Elle comporte l'appareillage de commutation 5.5KV (SG-8310), les centres de commande des moteurs 5.5kv (MC-8311 A/B), l'appareillage de commutation 400KV (SG-8312), les centres de commande des moteurs 400 KV (MC-8313 A/B et MC-8330) et le tableau de relais de la sous station 60KV. Le matériel et le bâtiment sont fournis par siemens sous forme d'ensemble préfabriqué. L'alimentation 5.5KV est distribuée par câble souterrain, de la sous station 60KV par les transformateurs 10MVA à l'appareillage de commutation 5.5KV (SG-8310). L'appareillage de commutation alimente les centres de commande des moteurs (MC-8311 A et MC-8311 B), les pompes incendie, les transformateurs de puissance (PT-8320 e PT-8321), le transformateur de puissance des services essentiels (PT-8322) et les six transformateurs de puissance des sous stations d'unité, par le biais de câbles installés dans des chemins de câble. Les centres de commande des moteurs 5.5KV (MC-8311 A et MC-8311B) alimentent les moteurs de forte capacité (133KW et plus). [13]

D. Service inspection :

Le but essentiel ce service est de s'assurer des conditions physiques de l'appareil et de déterminer aussi le type, le taux et les causes des détériorations.

L'inspection périodique peut aider l'opérateur à élaborer le programme de maintenance. Le taux de corrosion et l'épaisseur résiduelle déterminés lors des inspections sont des données d'une importance capitale pour prévoir le remplacement ou réparation des équipements. Ces prévisions sont un support pour planifier la maintenance et assurer la continuité des opérations tout en assurant la sécurité et la fiabilité des installations.

La mission de l'inspection s'appuie essentiellement sur la détermination de taux de dégradation d'un appareil ou une pièce. Les dégradations sont possibles sur toutes les surfaces des parois en contact avec un fluide organique et inorganique, de l'eau contaminée, de la vapeur ou l'atmosphère. La dégradation peut être sous forme électrochimique, chimique, mécanique, ou une combinaison des trois phénomènes. La dégradation peut être accélérée par la température, Vitesse d'écoulement, fatigue, contrainte, ...etc.

Les causes major de dégradation d'un appareil sont essentiellement la corrosion et l'érosion :

- ⇒ La corrosion est la première cause de dégradation d'un appareil à pression. Elle peut toucher n'importe quel endroit de l'appareil. La sévérité de la dégradation est en fonction de la concentration, température et la nature de l'agent corrosif présent dans le fluide et aussi en fonction de la résistance à la corrosion des matériaux de construction.
- ⇒ L'érosion peut être un facteur de dégradation dans le cas où il y a une restriction d'écoulement, changement de direction ou une vitesse d'écoulement élevée. Pour les échangeurs, l'érosion peut être observée au niveau des piquages d'entrée et sortie du fluide et sur la paroi opposée à l'entrée du fluide.

Occasionnellement, il peut y avoir une combinaison des deux phénomènes corrosion et érosion pour augmenter le taux de dégradation. Ce phénomène est observé dans un échangeur de condensât au niveau des joints des tubes avec la plaque tubulaire. [13]



Chapitre I
Généralité sur les
turbocompresseurs

Introduction

Les turbocompresseurs sont surtout utilisés dans les grandes installations industrielles et pour certaines applications spécialisées comme la compression de l'air d'admission d'une turbine. [1]

I . 1. Compresseur centrifuge:

Dans un compresseur centrifuge, le parcours de l'air s'effectue radialement à partir des roues, et l'air passe à travers des diffuseurs d'un étage à l'autre avant d'être refoulé. L'air peut être refroidi efficacement entre les étages en refroidissant le carter : on obtient ainsi une compression presque idéale à chaque étage. Sauf pour les compresseurs de très grandes dimensions, le rendement global des compresseurs centrifuges est inférieur à celui des compresseurs volumétrique à cause de la perte d'énergie important dans les diffuseurs. Les compresseurs centrifuges fournissent une pression de refoulement constante pour une vaste gamme de débit d'air. Le refroidissement entre les étages des compresseurs centrifuges est en général assuré par la circulation de l'eau dans la carter. Les appareils dont le refoulement est inférieur à 400 kPa (eff.) ne nécessitent habituellement pas de refroidissement.

Les compresseurs centrifuges fonctionnent à haut vitesse et la plupart des machines commerciales fonctionnent à environ 20000 tours par minute (tr/min). On peut obtenir des vitesses de 100000 tr/min dans les industries aéronautiques et aérospatiales.

Les avantages des compresseurs centrifuges deviennent lorsque les débits dépassent 1200 L/s. les principaux avantages de ces compresseurs sont les suivants : grande capacité, faible taux de vibrations, compacité, refoulement d'air sans huile et une capacité maximum inhérente à chaque machine. Les principaux désavantages comprennent la nécessité d'installer un multiplicateur de vitesse (s'il n'est pas entraîné par turbine), la faible jeu entre les pièces et le cout élevé de l'entretien. [1]

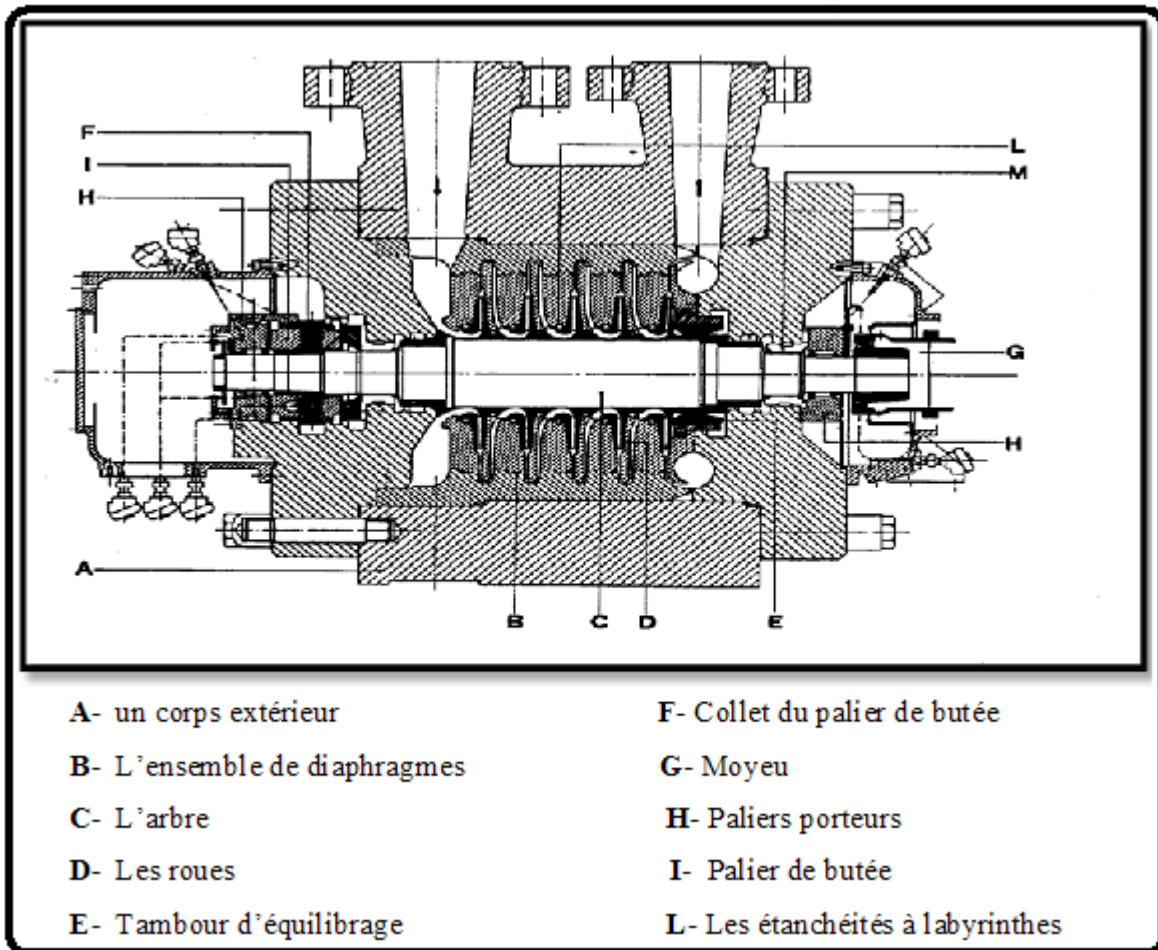


Figure 1-1: Compresseur centrifuge

I .1.1 L'ensemble statorique:

1. **Le Corps de compresseur** : est en forme de barillet, ouverte par l'aspiration finale et fermé par une bride de tête.
2. **L'ensemble de diaphragmes** : comprend le composant statorique et des étages de compression.
3. **Les étanchéités à labyrinthe** : sont installées dans les diaphragmes pour minimiser les fuites de gaz provenant des zones de refoulement et d'aspiration des roues ou impulseurs
4. **Les bagues d'étanchéités** : sont installées dans des rainures sur le pourtour du contre corps, empêchent les fuites de gaz vers des zones à pression inférieure.
5. **Paliers porteurs** : sont du type à patin oscillants et à lubrification forcée, l'huile de graissage passe à travers des orifices pour lubrifier les patins et taquets
6. **Palier de butée** : placé sur l'une des extrémités du corps pour absorber la poussée agissant sur le rotor
7. **Les étanchéités à labyrinthes** : installées entre les ensembles statorique et rotorique du compresseur pour réduire les pertes de gaz entre les zones à pression différente.

I .1.2 L'ensemble rotatif:

1. **Le rotor** : se compose d'un arbre, impulseurs et bagues d'écartement, il est soumis à une poussée axiale dirigée du côté d'aspiration, la poussée est équilibrée par le tambour d'équilibrage
2. **Le tambour d'équilibrage** : est un disque gabarié monté sur l'extrémité de l'arbre adjacent à la roue du dernier étage, sa pression égale à la pression d'aspiration

I .2 Types des compresseurs centrifuges Nouvo Pignons:

Il existe plusieurs types des compresseurs centrifuges : [2]

Compresseurs avec corps ouverts horizontalement

Les compresseurs avec corps ouverts horizontalement sont indiqués par le sigle MCL et peuvent être subdivisés à leur tour suivant le nombre d'étages compresseurs.

Compresseurs MCL: Ces compresseurs multi-étages comprennent un seul étage compresseur.

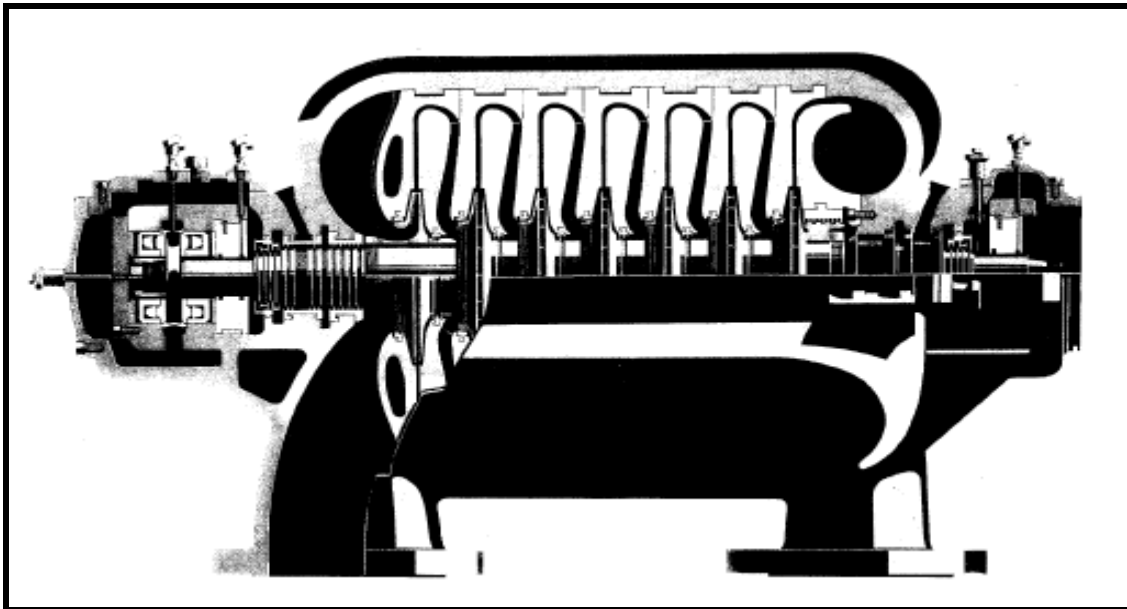


Figure 1-2: Compresseur centrifuge MCL

Compresseurs 2MCL: il s'agit de compresseurs multi-étages groupant deux étages compresseurs en série avec réfrigération intermédiaire dans la même machine.

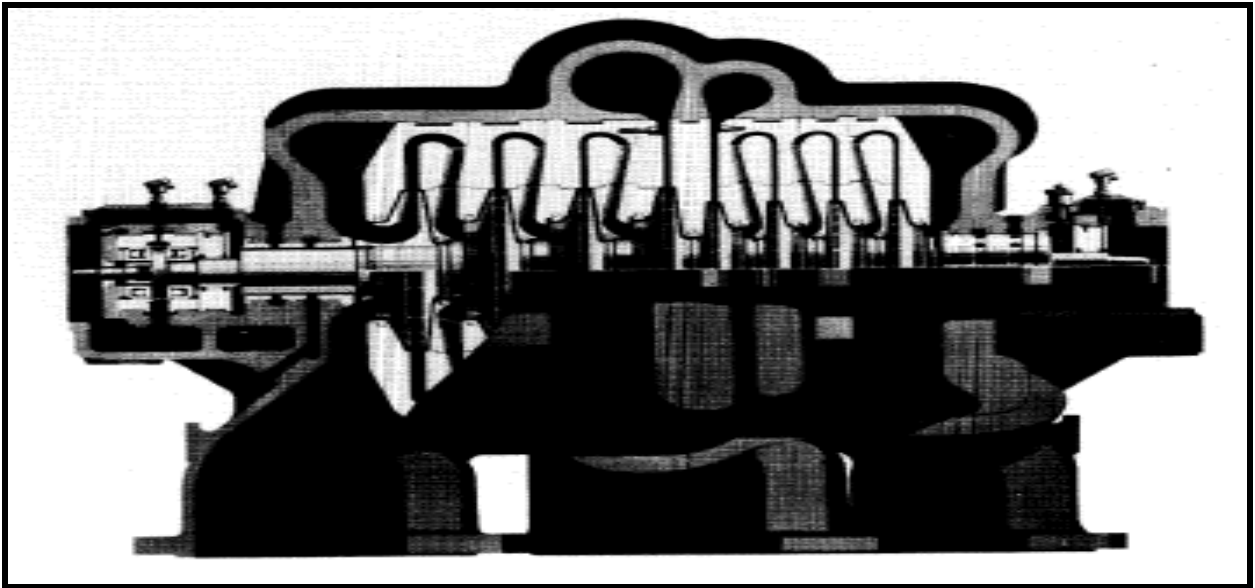


Figure 1-3: Compresseur centrifuge 2MCL

Compresseurs avec corps ouverts verticalement

Les corps ouverts verticalement sont constitués d'un cylindre fermé aux extrémités par deux flasques. C'est pour cette raison que ce type de compresseur est dénommé *barrel*. Ces compresseurs généralement multi-étages, peuvent marcher à des pressions élevées.

Le rotor et les diaphragmes situés à l'intérieur du corps ne diffèrent pas fondamentalement de ceux des compresseurs MCL.

Compresseur BCL : Compresseur de type (*barrel*) avec un étage de compression.

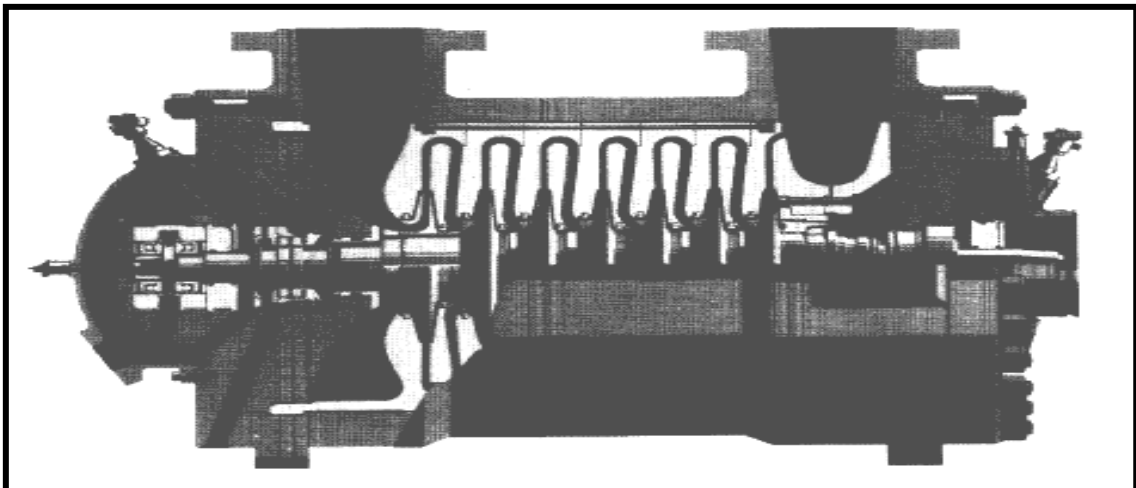


Figure 1-4: Compresseur centrifuge BCL

Compresseur 2BCL : Compresseur de type (*barrel*) avec deux étages de compression en série dans un seul corps.

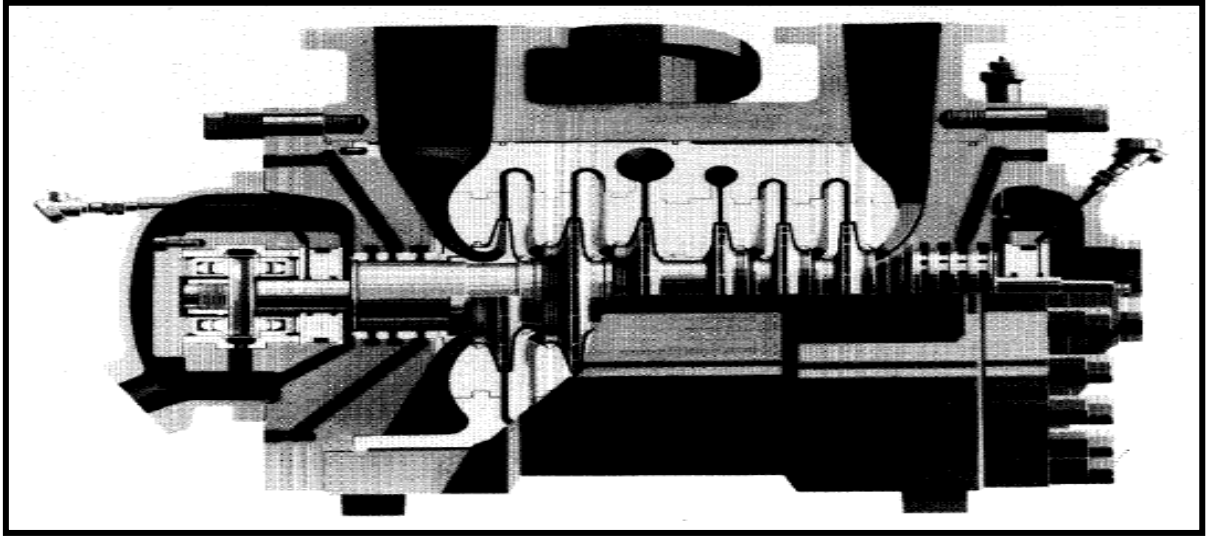


Figure 1-5: Compresseur centrifuge 2BCL

I .3 Compresseurs axiaux

Le parcours de l'air dans un compresseur axial est parallèle à l'arbre et s'effectue par le biais de couronnes d'aubes mobiles et fixes. La hausse de pression dans un étage ou à travers les aubes rotatives est restreinte parce qu'il est difficile de refroidir l'air à l'intérieur du carter. Pour refouler l'air aux mêmes conditions que celles d'un compresseur centrifuge, la vitesse d'un compresseur axial doit être de 25% supérieure.

Les principaux avantages d'un compresseur axial comprennent une mise de fonds et des coûts d'exploitation moins élevés pour des débits dépassant 65000 L/s et un air de refoulement exempt d'huile. Il faut toutefois que la demande en air soit relativement constante et très rapprochée de l'échelle de service pour que le compresseur assure un fonctionnement stable. Ces machines sont utilisées pour l'alimentation en air de combustion des turbines à gaz et des hauts fourneaux d'aciéries. [1]

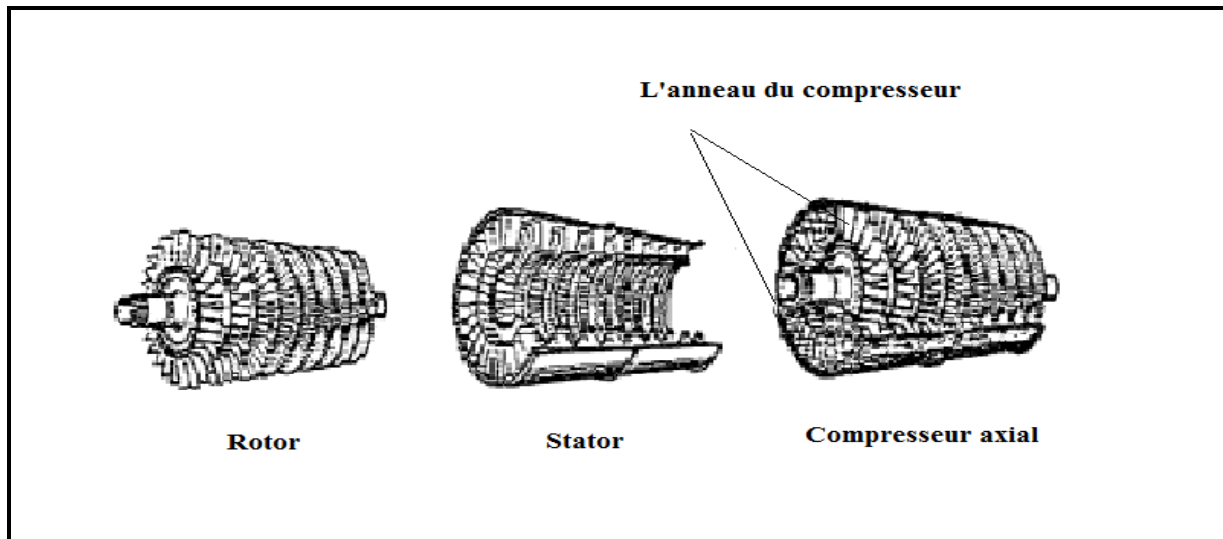


Figure 1-6: Compresseur axial

I .4 Description du compresseur centrifuge BCL 505 / N

I .4.1 Présentation du compresseur BCL 505 / N: [3]

Le compresseur sis à GTFT, du constructeur NUOVO PIGNONE, le gaz naturel est comprimé de 52.10 barre à 81.75 barre au moyen d'une étape de compression utilisant un compresseur centrifuge de type BCL 505/N.

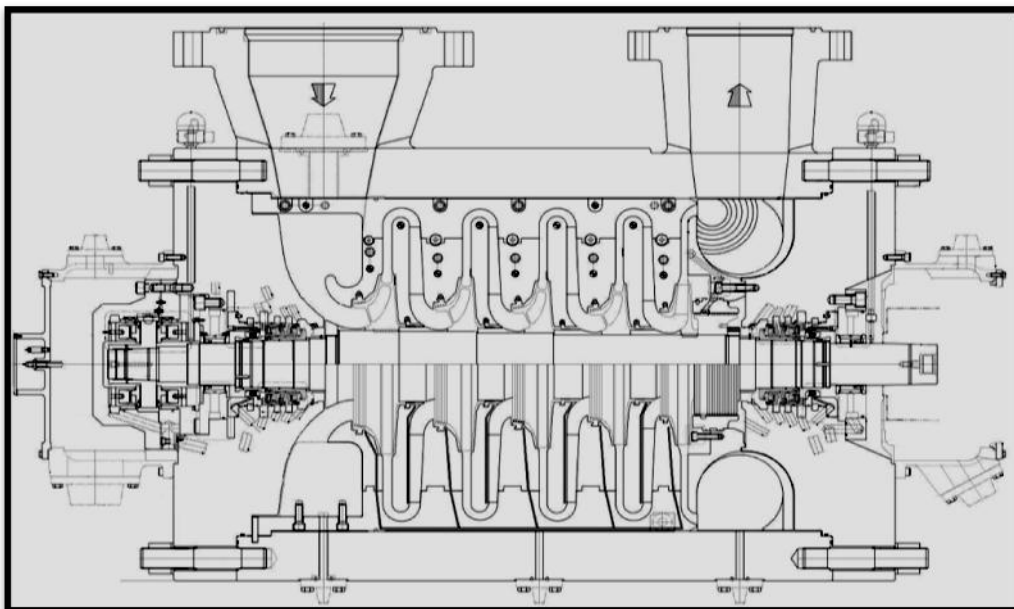


Figure 1.7 : Présentation du compresseur BCL 505 / N

Les compresseurs centrifuges, sont codifiés par des lettres majuscules et des numéros.

Les lettres BCL, caractérisent un compresseur, à corps ouvert verticalement :

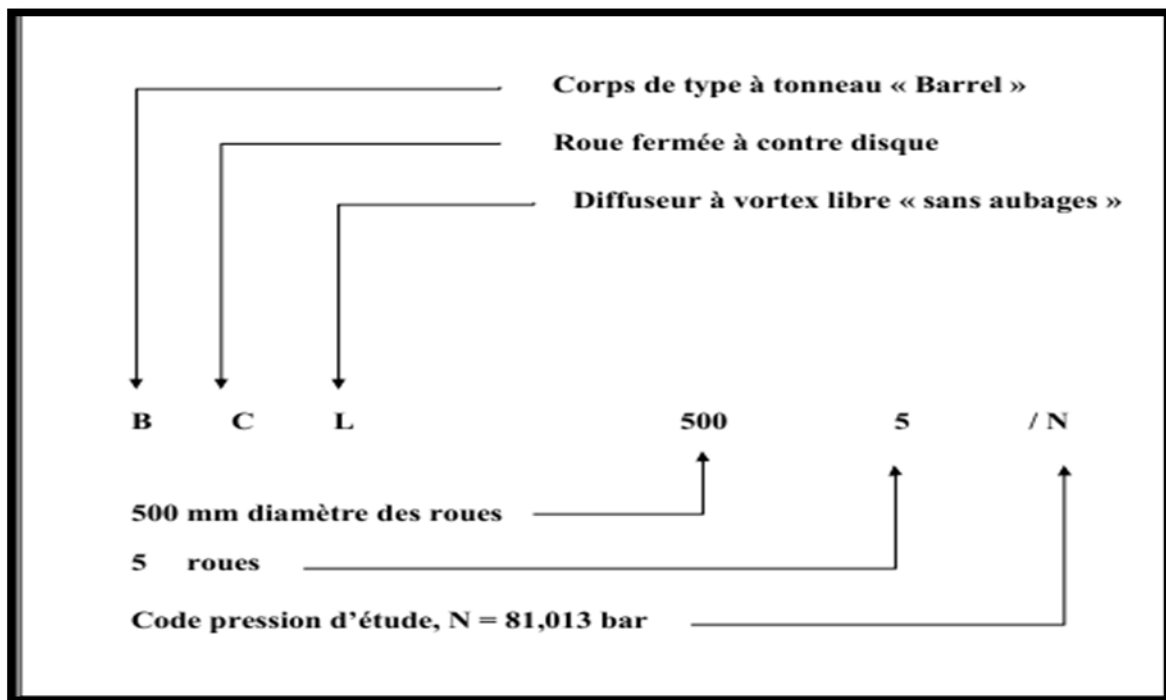


Figure 1.8 : Codification du compresseur BCL 505 / N

I.3.2 Caractéristiques du compresseur BCL 505 / N [3]

Poids du rotor.....	752 Kg.
Poids du rotor + diaphragme.....	16500 Kg.
Poids Totale.....	18500 Kg.
Gaz comprimé.....	Natural gaz.
Écoulement Massique.....	448300 Kg / h.
Poids moléculaire.....	21,24 g / mole.
Facteur de compressibilité.....	0,877.
Pression d'aspiration.....	52,100 bar.
Température d'aspiration.....	46,60 °C.
Pression de refoulement.....	81,013 bar.
Température de refoulement.....	83,07 °C.
Puissance de l'arbre.....	8557 KW.
Vitesse de rotation.....	5541 rpm.
Sens de rotation.....	Anti horaire

Conclusion

Une différence évidente entre les deux types de turbocompresseurs est que, dans un compresseur axial, le fluide (air) quitte le compresseur dans une direction axiale cependant dans le cas des compresseurs centrifuges, il le quitte dans une direction perpendiculaire à l'axe de rotation.



Chapitre II
Généralité sur la
maintenance

Introduction

La fonction maintenance a pour but d'assurer la disponibilité optimale des installations de production et de leurs annexes, impliquant un minimum économique de temps d'arrêt.

II .1 Définition de la maintenance

D'après la norme AFNOR X 60-000, la maintenance est l'ensemble de toutes les actions techniques, administratives et de managements 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.[4]

II.2 Importance de la maintenance

Pendant longtemps, la maintenance est considérée par les gestionnaires plus comme une fatalité qu'un ensemble d'activités ayant pour d'accomplir toutes les tâches nécessaires pour que l'équipement soit maintenu ou rétabli dans un état spécifié ou en mesure de : [5]

- Permettre une exécution normale des opérations dans les meilleures conditions de coûts, de sécurité et de qualité (le cas de la production) ;
- Obtenir un service dans les meilleures conditions de confort et de coût (c'est le cas, par exemple, des services vendus en général mais surtout des transports, des hôpitaux).

Donc pour nous, entretenir, consiste à dépanner, réparer, réaliser des opérations préventives dont le but principal est d'assurer le fonctionnement de l'outil de production d'une manière globale entretenir c'est subir.

Outre cela le progrès technologique ainsi que l'évolution de la conception de la gestion des entreprises ont fait que la maintenance est devenue de nos jours une fonction importante de l'entreprise dont le rôle dans l'atteinte des objectifs de l'entreprise est loin d'être négligeable.

Donc la fonction maintenance est l'affaire de tous et doit être omniprésent dans les entreprises et les services. Elle est devenue un enjeu économique considérable pour tous les pays qui souhaitent disposer d'outils de production disponibles, performants.

Si l'entretien ne se traduisait que par des interventions, nous pouvons dire que la maintenance est tout autre chose. C'est d'abord un état d'esprit, une manière de penser, ensuite une discipline nouvelle dotée de moyens permettant d'intervenir dans de meilleures conditions, d'appliquer les différentes méthodes en optimisant le coût global. La maintenance vise à éviter les pannes et les temps morts que celle-ci entraînent.

La maintenance ne doit pas être perçue comme une fonction secondaire et elle doit bénéficier de toute l'attention voulue.

Actuellement la modernisation de l'outil de production impose une évolution fondamentale dans le domaine de maintenance. Cette évolution se traduit par un changement profond pour les entreprises (remplacement de la fonction entretien par la fonction maintenance), par une évolution de mentalités.

Cette mutation nécessite des structures nouvelles, des moyens nouveaux et pour le personnel un état d'esprit « Maintenance ».

Donc la maintenance désigne plusieurs catégories de travaux notamment :

- Surveillance et travaux simples (graissage etc.) généralement dévolus aux utilisateurs du matériel ou des installations;
- Contrôle de fonctionnement et travaux plus complexes que les précédents, souvent effectués par spécialistes;
- Dépannage et réparation en cas d'incident confiés à des ouvriers ou équipes spécialisées.
- Entretien systématique comportant des révisions partielles ou totales, faites sur place ou dans un atelier spécialisé;
- Reconstruction complète de machines ou d'installations, constituant une véritable remise à neuf.

II .3 Objectifs de la maintenance

Assurer le maintien (disponibilité) des équipements de production et diminuer les pannes car ces dernières occasionne : [6]

- Coûts de maintenance (intervention)
- Coûts d'indisponibilité (non production)
- Problèmes de sécurité (biens et personnes)
- La maintenance intègre également :
- Amélioration de la sécurité des biens et des personnes,
- Intégration de nouveaux biens,
- Organisation des activités de maintenance,
- L'animation et l'encadrement des équipes d'intervention

II .4 Les niveaux de maintenance

Les opérations à réaliser sont classées, selon leur complexité, en cinq les normes NFX 60-010. Pour chaque niveau, la liste des opérations précisées est donnée à titre d'illustration. [7]

➤ **1^{er} niveau de maintenance :**

Il s'agit essentiellement de control et de relevés des paramètres de fonctionnement des machines :

- niveau d'huile moteur ;
- niveau d'eau ;
- indicateur de colmatage ;
- niveau de la réserve d'huile ;
- niveau de la réserve de combustible ;
- régime du moteur ;
- température de l'eau de refroidissement ;
- température d'échappement ;
- test des voyants et indicateurs ;
- purge de circuit d'échappement ;
- nettoyage des filtres ;
- contrôle visuel de l'état des organes ;
- contrôle auditif des bruits de marche.

Ces contrôles peuvent donner suite à des interventions simples de main ne nécessitant pas de réalisation d'un diagnostic de panne et démontage. Ils peuvent aussi déclencher, notamment sur des anomalies constatées, des opérations de maintenance de niveau supérieurs.

En règle générale les interventions de 1^{er} niveau sont intégrées à la conduite des machines.

➤ **2^{ème} niveau de maintenance :**

Il s'agit des opérations de maintenance préventive qui sont régulièrement effectuées sur les équipements :

- remplacement des filtres à gazole;
- remplacement des filtres à huile moteur;
- remplacement des filtres à air;
- prélèvement d'huile pour analyse et pré-analyse;
- vidange de l'huile moteur;
- analyse de liquide de refroidissement;
- contrôle des points signalés pour le 1^{er} niveau;
- graissage de tous les points en fonction de périodicité;
- contrôle des batteries.

Ces opérations sont réalisées par un technicien ayant une formation spécifique. Ce dernier suit les instructions de maintenance qui définissent les tâches, la manière et les outillages spéciaux. Les pièces de rechange sont essentiellement du type consommable, filtres, joints, huile, liquide de refroidissement.

➤ **3^{ème} niveau de maintenance :**

Il s'agit de opérations de maintenance préventive, curative, de réglages et de réparations mécanique ou électrique mineurs. Les opérations réalisées peuvent nécessiter un diagnostic de panne :

- réglage des jeux de soupapes ;
- réglage des injecteurs ;
- contrôle endoscopique des cylindres ;
- contrôle des sécurités du moteur ;
- contrôle et réglage des protections électriques ;
- contrôle du démarreur ;
- remplacement d'un injecteur ;
- contrôle et réglage de la carburation ;
- contrôle et réglage de la régulation de puissance ;
- contrôle et révision de la pompe ;
- remplacement d'une résistance de chauffage ;
- contrôle de l'embellage ;
- contrôle de l'isolement électrique ;
- remplacement des sondes et capteurs ;
- remplacement d'une bobine de commande ;
- remplacement d'un disjoncteur.

Ces opérations sont réalisées par un technicien spécialisé. Toutes les opérations se font avec l'aide d'instructions de maintenance et d'outils spécifiques tel que les appareils de mesure ou de calibrage. Ces opérations peuvent conduire à des opérations de 4^{ème} niveau.

➤ **4^{ème} niveau de maintenance :**

Il s'agit d'opérations importantes ou complexes à l'exception de la reconstruction de l'équipement :

- déculassage (révision, rectification) ;
- révision de la cylindrée ;
- contrôle d'alignement du moteur / alternateur ;

- changement des pôles d'un disjoncteur HT ;

Les opérations sont réalisées par des techniciens bénéficiant d'un encadrement technicien très spécialisé, d'un outillage général complet et d'un outillage spécifique. Elles font aussi appel à des ateliers spécialisés (rectification, ré usinage).

➤ **5^{ème} niveau de maintenance :**

Il s'agit d'opérations lourdes de rénovation ou de reconstruction d'un équipement.

Ces opérations entraînent le démontage de l'équipement et son transport dans un atelier spécialisé.

Le 5^{ème} niveau de maintenance est réservé au constructeur ou reconstruteur. Il nécessite des moyens similaires à ceux utilisés en fabrication.

II .5 Les opérations de la maintenance

➤ **Le dépannage : [5]**

C'est une action ou opération de maintenance corrective sur un équipement en panne en vue la remettre en état de fonctionnement.

Cette action de dépannage peut s'accommoder de résultats provisoires et de conditions de réalisation hors règles de procédures, de cout et de qualité, et dans ce cas sera suivie de la réparation.

Souvent les interventions de dépannage sont de courtes durées mais peuvent être nombreuses et n'exigent pas la connaissance du comportement des équipements et des modes de dégradation.

➤ **La réparation :**

C'est une intervention définitive et limitée de maintenance corrective après panne ou défaillance. L'équipement réparé doit assurer les performances pour les quelles il a été conçu.

➤ **Les inspections :**

Ce sont des 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 production ou des équipements.

➤ **Les visites :**

Ce sont des opérations de surveillance qui dans le cadre de la maintenance préventive systématique, s'opèrent selon une périodicité prédéterminée.

Ces interventions correspondent à une liste d'opérations définies au préalable qui peuvent entraîner d'organes et une immobilisation du matériel.

➤ **Les contrôles :**

Ils correspondent à des vérifications de conformité par rapport à des données préétablies suivies d'un jugement.

Le contrôle peut, comporter une activité d'information, inclure une décision, acceptation, rejet ajournement, déboucher comme les visites sur des opérations de maintenance corrective.

Les opérations de surveillance (inspection, visite, contrôle) sont nécessaires pour maîtriser l'évolution de l'état réel du bien, effectuées de manière continue ou à des intervalles prédéterminés ou non, calculés sur le temps ou le nombre d'unités d'usage.

➤ **Les révisions**

Ensemble des actions d'examens, de contrôle 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 est d'usage de distinguer suivant l'étendue de cette opération les révisions partielles, des révisions générales. Dans les deux cas, cette opération implique la dépose de différents sous-ensembles.

II.6 Les différentes formes de la maintenance

Il existe deux façons complémentaires d'organiser les actions de maintenance : [4]

II.6.1 Maintenance préventive: maintenance exécutée à des intervalles prédéterminés ou selon des critères prescrits et destinés à réduire la probabilité de défaillance ou la dégradation du fonctionnement d'un bien, elle est subdivisée en :

- **maintenance conditionnelle :** maintenance préventive basé sur une surveillance du fonctionnement du bien et/ou des paramètres significatifs de ce fonctionnement et intégrant les actions qui en découlent.
- **Maintenance prévisionnelle :** maintenance conditionnelle exécutée en suivant les prévisions extrapolées de l'analyse et de l'évaluation de paramètre significatifs de la dégradation du bien.
- **Maintenance systématique :** maintenance préventive exécutée à des intervalles de temps préétablis ou selon un nombre défini d'unité d'usage mais sans contrôle préalable de l'état du bien.

II.6.2 Maintenance corrective : maintenance exécutée après détection d'une panne et destinée à remettre un bien dans un état dans lequel il peut accomplir une fonction requise.

- **Maintenance palliative** : caractérise les actions de dépannage : remise en état provisoire.
- **Maintenance curative** : caractérise les actions de réparation au sens de « guérir ».

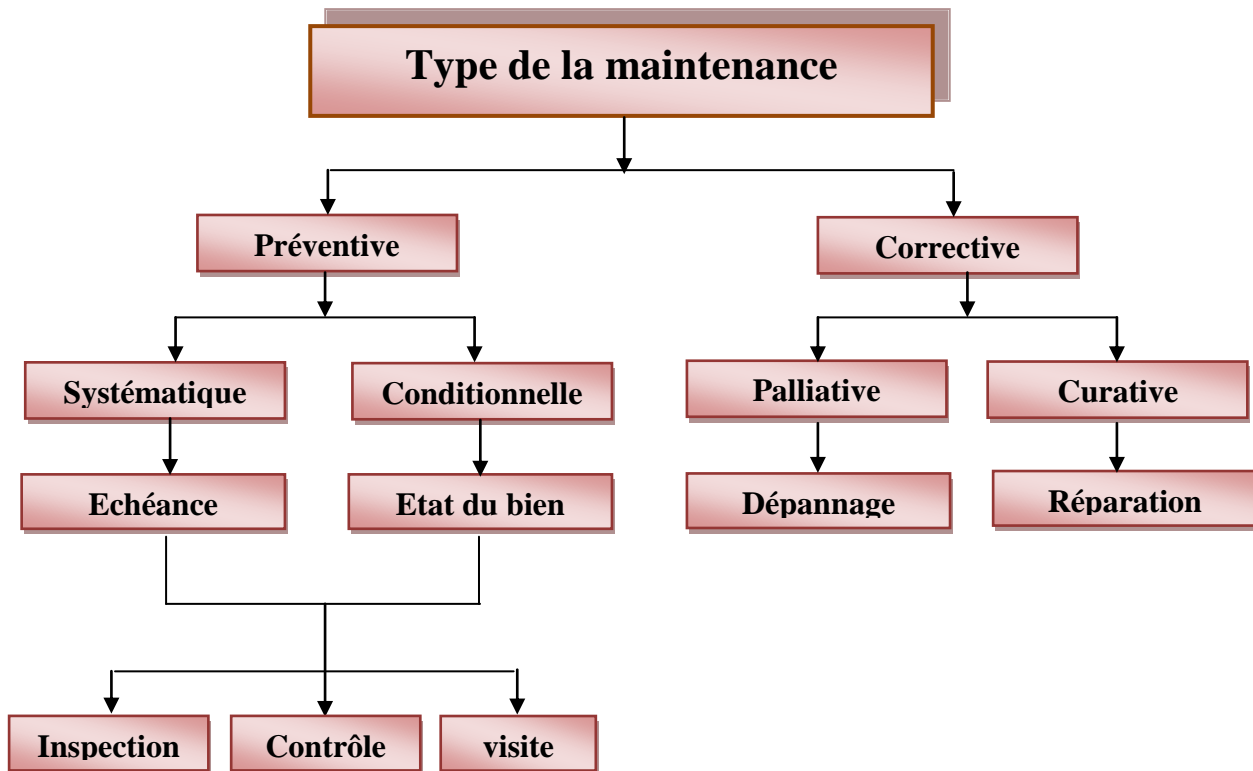


Figure 2-1: Différents formes de maintenance

II.7 La maintenance par l'analyse des huiles

La surveillance des lubrifiants industriels consiste à mesurer l'état de dégradation et de contamination des lubrifiants pour connaître leur capacité à assurer correctement leur fonction. L'analyse des lubrifiants en service est un outil de maintenance conditionnelle des équipements industriels. Les facteurs responsables de l'évolution d'un lubrifiant en service sont : [8]

- La pollution par les liquides tels que l'eau et les solvants et des particules diverses (poussières, matériaux plastiques, fibres, etc.) causée par le processus industriel et son environnement ;
- Les particules métalliques dues à l'usure ou à la corrosion provenant des composants parcourus par le lubrifiant ;

- L'oxydation, en présence d'air ou d'atmosphère corrosive, surtout lorsque des variations de température sont importantes.

Le suivi régulier de l'évolution des caractéristiques d'huile et la comparaison aux caractéristiques de l'huile neuve procurent des éléments de diagnostics à partir desquels se prennent les décisions d'intervenir sur le matériel ou de procéder au remplacement de la charge d'huile. La comparaison des résultats n'est pertinente que si l'échantillon est représentatif et si la périodicité de prélèvement est respectée. Il convient donc de préparer une méthodologie qui sera mise en œuvre dès la mise en service des équipements.

II.7.1 Préparer les prélèvements d'échantillons

Les échantillonnages (de 15 cl à 50 cl suivant les analyses requise) font l'objet de procédures dont l'application sera rigoureuse. Chaque échantillon est prélevé en un point représentatif du circuit et de préférence, pendant le fonctionnement de la machine, ou sinon juste après son arrêt. [8]

La fréquence de prélèvement dépend du type de machine, du lubrifiant, des conditions de service, et de considérations économiques. Les constructeurs donnent rarement des recommandations suffisantes ; on pourra tenir compte des conseils suivants donnés à titre d'exemples :

- Analyse à chaque vidange du circuit ;
- Analyse entre vidanges (entre 500 et 2000 heures suivant les appareils) : compresseurs d'air, compresseurs de gaz, circuit hydrauliques, circuit caloporteurs, compresseurs frigorifiques, leurs réducteurs et engrenages, etc. ;
- Huiles moteurs tous les 20 à 30000 km ou 1000 heures de marche. Attention aux moteurs ne fonctionnant que très rarement (pompes incendie par exemple) dont les huiles peuvent subir des pollutions et des oxydations.

Les fréquences doivent être, d'une façon générale, ajustées en fonction des résultats d'analyse. Il est vivement conseillé de prélever un échantillon de référence lors de la première charge d'huile.

II.7.2 Préparer les étiquetages

L'étiquetage des échantillons est particulièrement important. Il identifie : le site de prélèvement, l'atelier ou unité, l'équipement, le composant, le lubrifiant.

On y précise également : le mode de fonctionnement du matériel (continu ou alternatif), le temps de marche depuis le dernier prélèvement (en unités d'usage : heurs, km, cycle,, jours...) et les appoints effectués en quantité et en fréquence. [8]

II.7.3 Préparer les diagnostics

Un diagnostic complet oblige à rapprocher les résultats d'analyse des évènements survenus. Le recours aux caractéristiques et historiques d'exploitation et de maintenance est indispensable pour prendre en compte : [8]

- Les conditions de service du matériel : atmosphère (pollution, poussières), conditions de fonctionnement (température, pression), temps réel de fonctionnement, etc ;
- Les défaillances du circuit de lubrification : filtration, fuites, pression, température, etc. ;
- Les défaillances des composants lubrifiés : nature des métaux des éléments soumis à l'usure.

Les tests ci- dessus permettront à des spécialistes de faire certains diagnostics en cours d'exploitation. Des spécialistes de la lubrification et souvent les fournisseurs de lubrifiant eux – même, aideront à établir en programme de tests et d'interprétation des résultats. Les exemples suivants sont limités et ne prétendent pas être exhaustifs :

- La présence d'eau est le plus souvent provoquée par une condensation causée par de grandes différences de température dans le réservoir d'huile. D'autres causes sont fréquentes : introduction accidentelle de vapeur d'eau dans le circuit de lubrification, introduction d'eau de pluie (mauvaise étanchéité, absence de bouchon), lavage sous pression, fuite du circuit de réfrigération, etc.
- L'augmentation de viscosité est généralement due au vieillissement par oxydation favorisé par un fonctionnement à une température anormalement élevée (pompe du circuit de refroidissement défectueuse, radiateur encrassé...); il arrive aussi que des appoints de lubrifiant d'un grade supérieur soient effectués accidentellement.
- La diminution de viscosité peut être attribuée à un laminage du lubrifiant trop important.
- La présence accidentelle de solvants.
- L'augmentation de l'indice d'acide (TAN) révèle l'oxydation et le vieillissement prématuré est à rapproche des résultats de la mesure de viscosité.

Conclusion

Après ce chapitre on remarque que la maintenance est très importante dans l'industrie pour diminuer les coûts et éviter les accidents.



Chapitre III

l'analyse des huiles

Introduction:

Deux paramètres importants conditionnent la lubrification correcte des machines tournantes: l'état du lubrifiant et l'état des surfaces lubrifiées. Les analyses d'échantillons du fluide permettent de déterminer d'une part les caractéristiques physico-chimiques du lubrifiant et d'autre part identifier une usure des éléments mécaniques.

Deux facteurs prépondérants interviennent pour modifier les caractéristiques d'un lubrifiant: La dégradation - La contamination. [9]

III.1 Rôle et fonctions des lubrifiants

Le rôle d'un lubrifiant est tout d'abord la diminution du frottement, cause principale de l'usure. Il permet une formation d'un film qui sépare les éléments glissant l'un sur l'autre. Par ses propriétés physiques, il assure également d'autre fonction : [7]

- Refroidissement: évacuation de la chaleur produite par le frottement ou par une source extérieure;
- Protection contre la rouille et d'autres types de corrosion.
- Filtration: mise en suspension des particules et piégeage sur un filtre.
- Etanchéité: matelas visqueux entre les pièces mécaniques.
- Transmission de l'énergie: dans les circuits hydrauliques et les transmissions automatiques de véhicules.

III.2 Les additifs

On trouver les familles d'additifs habituellement employés dans les huiles lubrifiantes.[7]

III.2.1 Les antioxydants: Les huiles utilisées dans les applications haute température et en contact avec l'air s'oxyderont en formant des composés chimiques qui peuvent dégrader la viscosité et provoquer la corrosion. Les antioxydants peuvent multiplier par 10 et plus la résistance de l'huile à l'oxydation.

III.2.2 Les anti-usures: Ces additifs anti-usure ou anti-wear (AW) forment une couche qui protège contre l'usure en évitant le contact direct entre les surfaces.

III.2.3 Les additifs EP actifs: Les additifs EP (extrême pression) accroissent la capacité de charge du film lubrifiant. Ils se combinent physiquement avec le métal et forment une surface dont la résistance est moins importante que le métal lui-même. Le cisaillement est plus facile, ce qui évite un contact métal/métal et un grippage.

Pour les roulements fortement charges, par exemple les roulements de laminoirs, on recommande habituellement l'utilisation de graisse contenant des additifs EP. Mais il faut être très prudent dans le choix d'un lubrifiant EP et se faire confirmer par le fabricant la formule des additifs EP pour ne pas endommager le matériel. Les additifs EP les plus courants contiennent des composés phosphates, chorées et soufrés.

III.2.4 Les additifs anti-mousses: Avec les additifs anti-mousses, la tension de surface est réduite et les bulles de lubrifiant éclatent lorsqu'elles atteignent la surface du bain d'huile.

III.3 Analyse d'huile

Le lubrifiant est comparable au sang de la machine. Il reflète le comportement et l'état du système dans lequel il circule. [7]

Le suivi de ses caractéristiques physico-chimiques permet d'apprécier l'état de dégradation de l'huile et de connaître son aptitude à remplir totalement ses fonctions initiales de lubrification. L'évolution de cette dégradation peut être un indicateur des conditions d'exploitation de l'équipement. Elle va permettre d'optimiser les fréquences des vidanges, dans le cas de quantités importantes.

Le suivi de la contamination permet:

- De situer l'organe défectueux, d'apprécier l'évolution et le type d'usure dans le cas d'une pollution par des particules internes;
- D'apprécier la nature et l'origine des agents extérieurs.

On prend comme référence les caractéristiques de l'huile neuve et on compare les résultats obtenus à chaque analyse. Si l'on constate une évolution brutale des caractéristiques ou si l'on atteint des valeurs trop éloignées des valeurs initiales, il faut soit intervenir au niveau de matériel, soit remplacer l'huile.

III.3.1 Vérifications quotidiennes

III.3.1.1 Examen de l'aspect

Un simple examen visuel de l'aspect du lubrifiant permet quelque fois de détecter une pollution:

- pollution par un liquide: aspect trouble dans le cas d'une pollution par l'eau, ou changement éventuel de couleur en cas de pollution par un liquide soluble dans l'huile;

- pollution par des solides: présence de poussières, de particules métalliques, de rouilles, d'écaillés de peinture, de débris de joints

III.3.1.2 Observation de la couleur

L'observation de la couleur de l'huile peut aussi renseigner sur une forte dégradation du lubrifiant par oxydation ou par altération thermique.

Si la couleur de l'huile est très voisine de celle de l'huile neuve, en principe elle est en bon état. Et elle est considérée comme étant encore bonne si sa teinte reste claire et brunit légèrement. Mais quand la couleur est nettement foncée, elle est très oxydée et il faut envisager une vidange.

Il n'est pas normal qu'une huile industrielle noircisse en service; une huile de moteur noircit parce qu'elle se charge des suies de la combustion. Si une huile industrielle noircit, il peut avoir un craquage de la molécule par suite:

- D'un chauffage avec une résistance électrique dont la puissance de chauffe dépasse 1 W/cm^2 ;

- Du passage de l'huile dans une zone où la température dépasse 330°C , au voisinage d'un four par exemple;

- D'un phénomène de micro-diesel provoqué dans un circuit hydraulique par des bulles d'air brutalement comprimées SOLIS haute pression.

L'huile en service peut prendre aussi d'autres colorations :

- Jaune beurre: émulsion avec une huile de couleur ambre;
- Chocolat: émulsion avec une huile assez foncée, une huile moteur ;
- Rouge: mélange avec un combustible ou une huile colorée en rouge, détérioration d'une peinture ou d'un produit anticorrosion ou détérioration d'un additif ;
- Verte: détérioration d'une peinture verte ou attaque d'un organe en métal jaune.

III.3.1.3 Sensation de l'odeur

En complément de la description de l'aspect et de la couleur de l'huile, on peut ajouter une appréciation de l'odeur.

Une huile en service ayant l'odeur d'un produit pétrolier est en bon état, Elle pourra avoir aussi des odeurs typiques des huiles neuves:

- . Odeur agréable d'amande amère de certaines huiles pour turbines;
- Odeur légèrement désagréable d'ail ou d'œuf pourri de certaines huiles de transmission.

Une odeur de rance indiquera une oxydation :

- L'huile est encore bonne si l'odeur est légère et si la couleur est claire;
- Si l'odeur est forte et la couleur est foncée, une vidange sera nécessaire.

Une odeur de brûle signifie que l'huile a été soumise à des températures élevées:

- Si la couleur est légère, l'huile est encore bonne;
- Si la couleur est foncée ou noire, il est nécessaire de faire une analyse. Et si l'on trouve des particules de charbon, une vidange, un nettoyage et une vérification de l'installation seront indispensables

Une odeur chimique indique que l'huile a été polluée par certains produits, un solvant ou une huile synthétique. Une analyse en laboratoire sera utile.

III. 3.1.4 Test d'huile à la tache

Une goutte d'huile moteur déposée sur un papier filtre s'étale et présente les différentes zones circulaires suivantes (figure1):

- Une ronde centrale plus ou moins grise ou noire (A);
 - Une auréole plus foncée limitant la partie centrale (B);
 - Une zone circulaire dans laquelle se diffusent les impuretés (C);
 - Une zone circulaire extérieure où l'huile seule pénètre (D);
- Examens des taches:
- Plus la tache centrale est foncée, plus la pollution est importante;
 - Plus l'auréole est large et grise, plus l'huile ne conserve ses propriétés détergentes.

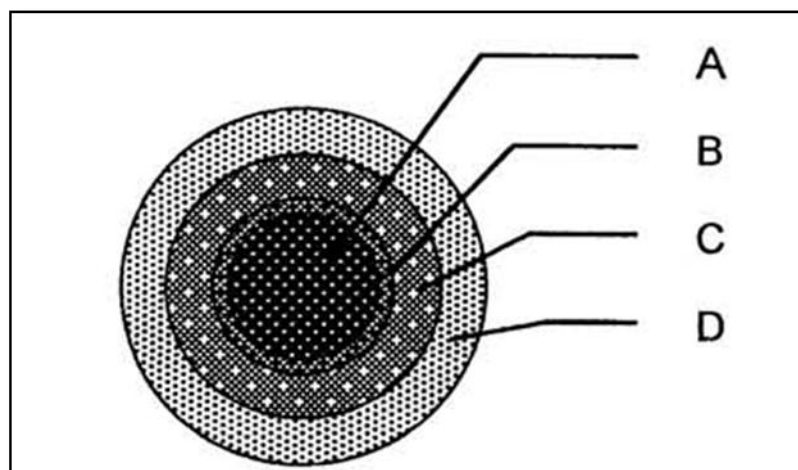


Figure 3-1: Tache d'huile

III.3.1.5 Examen de teneur en sédiments

Dans la pratique, ces examens visuels se font quotidiennement comme les vérifications de niveau. Les particules solides augmentent la vitesse d'usure du matériel. Si l'examen visuel fait apparaître la présence de ces particules, on procédera à la détermination de la teneur en sédiments. Elle est déterminée par filtration d'une quantité importante de l'échantillon d'huile sur une toile en Nylon de 1 à 5 μm de porosité. La roille est pesée avant l'opération. Après filtration, elle est rincée à l'hexane puis reposée pour déterminer le pourcentage de sédiments. Une observation du dépôt sur la toile Nylon est effectuée au microscope.

III.3.2 Appareils portatifs d'analyse

Il existe des appareils simples destinés à évaluer approximativement la pollution de l'huile.

III.3.2.1 Système millipore

L'échantillon de 100 ml d'huile à tester traverse une membrane de 5 μm logée dans un ensemble de filtration. L'état de pollution est apprécié par la coloration de la surface du filtre test. L'évolution de la pollution est suivie par l'évolution de la coloration.

III.3.2.2 Système comparscope

Les particules présentes dans l'huile sont arrêtées par une membrane quadrillée de 0,8 μm et examinée à l'aide d'un microscope. L'appréciation de l'état de pollution de l'huile se fait à partir de la comparaison de celui de la membrane par rapport à la plaque étalon de référence.

III.3.3 Examens en laboratoire

III.3.3.1 Dosage de l'eau

L'eau peut être introduire dans le circuit d'huile de plusieurs façons: une fuite de réfrigérant, un passage de vapeur dans une huile turbine, un passage de fluide de coupe aqueux dans une huile de lubrification de machine outil, un mauvais stockage, etc.

L'eau détruit la qualité d'un lubrifiant, elle favorise le vieillissement de l'huile et la corrosion des métaux.

La teneur en eau est déterminée à l'hydrotest. Cette méthode est basée sur la mesure de volume d'hydrogène résultant de l'action de l'eau contenue dans l'huile échantillon sur un excès d'hydrure de calcium.

La coulométrie apporte plus de précision. Cette méthode est basée sur la mesure de la quantité de courant électrique proportionnelle à la quantité d'eau contenue dans l'échantillon.

III.3.3.2 Dosage des métaux d'usure

Les teneurs en métaux d'usure fournissent des renseignements précieux sur les conditions de fonctionnement du matériel. Leur évolution permet de détecter des usures anormales et d'intervenir avant incident.

La spectrométrie d'émission à torche à plasma d'argon est utilisée pour doser les métaux d'usure.

Un courant d'argon circule dans un tube de quartz porte à très haute température (de l'ordre de 1000 K) par une décharge électromagnétique. Les chocs violents entre les atomes provoquent des arrachements d'électrons et on obtient un mélange d'atomes, d'électrons libres, et d'ions positifs. Ce plasma d'argon se présente comme une torche qui émet de la lumière.

La solution d'échantillon d'huile est nébulisée dans un autre courant d'argon. Les électrons des éléments à doser sont portés à un niveau d'énergie supérieur par la torche à plasma. Au retour à l'état normal, ces électrons restituent de l'énergie sous forme de rayonnement dont la longueur d'onde est spécifique de chaque élément. Un polychromateur isole chacun de ces rayonnements. Un photomultiplicateur convertit chaque rayonnement en courant électrique. La teneur d'un élément à doser est déduite de l'intensité du courant électrique.

Les principaux métaux couramment représentatifs de l'usure sont l'étain Sn, le plomb Pb, le fer Fe, le chrome Cr, l'aluminium Al, le cuivre Cu.

Une bonne interprétation des dosages de métaux d'usure nécessite une bonne connaissance des composants en contact avec l'huile. Il est intéressant de pouvoir comparer les analyses antérieures du même circuit d'huile.

III.3.3.3 Comptage de particules

Les particules solides peuvent provenir d'un défaut de rinçage du circuit à l'origine, d'une filtration insuffisante de l'huile neuve lors du remplissage, de l'usure des pièces en fonctionnement, de la pollution externe.

Le comptage automatique se fait sur le compteur HIAC. L'huile circule à une vitesse déterminée dans un tube disposé perpendiculairement à un faisceau lumineux. Un photodétecteur enregistre la variation d'intensité lumineuse au passage de chaque particule, Le capteur donne donc le nombre et les dimensions des particules. Ces informations sont transmises à un compteur qui classe les particules suivant leurs tailles :

- De 5 à 15 μm ;
- De 15 à 25 μm ;
- De 25 à 50 μm ;
- De 50 à 100 μm ;
- Supérieur à 100 μm ;

III.3.3.4 Mesure de moussage

La mousse peut se former à la surface de l'huile lorsqu'il y a introduction d'air par agitation mécanique ou soufflage. Le moussage favorise l'oxydation par l'augmentation de la surface de contact air-huile et peut entraîner parfois le débordement de la bûche. Un très fort moussage peut désamorcer une pompe de lubrification.

Selon la norme afnor NF T 60-129, une éprouvette en verre graduée de 1000 ml, contenant 190 ml d'échantillon d'huile, est soumise pendant 5 min à un soufflage d'air de 95 ml/min à travers une sphère poreuse. Puis l'échantillon est laissé au repos.

La tendance au moussage est représentée par le volume de mousse formée après 5 min de soufflage.

La persistance de la mousse est le volume de mousse restant après 10 min de repos.

La mesure de moussage s'effectue en trois séquences:

- Séquence 1 : essai à 24°C;
- Séquence 2 : essai à 93°C ;
- Séquence 3 : essai à 24°C sur l'échantillon venant de subir 93°C.

III.3.3.5 Mesure de désaération

Sous l'effet d'une forte agitation mécanique ou d'un fort soufflage d'air, des bulles d'air sont dispersées dans le volume d'huile.

Cette aération peut comporter des inconvénients :

- diminution de la portance du film d'huile ;
- accroissement de la vitesse d'oxydation par augmentation de la surface de contact air-huile ;
- augmentation de la compressibilité de l'huile d'où une élévation de la température et une aggravation de l'oxydation ;
- risque de cavitation.

Le temps de désaération représente l'aptitude de l'huile à libérer l'air préalablement dispersé.

La mesure est effectuée en suivant la norme afnor NF T 60-149 à 50°C. De l'air sous pression de 200 mbar est soufflé, à un débit de 180 ml/min, dans l'huile à travers une buse de 2 mm de diamètre et pendant 7 min. Immédiatement après le soufflage, le plongeur d'une balance hydrostatique est introduite dans cette huile saturée en air. Grâce à cette balance, on peut suivre toutes les minutes la masse volumique de l'huile en cours de désaération. Et on en déduit le pourcentage en volume d'air dispersé.

Le temps de désaération est le nombre de minutes nécessaires pour que le pourcentage en volume d'air dispersé ne soit plus que de 0,2 %.

III.3.3.6 Mesure d'indice d'acide

L'indice d'acide est le nombre de milligrammes de potasse nécessaires pour neutraliser les constituants acides présents dans un gramme d'huile,

L'indice d'acide est mesuré par titration en suivant la norme afnor NF T 60-112; la fin de la réaction est décelée par un changement de couleur de l'indicateur.

La méthode ASTM D 664 utilise le pH-mètre. Cet indice d'acide est appelé TAN. (Total Acide Number).

L'oxydation d'un lubrifiant entraîne la formation de produits acides. L'indice d'acide peut donc être une donnée utile pour évaluer l'oxydation. Mais il est à utiliser avec prudence parce qu'une bonne huile neuve peut avoir un indice acide élevé du à la présence de certains additifs.

III.3.3.7 Mesure de point d'éclair

Le point d'éclair d'une huile est la température minimale à laquelle il faut la porter pour que les vapeurs émises s'allument spontanément en présence d'une flamme. L'intérêt essentiel du point d'éclair est qu'il renseigne sur un éventuel risque d'incendie.

La norme afnor NFT 60-103 décrit la méthode de détermination du point d'éclair :

En vase dos dans un creuset équipé d'un couvercle muni d'une cheminée au-dessus de laquelle est présentée la flamme d'une veilleuse. L'huile contenue dans le creuset est chauffée progressivement et à une vitesse bien définie. Le point d'éclair est la température au moment où se produit un éclair provoqué par l'inflammation des vapeurs d'huile.

Un abaissement du point d'éclair peut signifier une pollution par un gaz ou par un liquide plus volatil que l'huile, il peut aussi signifier un début de cracking, par exemple dans le cas d'un fluide caloporteur.

III.3.4 Mesure de rigidité électrique

La rigidité électrique ou tension de claquage est la propriété que possède une huile isolante d'empêcher la formation d'un arc sous l'effet d'un champ électrique intense.

Selon la norme NF C 27-221, la méthode d'essai consiste à appliquer entre deux électrodes distantes de 2,5 mm et immergées dans l'huile concernée, une tension alternative de fréquence de 50 Hz. La tension est augmentée progressivement jusqu'à ce que se produise une décharge disruptive.

La rigidité électrique peut être abaissée par la présence d'eau et de matière en suspension un traitement éventuel de séchage et de filtration est à prévoir.

III.3.5 Règles de prélèvement d'huile

L'application de quelques règles simples permet d'avoir un échantillon approprié, quelle que soit l'analyse:

- Effectuer le prélèvement par la prise de contre ou mieux par une vanne spéciale en un point dont le régime d'écoulement est turbulent. Eviter de recueillir les volumes d'huile piégés dans la zone morte.

- Prélever l'échantillon lorsque le matériel est en cours de fonctionnement ou immédiatement après son arrêt.

- Ne pas recueillir le premier soutirage à la purge, ni à la fin de la vidange. Laisser couler de 0,5 l'environ avant de remplir le flacon.

- Le flacon d'échantillon doit être propre et sec (fourni par le laboratoire) et ouvert seulement au moment de son remplissage.

- Eviter le prélèvement dans la bêche à l'arrêt.

Il est important de joindre à l'emballage partant au laboratoire quelques éléments:

- Références de la machine;
- Référence de l'huile ;
- Nombre d'heures d'utilisation d'huile depuis son remplacement.
- Nombre d'heures de fonctionnement de la machine;
- Interventions importantes effectuées depuis les derniers prélèvements.

III. 3.6 Vidange

Pour une lubrification de faible quantité, la vidange régulière doit se faire tous les 6000 heures ou une fois par an. La vidange d'un carter doit se faire si possible, des l'arrêt de la machine. L'huile est encore chaude et s'écoule complètement. Les impuretés solides n'ont pas de temps de se déposer. Il faut observer et apprécier visuellement la présence des sédiments dans l'huile usagée.

En principe, le rinçage d'un circuit d'huile n'est pas nécessaire, sauf en présence de dépôts. Le rinçage devra être suivi d'une opération de séchage pour éviter la présence d'eau.

III. 4 Huile

Elles permettent d'obtenir un frottement onctueux, mixte on hydrodynamique. Elles se présentent sous la forme d'une base (huile minérale ou de synthèse) avec des additifs (anti-usure, extrême pression, anticorrosion...) pour améliorer les caractéristiques ou adapter l'huile à l'application choisie. La viscosité et le point d'écoulement sont les propriétés principales. [10]

III. 4.1 Viscosités: Plus une huile est épaisse, plus sa viscosité est élevée. La fluidité est la propriété inverse de la viscosité. La viscosité de la majorité des fluides diminue lorsque la température augmente.

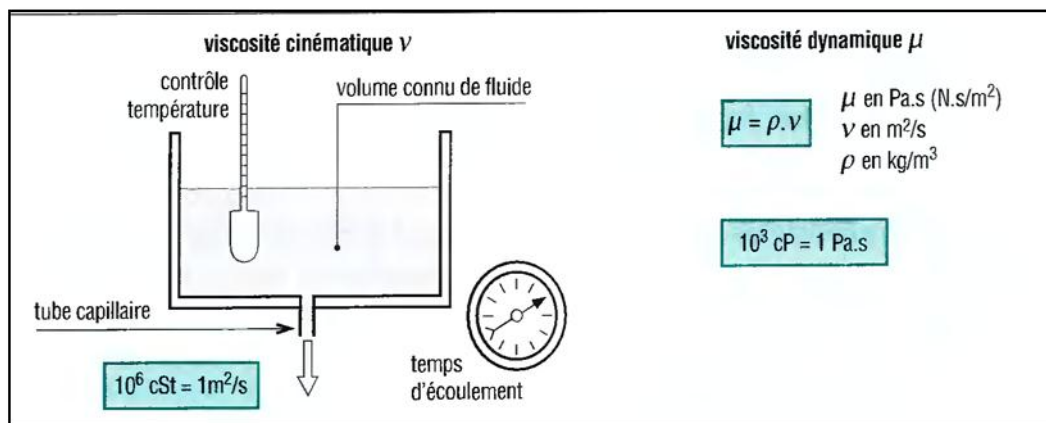


Figure 3-2: Les viscosités

III.4.1.1 Viscosité cinématique (ν): On la détermine en mesurant, à une température donnée, la durée de l'écoulement d'un volume connu de liquide à travers un appareil comportant un orifice ou tube calibré (tube capillaire) de dimensions normalisées.

Unités ; m^2/s stokes (St) ou centistoke (cSt)

$1000 \text{ St} = 1 m^2/s$ et $1 \text{ cSt} = 1 \text{ mm}^2/s$.

III.4.1.2 Viscosité dynamique (μ): Elle est égale au produit de la viscosité cinématique par la masse volumique du fluide (ρ): $\mu = \rho * \nu$

Unité : $\text{Pa} * \text{s}$ (*pascale · seconde*) ou $\text{N} \cdot \text{s}/\text{m}^2$; poise (P) et centipoise (cP).

1 poise = 0,1 $\text{Pa} * \text{s}$ et 1000 centipoises = 1 $\text{Pa} * \text{s}$

III.4.2 Propriétés caractéristique des huiles: Point d'écoulement: c'est la température à partir de laquelle une huile, chauffée, puis refroidie dans des conditions bien précises cesse de couler (début de cristallisation ou de solidification).

III.4.2.1 Index de viscosité (IV ou VI): Caractérise la variation de la viscosité en fonction de la température. Un IV de 100 indique une très faible variation de la viscosité, un IV de 0 une très grande variation.

III.4.2.2 Onctuosité: Elle caractérise l'aptitude d'une huile à adhérer aux surfaces (pouvoir adhérent) sous forme d'une fine couche (épila men).

III.4.2.3 Volatilité, point éclair: Température à partir de laquelle les vapeurs émises par une huile, chauffée dans des conditions bien précises, s'enflamment au contact d'une flamme puis s'éteignent aussitôt.

III.4.2.4 Autres propriétés: Résistance à l'oxydation, à la corrosion, indice d'acide, teneur en cendres, en eau

III.4.3 Principales classification:

III.4.3.1 Classification ISO: Elle classe les huiles à partir de leur viscosité.

III.4.3.1.1 Désignation: Lettres ISO VG suivi du nombre précisant la viscosité cinématique à 40 °C en centistoke.

Classes ISO de viscosité	Limites de viscosité cSt à 40 °C	Classes ISO de viscosité	Limites de viscosité cSt à 40 °C
ISO VG 2	1,98 à 2,42	ISO VG 68	61,2 à 74 ,8
ISO VG 3	2,88 à 3,52	ISO VG 100	90 à 110
ISO VG 5	4,14 à 5 ,06	ISO VG 150	135 à 165
ISO VG7	6,12 à 7,48	ISO VG220	198 à 242
ISO VG 10	9 à11	ISO VG 320	288 à352
ISO VG 15	13,5 à16, 5	ISO VG 460	414 à 506
ISO VG 22	19,8 à 24,2	ISO VG 680	612 à 748
ISO VG 32	28,8 à 35,2	ISO VG 1000	900 à 1100
ISO VG 46	41,4 à 50,6	ISO VG 1500	à 1650

Tableaux 3.1: Classification ISO

III.4.3.2 Classification SAE: Essentiellement utilisée pour l'automobile et les véhicules industriels (moteurs et transmissions), elle classe aussi les huiles selon leur viscosité, mais définit des tranches ou des intervalles continus de viscosité avec minimum et maximum.

La classification SAE20, SAE30..... utilise la viscosité des huiles à **100 °C** (huiles dites pour < huile > températures). La classification SAE 0 W, SAE 5 W..... (Avec W : Winter) utilise la viscosité des huiles à **18°C** (huiles dites pour <basses > températures ou <<hiver>>). Les huiles multigrades présentent deux viscosités caractéristiques.

L'huile SAE10W- 40 à même viscosité qu'une huile SAE 40 à **100 °C**, même viscosité qu'une huile SAE 10W à **18 °C** et couvre trois classes de viscosités.

Grade SAE	0W	5W	10W	15W	20W	25W	20	30	40	50
Viscosité cinématique cSt à 100 °C	3,8 min	3,8 Min	4,1 min	5,6 min	5,6 min	9,3 min	5,6 à 9,3	9,3 à 12,5	12,5 à 16,3	16,3 à 21,9
Viscosité Dynamique Pa * s	3,25 à -30°C	3,5 à -25°C	3,5 à -20°C	3,5 à -15°C	4,5 à -10°C	6 à -5°C				
Huiles classe L –famille H- Systèmes hydrauliques- NFISO 11158- catégories :										
HH : huiles minérale raffinées non inhibées HL : huiles minérale raffinées+ antirouille+ anti oxydation HM : huiles HL+propriétés anti usure					HR : huiles HL+ propriété viscosités/Tempé. ↗ HV : huiles HM+propriété viscosités/Tempé. ↗ HG : huiles HM+ propriété anti saccade					
Gardes usuels (viscosité ISO VG)			15	22	32	46	68	100	150	220

Tableaux 3.2 : Classification SAE

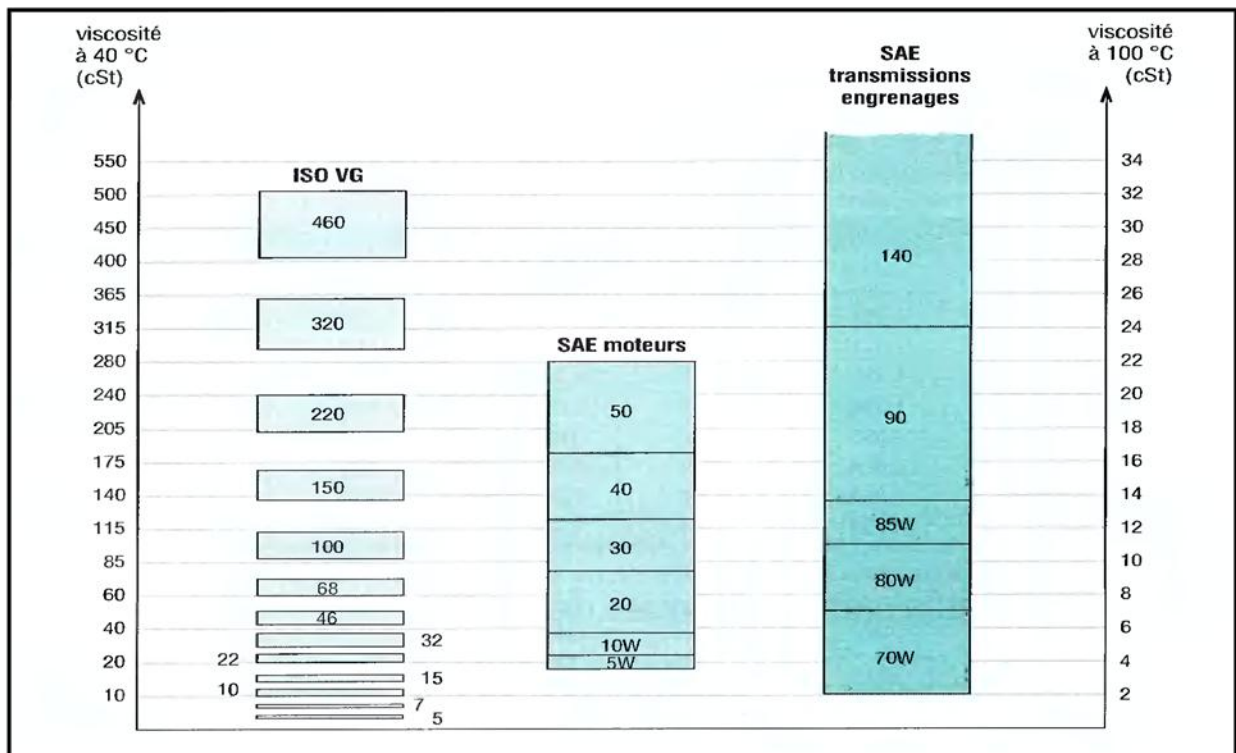


Figure 3-3: Comparaison des classifications ISO et SAE

III.4.3.3 Autre classification: Elles sont nombreuses et utilisent des désignations est symboles.

III.4.4 Principaux dispositifs de lubrification l'huile

III.4.4.1 Lubrification par barbotage ou par bain d'huile: C'est la plus simple et la plus usuelle, une partie du mécanisme en mouvement (roue dentée.....) tempe dans le bain et emporte par adhérence de l'huile vers les points à lubrifier. La quantité d'huile du bain doit être suffisante et tenir compte des conditions de service : calories à évacuer, éviter les vidanges trop

rapprochées, etc. le niveau du bain doit être contrôlé périodiquement : vis de contrôle, jouge, indicateur. Un excès d'huile est souvent plus néfaste qu'un manque ; il crée un brassage source d'échauffements et de pertes d'énergie.

III.4.4.2 Lubrification par barbotage et projections: Elle est une variante de la précédente. Le mouvement de composants (engrenages.) doit être assez rapide (effet centrifuge) pour, qu'après trempage, le débit des projections soit suffisant. L'huile projetée sur les parois ruisselle et peut être recueillie (cuvettes, renvois, larmiers.....) puis dirigée (canaux) vers les parties à lubrifier.

III.4.4.3 Lubrification par brouillard d'huile ou air-huile: Elle est utilisée aux vitesses très élevées (roulement, engrenages) mais aussi dans les réseaux pneumatiques (lubrificateurs).

Principe: un débit constant d'air comprimé aspire et pulvérise une certaine quantité d'huile sous forme de très fines gouttelettes. Le brouillard ainsi constitué est amené par un réseau de canalisations près des points à lubrifier. En ces points, rétrécissements (raccords de condensation ou tuyères) condense l'huile sous forme de gouttes plus grosses directement utilisables pour la lubrification. Le débit d'air permet aussi le refroidissement et participe à l'étanchéité (repousse les particules étrangères).

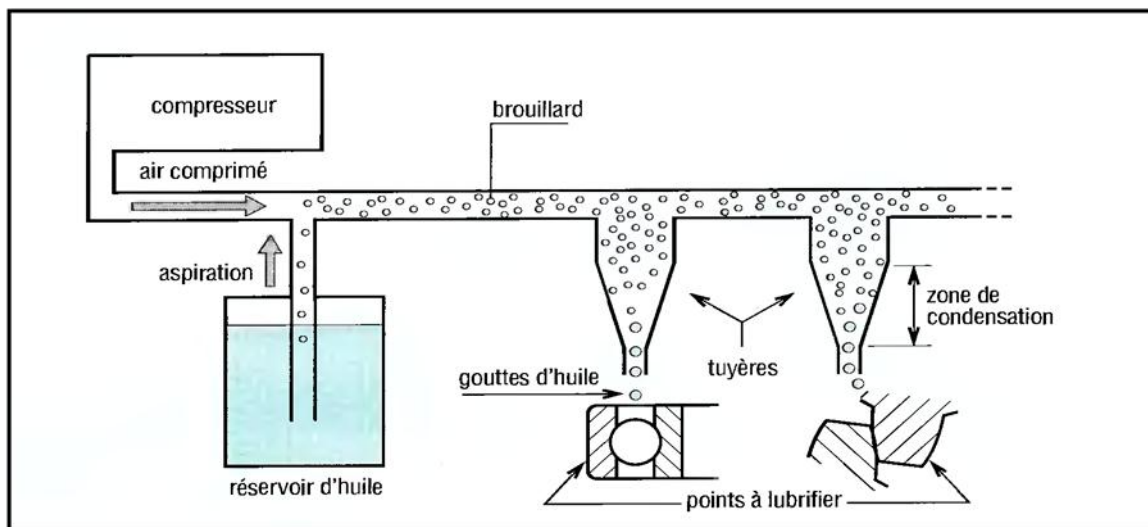


Figure 3-4: Principe de la Lubrification par brouillard d'huile ou air-huile

III.4.4.4 Lubrification par circulation d'huile: Ce mode est le plus élaboré et le plus coûteux. Une même pompe lubrifie en même temps plusieurs zones ou points. Le débit d'huile, constant, arrivant en chaque point à lubrifier, peut être réglé (soupapes) et calculé au plus juste pour assurer lubrification et refroidissement. Des échangeurs de chaleur (réfrigérants), des systèmes de filtration peuvent être ajoutés à l'installation.

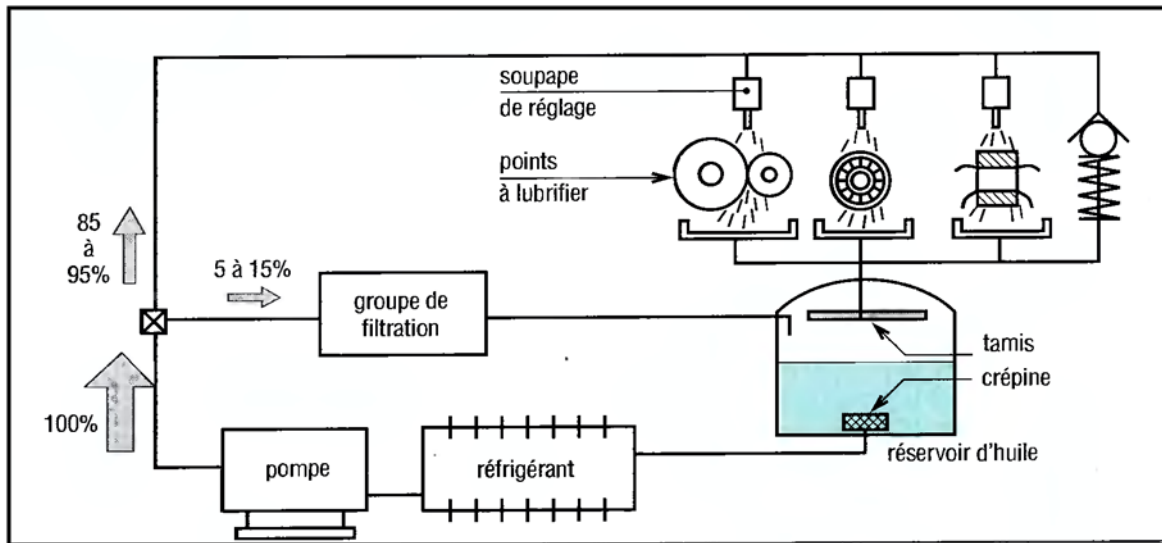


Figure 3-5: Principe de la Lubrification par circulation d'huile

III.5 Les graisses:

Elles permettent un frottement onctueux ou un frottement mixte. Du fait de leur consistance, elles sont stables au repos et se comportent comme un solide. En service, sous l'action des charges, elles réagissent comme un liquide : la fluidité augmente et se rapproche de celle de l'huile de base. [10]

- **Fabrication:** elles sont obtenues par dispersion d'agents épaississants (savons métalliques déterminant les propriétés physiques: consistance, etc.) dans une «huile» avec ou sans additifs représentant 85 à 97 % de la masse totale. Le graphite, le bisulfure de molybdène, le plomb («extrême pression»), les colorants et les charges (talc...) sont les additifs les plus courants.

III.5.1 Propriétés des graisses:

III.5.1.1 Consistance: C'est propriété principale. Elle exprime la résistance à la déformation de la graisse. Etroitement liée à l'adhérence et à l'onctuosité, elle diminue lorsque la température augmente (« comportement du beurre »).

III.5.1.2 Point de goutte: Il caractérise la tenue de la graisse à la chaleur en précisant la température de début de liquéfaction.

III.5.1.3 Point de solidification: Il indique la température de début de solidification de la graisse.

III.5.1.4 Autres propriétés: Résistance au cisaillement, qualité extrême pression, film-résistance, acidité.....

Avantages des graisses par rapport aux huiles	Inconvénients des graisses par rapport aux huiles
<ul style="list-style-type: none"> • Permettent le graissage à vie. • Etanchéité simplifiée, application aisée (même aux endroits difficiles d'accès). • Supportent mieux les chocs et vibrations, tiennent mieux aux vitesses lentes. • Peuvent participer à l'étanchéité (permettent des jeux plus élevés). • Simplicité de conception et de mise en œuvre. • Prix de revient modique. 	<ul style="list-style-type: none"> • Tendance au vieillissement (durcissent ou ramollissent selon les cas). • Ne conviennent ni aux vitesses élevées avec charges élevées ni pour les cas où il y a des échauffements, des températures élevées avec des calories à évacuer.

Tableaux 3.3: Les Avantages et Inconvénients des graisses par rapport aux huiles

III.5.2 Classification: Le grade NLGI est la classification la plus usuelle. Il est lié à la valeur d'enfoncement d'un cône pesant posé (pendant 5 secondes) sur la surface aplaniée de la graisse à tester, préalablement malaxée à 25 %.

III.5.3 Principaux dispositifs de graissage:

III.5.3.1 Graissage par garnissage au montage: Solution simple et usuelle, le graissage peut être à vie ou périodique, avec regarnissage après démontage et nettoyage lors des opérations de maintenance, la quantité de graisse prévue doit être suffisante, compte tenu de la durée de vie attendue et des conditions de fonctionnement (température.....).

III.5.3.2 Utilisation des graisseurs: Les graisseurs permettent le regraissage périodique sans démontage du dispositif. Pour éviter les excès de graisse, il y a lieu de prévoir des systèmes d'évacuation, en particulier pour la graisse usagée (chicanes, soupape à graisse, bouchon de vidange). L'emploi des graisseurs automatise le nombre des interventions et garantit un graissage régulier.

III.5.3.3 Graissage centralisé: Complètement automatisé, il est intéressant lorsque les points à lubrifier sont nombreux, jusqu'à plusieurs milliers, ou lorsque l'accès est difficile ou impossible. Il diminue les risques d'accident, les oublis, et évite l'arrêt des installations.

Le lubrifiant est envoyé sous pression, par intermittence, vers des distributeurs doseurs ou nourrices par une pompe avec réseau de canalisation. Les distributeurs doseurs, installés près des points à graisser, fournissent ensuite la dose prévue en chaque point.

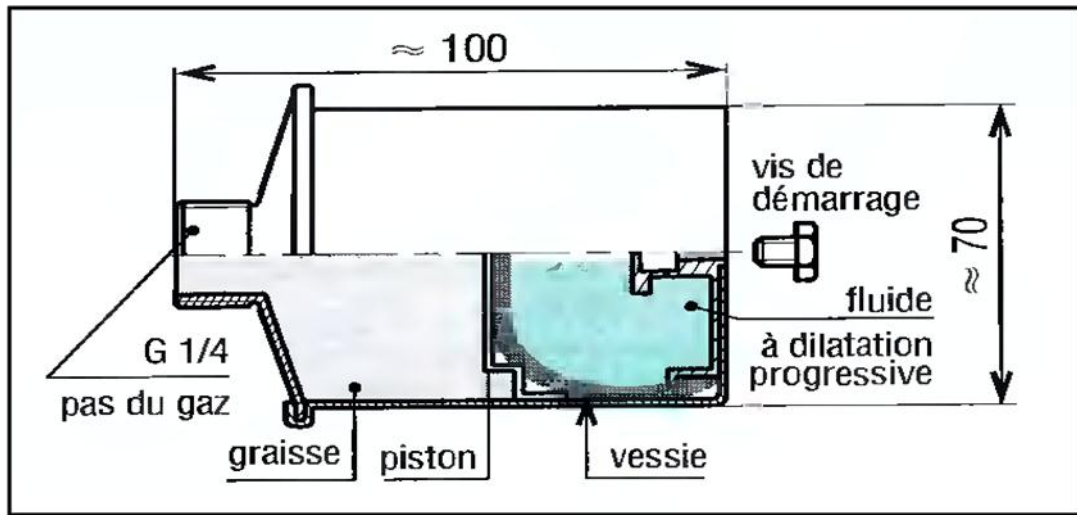


Figure 3-6: Exemple de graisseur automatique

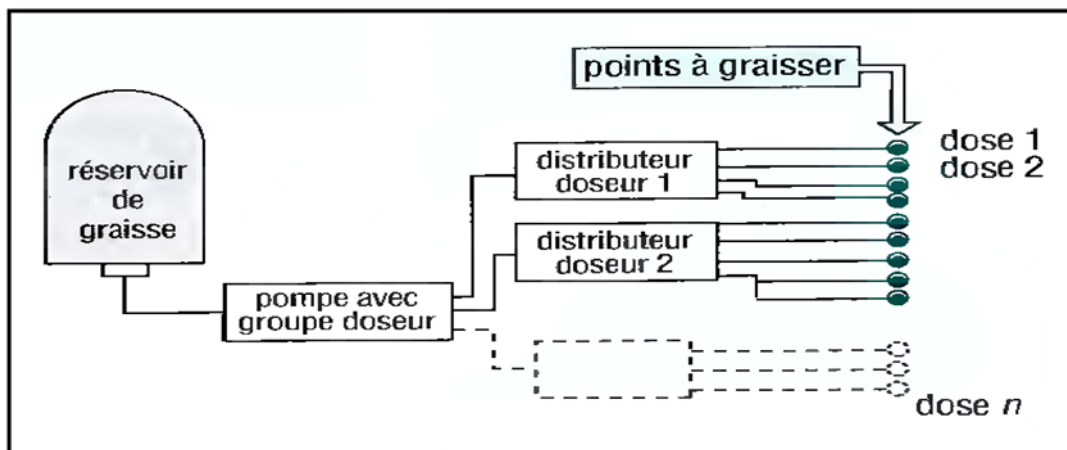


Figure 3-7: Installation simplifiée de graissage centralisé

III.6 Le régime de lubrifiant

On passe progressivement du frottement sec à la lubrification « idéale » où un film suffisamment épais sépare complètement les pièces. La transmission des efforts est assurée dans le premier cas par les seules aspérités des surfaces, dans le second par la pression qui règne dans la couche de lubrifiant.

Le frottement **immédiat**, ou sans lubrifiant, a été envisagé dans les chapitres précédents. Le frottement lubrifié ou **médiat** est subdivisé en plusieurs régimes différents : ⁸

III.6.1 Le régime onctueux: la couche de lubrifiant est plus épaisse, elle commence à porter une partie des charges mais il subsiste des contacts entre les aspérités des pièces. En général, les pressions sont plutôt importantes et les vitesses relatives plutôt faibles.

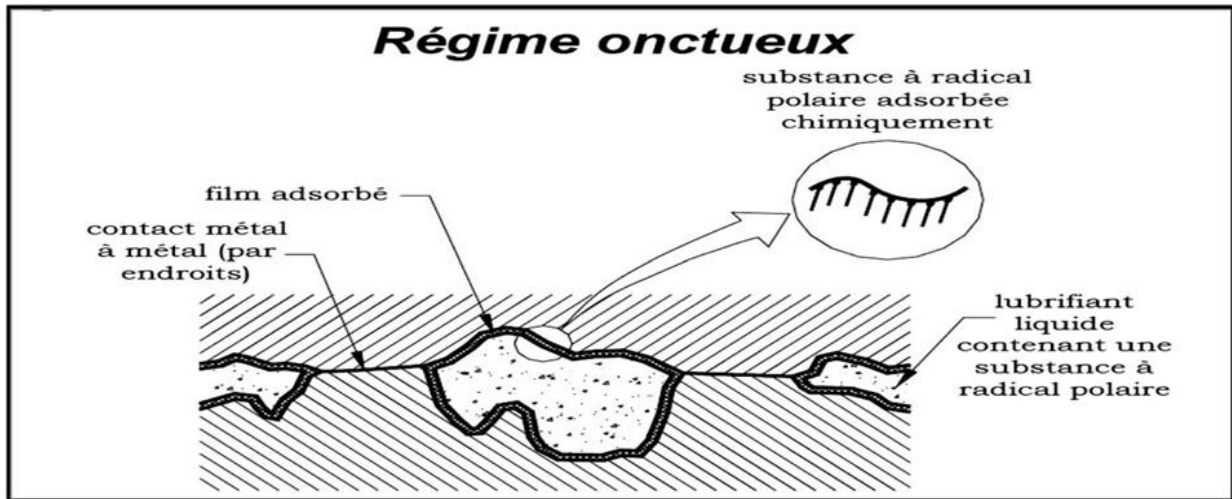


Figure 3-8: Exemple de régime onctueux

III.6.2 Le régime hydrodynamique: Le lubrifiant liquide est entraîné et mis sous pression par le mouvement relatif des surfaces. Il sépare totalement ces dernières et supporte l'intégralité des charges, grâce à sa **viscosité**, qui correspond à sa résistance à l'écoulement. Dans ce cas de figure les vitesses relatives ne sont jamais très faibles mais les pressions restent modérées, de sorte que l'on peut négliger les déformations des pièces et la compressibilité du lubrifiant.

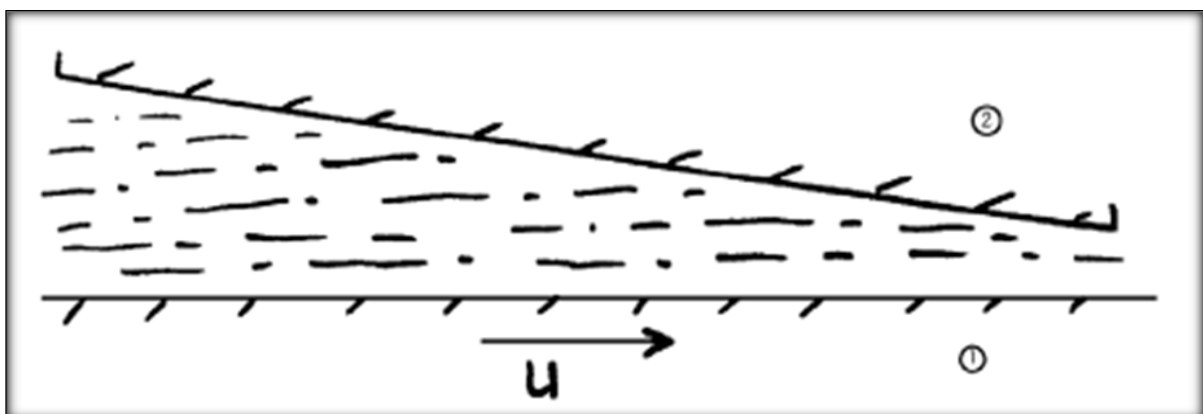


Figure 3-9: Le régime hydrodynamique

III.6.3 Lubrification limite: L'épaisseur du film lubrifiant est insuffisante pour isoler complètement les solides en contact; si la charge devient trop forte, il ne subsiste qu'une couche adsorbée quasi mono moléculaire. C'est la solidité de cette dernière qui empêche les contacts métal sur métal. L'aptitude du lubrifiant à former une couche adhérente, appelée **onctuosité**, est ici une qualité primordiale.

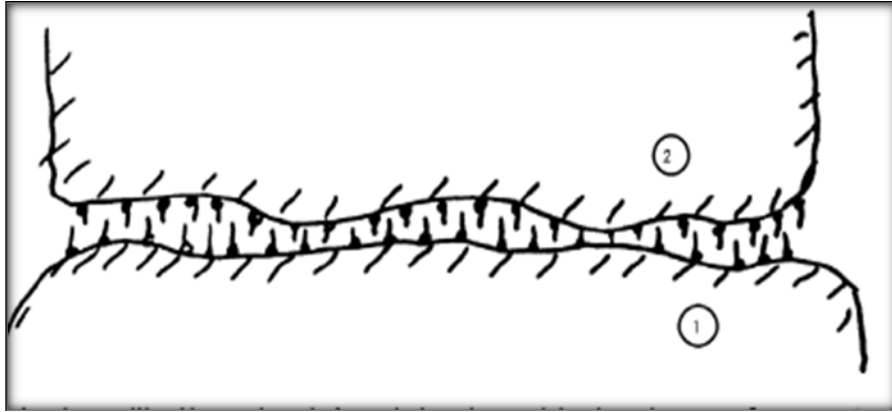


Figure 3-10: Lubrification limite

III.6.4 Lubrification « mixte »: Le fluide supporte une partie importante des charges mais des contacts subsistent entre les aspérités. Le frottement est minimal mais ce régime est très instable et il vaut mieux l'éviter.

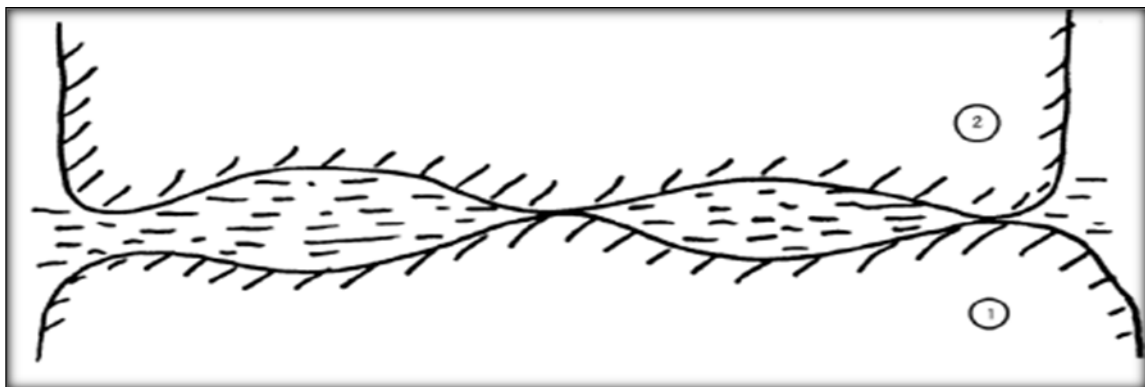


Figure 3-11: Lubrification « mixte »

III.6.5 Lubrification « pseudo-hydrodynamique »: l'huile arrive dans le contact par capillarité et forme un film lubrifiant par effet d'entraînement mais ce film ne peut pas véritablement être mis sous pression et supporter les charges. C'est ce qui se passe par exemple dans les coussinets autolubrifiants en bronze poreux.

III.6.6 Lubrification élastohydrodynamique: C'est un cas particulier du précédent, lorsque la pression dans le film liquide est suffisante pour déformer localement les solides en contact, comme c'est le cas lors du fonctionnement des engrenages. Cette déformation change la géométrie du film et la répartition des pressions, mais aussi les caractéristiques des lubrifiants : à 7 000 bar et 100 °C (conditions fréquentes dans les contacts), la viscosité des huiles naphténiques peut être multipliée par 100 000 ;

III.6.7 Lubrification hydrostatique ou aérostatique: Elle consiste à envoyer, à l'aide d'une pompe ou d'un compresseur, un liquide ou un gaz sous pression pour séparer les surfaces qui peuvent alors être ou non en mouvement relatif. Elle est la garantie d'un frottement extrêmement faible et d'une absence quasi totale d'usure mais il faut une source d'énergie extérieure.

III.7 Les poudres sèches

Les poudres sèches sont des produits qu'on introduit sous forme solide entre des surfaces en mouvement relatif pour en assurer la lubrification, car elles opposent une faible résistance au cisaillement. Par conséquent, dans certaines conditions d'utilisation, elles peuvent offrir des avantages non négligeables. [11]

III.7.1 Utilisations: On recommande l'utilisation d'un lubrifiant solide lorsque:

- Les températures de service sont extrêmes ($\approx 1000^\circ\text{C}$; fours, laminoirs, etc.) ;
- Les pressions unitaires sont très élevées ;
- L'environnement chimique et hostile (pompes à acide, radiations, etc.) ;
- La résistivité électrique doit être minimale (doigts de disjoncteurs, etc.) ;
- On veut éviter la contamination (nourriture, textile, etc.) ;
- On veut éviter le frettage (corrosion de contact) ;

Toutefois, les lubrifiants solides présentent les inconvénients suivants :

- Leur coefficient de frottement est relativement élevé ($\approx 0,02$ à $0,3$) ;
- Le film de lubrifiant a une durée de vie limitée ($\approx 10^3$ à 10^6 cycles) ;
- Ils ne contribuent pas au refroidissement des surfaces qu'ils lubrifient.

III.7.2 Modes d'application: Les façons les plus courantes d'appliquer les poudres sèches sur les surfaces et de les maintenir en place sont: le frottage, l'incorporation à une résine ou à un liant et la réaction chimique.

III.7.2.1 Frottage: On frotte les surfaces à protéger avec de la poudre sèche fine, si bien que des particules de poudre restent emprisonnées entre les aspérités microscopiques de ces surfaces. La durée de vie du graissage est courte, et son efficacité est assez faible.

III.7.2.2 Incorporation à une résine ou à un liant: à basse température (<250°C), on utilise comme liants des résines phénoliques, époxy ou polyamides. A plus haute température, on utilise plutôt des sels métalliques ou céramiques. Les couches d'application ont ordinairement moins de 10^{-2} mm. Cette méthode très répandue est efficace.

III.7.2.3 Réaction chimique: Dans ce cas, le lubrifiant devient un oxyde de métal de base. On utilise également ce procédé pour préparer les surfaces des pièces en vue d'obtenir une meilleure adhérence soit de la poudre sèche, soit du liant, soit d'un lubrifiant onctueux (agents anti-usure, par exemple).

III.7.3 Propriétés: Les propriétés et les utilisations les plus courantes des poudres les plus répandues.

- Le graphite, qui tire ses propriétés lubrifiantes de sa structure cristalline lamellaire, a besoin d'oxygène et d'eau pour être efficace. Au-dessus de 550°C environ, le graphite se combine à l'oxygène de l'air pour former du bioxyde de carbone.

- Le bisulfure de molybdène (MoS_2) est un produit naturel qu'on retrouve dans les mines de fer, mêlé aux minéraux. Pour qu'on puisse l'utiliser comme lubrifiant, il faut le raffiner à un très haut degré de pureté pour le séparer de sa gangue abrasive. De structure lamellaire comme le graphite, le bisulfure de molybdène a un mécanisme d'action similaire. Il est efficace jusqu'à environ 400°C dans l'air, après quoi, il réagit avec l'oxygène pour former du MoS_3 , qui est un produit abrasif. Sous vide, cependant, il conserve toutes ses propriétés lubrifiantes.

- Le polytétrafluoroéthylène (téflon) est un matériau thermoplastique. Son énergie de surface étant très basse, il n'a qu'une faible tendance à adhérer aux autres matériaux. C'est ce qui lui confère son apparence de surface « grasse » ainsi que son faible coefficient de frottement. Comme tout matériau thermoplastique, il ne peut être utilisé qu'à des températures relativement basses (<300°C). Le développement des voyages dans l'espace a poussé les fabricants à mettre au point des lubrifiants solides pouvant être utilisés aux basses et aux hautes températures dans le vide.

Parmi ces nouveaux produits, on retrouve le bisulfure de tungstène (WS_2). Le bisulfure de molybdène (MoTe_2) et divers fluorures de graphite (CF_x)_n. On utilise encore assez peu ces lubrifiants dans l'industrie.

III. Conclusion

Toutes les huiles lubrifiantes sont constituées d'un composant principal appelé « base », auquel sont ajoutés des « additifs » qui confèrent au lubrifiant les propriétés spécifiques requises pour une application donnée. Les bases pour lubrifiant peuvent être minérales d'origine « pétrolière » ou « synthétique ».



Chapitre IV

*Partie
expérimentale*

Introduction :

Les analyses d'huile ont deux objectifs; le premier la maintenance des lubrifiants, et le deuxième la maintenance de l'équipement (faire parler les particules existantes dans l'échantillon). Néanmoins, l'analyse physico-chimique d'un échantillon d'huile peut donner des informations sur l'état de ce dernier. A travers notre recherche, nous avons trouvé des difficultés dans le labo pour faire l'analyse des huiles parce qu'il n'y a pas le moyen nécessaire pour faire cela. C'est pour cette raison, nous avons décidé de prendre des échantillons qui appartiennent à d'autres analyses pour réaliser ce travail. Les analyses qui seront présentées dans ce travail sont :

- 1 La viscosité autant qu'une caractéristique rhéologique;
- 2 La teneur en eau;
- 3 L'acidité autant que caractéristique chimique;
- 4 Le teneur de métaux d'usure.

Ces analyses et autres citées au paravent ainsi que leurs résultats (voir annexe); si elles sont bien faites et bien interprétées; vont donner à l'agent de maintenance une aide pour mieux exploiter le parc machine qui lui appartient, et une capacité de prise de décision.

IV.1 Application des analyses d'huile :

IV.1.1 Analyses d'huile avant mise en service :

Avant la mise en service et lors de la réception d'une nouvelle machine l'exploitant et l'équipe de maintenance faire des essais et des contrôles pour apprécier la fiabilité ou bien le degré de fiabilité de cette dernière (en note qu'on peut utiliser les analyses huiles neuve à ce stade).

Une huile neuve peut perdre une ou plusieurs de ses paramètres; par exemple si elle est mal stockée ou mal transportée. Donc il est indispensable de l'analyser avant sa mise en service.

Pour ne pas alourdir cette présentation on ne va pas détailler les méthodes d'analyse, mais il est très important de prendre toutes les précautions lors de l'échantillonnage (voir chapitre 3). Les mesures admissibles sont limitées par des seuils d'après la fiche technique et les recommandations des constructeurs (tableau 4.1). [3]

Mesures	Seuils
La viscosité (cSt)	$41,6 < \nu > 50,6$
La masse volumique (Kg/m ³)	$\rho \leq 875$
La teneur en eau (ppm)	< 200
Acidité (mg KOH/g d'huile)	< 0,08

Tableau 4.1 : Seuils pour analyses d'huile

L'huile utilisée pour la lubrification des paliers lisses et pour la commande hydraulique des régulateurs et positionneurs et du type **Shell Turbo 46 T**; il est en grade ISO VG 46 (voir chapitre 3). Les analyses sur un échantillon de cette huile avant sa mise en service (neuve) donne les résultats suivants :

Mesures	Résultats	Remarques
La viscosité (cSt)	46 cSt	Bon
La masse volumique (Kg/m ³)	860 Kg/m ³	Bon
La teneur en eau (ppm)	177 ppm	Bon
Acidité (mg KOH/g d'huile)	0,05 mg KOH/g d'huile	Bon
Le point d'éclaire (c°)	215 c°	Bon

Tableau 4.2 : Résultats des analyses sur huile neuve

D'après les résultats présentés dans le tableau 4.2 on peut juger que l'huile est en bon état et qu'on peut le mètre en service en toute sécurité.

IV.1.2 Analyses d'huile après mise en service:

L'huile **Shell Turbo T 46** après sa mise en service aux caractéristiques présentées dans le chapitre 3 est contrôlée et suivie à travers les analyses citées ci-dessus. Les résultats sont présentés par les figures : 4.1, 4.2, et 4.3.

viscosité :

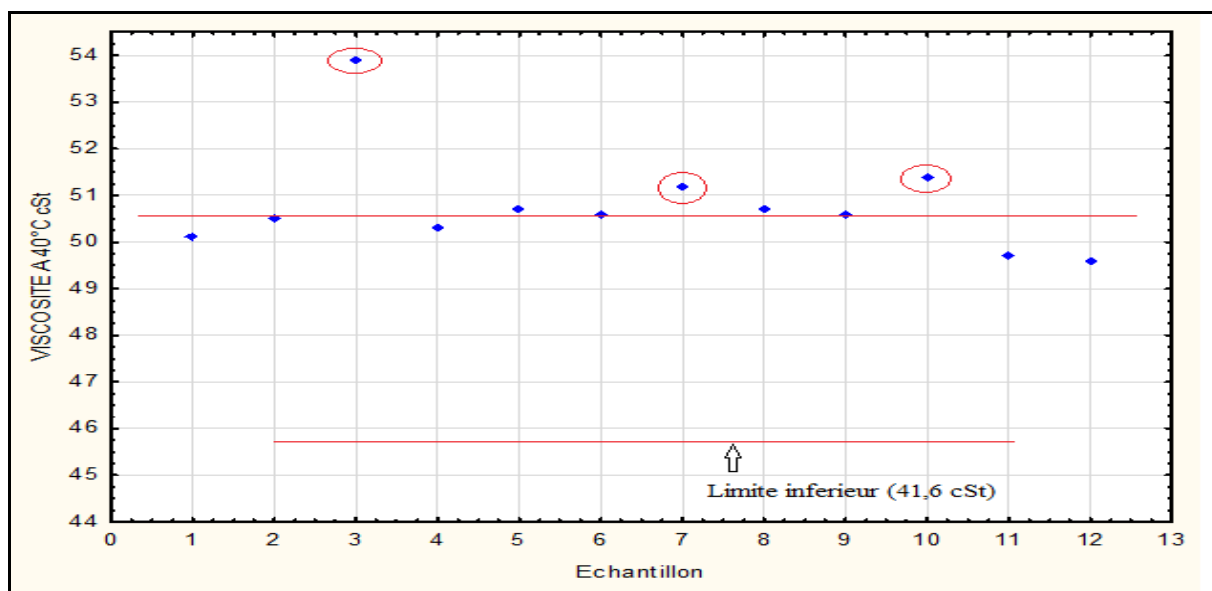
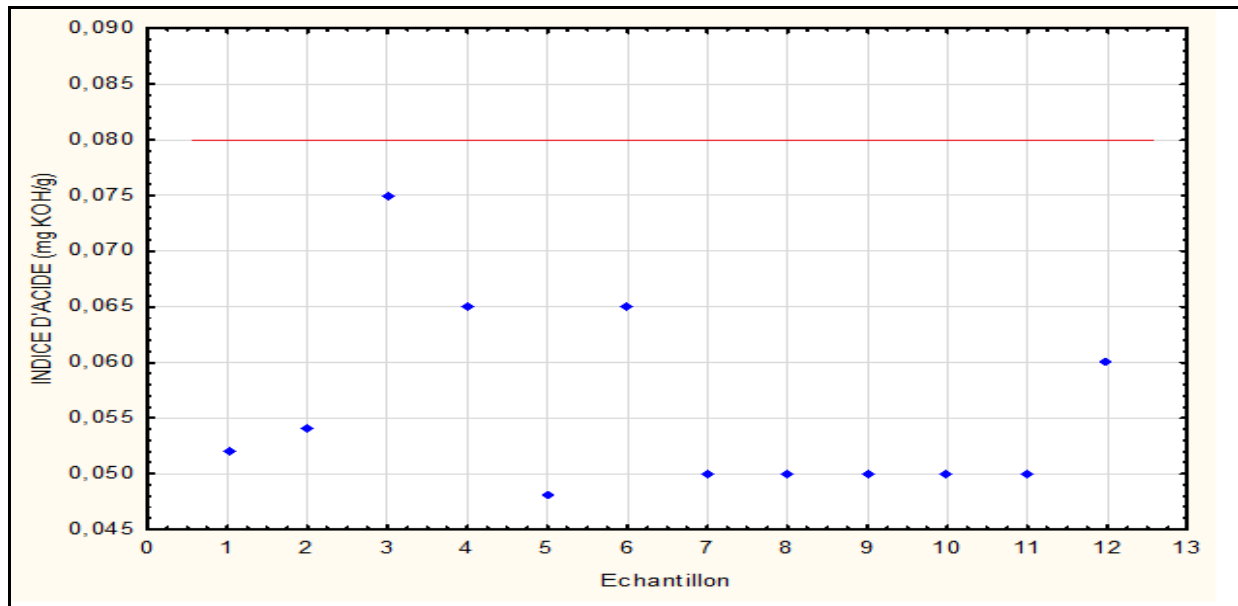


Figure 4.1 : Analyse de la viscosité (cSt).

D'après cette analyse en remarque qu'a un dépassement de la limite supérieur de la viscosité dans des échantillons [3, 7, et 10] à valeur [53,9, 51,2, et 51,4](cSt) à conséquence de l'oxydation causé le fonctionnement du lubrifiant à une température anormalement élevée.

Indice d'acidité :**Figure 4.2 : Analyse de l'acidité (mg KOH/g d'huile).**

La figure 4.2 représente une série d'analyses faite sur un échantillon d'huile en service. D'après cette analyse on ne trouve aucun dépassement de la limite d'acidité, mais il y a quelque échantillon (3, 4, et 6) à valeurs (0,075 – 0,065 – 0,065) approché de seuil d'acidité, ce qui traduit l'effet d'oxydation causé le fonctionnement du lubrifiant à une température anormalement élevée.

Teneur d'eau :

Tout l'analyses faite sur un échantillon d'huile en service sont indique aucun dépassement de la limite de présence d'eau (voir l'annexe), ce qui traduit n'existe pas se pollution.

Teneurs en métaux :

Les teneurs en métaux d'usure fournissent des renseignements précieux sur les conditions de fonctionnement du matériel. Leur évolution permet de détecter des usures anormales et d'intervenir avant incident.

Les principaux métaux couramment représentatifs de l'usure sont l'étain Sn, le plomb Pb, le fer Fe, le chrome Cr, l'aluminium Al, le cuivre Cu. [12]

Symbole	Métaux	Provenance de particules
Sn	Étain	En provenance de paliers, de coussinets, de butées.
Pb	Plomb	En provenance de paliers, de coussinets, de butées.
Fe	Fer	En provenance soit des arbres, des embiellages, des palettes, des engrenages, en fonction des matériels lubrifiés.
Cr	chrome	En provenance des vérins et des pompes lorsqu'il s'agit de circuit hydraulique.
Al	aluminium	En provenance de coussinets, pistons
Cu	cuivre	En provenance de paliers, de coussinets, de butées, de bagues de poussée, d'entretoises, du réfrigérant d'huile.
Si	silicium	Abrasif, provenance de l'air ambiant [mauvaise étanchéité du reniflard, ou reniflard inefficace].

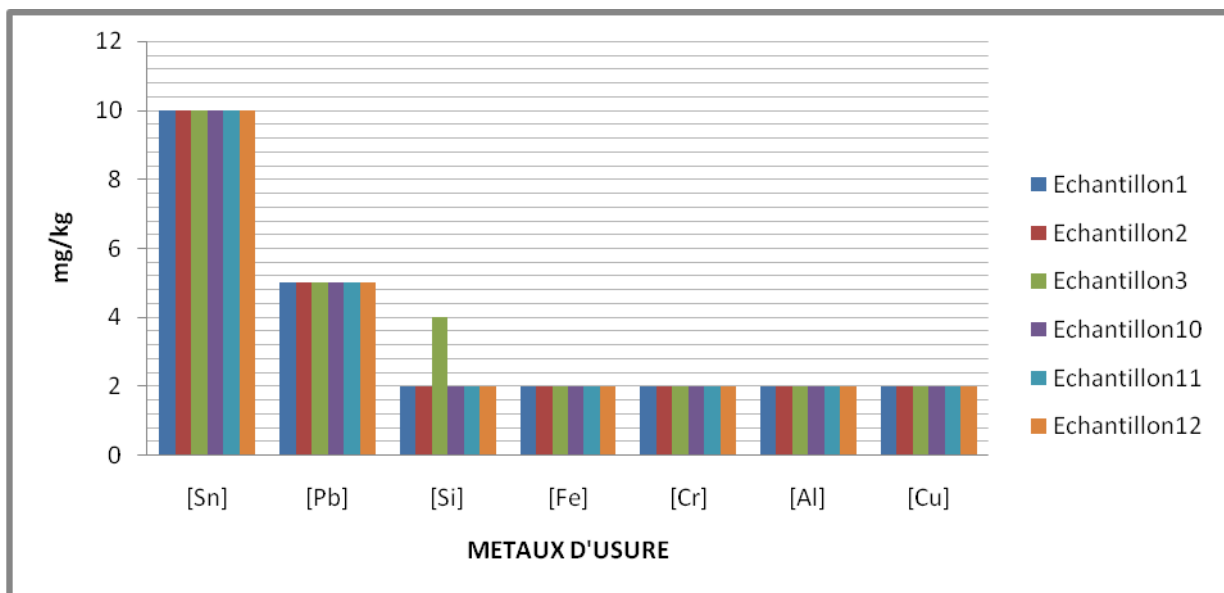


Figure 4.3 : Analyse teneur de métaux

D'après les analyses en remarque que le dosage de métaux d'usure ne dépassent la limite de seuil mais il y a un seul échantillon [3] est dépassé de limite pour silicium [4 mg/kg], ce qui indiquer une pollution par de la silice à l'échantillonnage.

Conclusion

Dans ce chapitre nous avons appliqué deux types de l'analyse des huiles dégradation et contamination et on constat que :

Trois dégradations de la viscosité dans des échantillons [3, 7, et 10] et une contamination dans l'échantillon [3] pour silicium [4 mg/kg].



Conclusion générale

Annexe : Tableau des mesures pour l'analyse d'huile : [12]

	1	2	3	4	5	6
Date	28/01/2011	03/03/2011	11/07/2011	03/09/2011	31/10/2011	28/12/2011
EAU (AQUATEST) %	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05
INDICE (D'ACIDE) mg KOH/g	0,052 -	0,054 -	0,075	0,065	0,048 -	0,065
VISCOSITE A 40°C cSt	50,10	50,50	53,90 ++	50,30	50,70	50,60
[Sn] ETAIN mg/kg	<10	<10	<10	<10	<10	<10
[Pb] PLOMB mg/kg	<5	<5	<5	<5	<5	<5
[Si] SILICIUM mg/kg	<2	<2	4 +	<2	<2	<2
[Fe] FER mg/kg	<2	<2	<2	<2	<2	<2
[Cr] CHROME mg/kg	<2	<2	<2	<2	<2	<2
[Al] ALUMINIUM mg/kg	<2	<2	<2	<2	<2	<2
[Cu] CUIVRE mg/kg	<2	<2	<2	<2	<2	<2

	7	8	9	10	11	12
Date	10/06/2012	25/08/2012	26/10/2012	23/12/2012	22/02/2013	03/05/2013
EAU (AQUATEST) %	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05
INDICE (D'ACIDE) mg KOH/g	0,05 *	0,05 *	0,05 *	0,05 *	0,05 *	0,06 *
VISCOSITE A 40°C cSt	51,20 +	50,70 +	50,60	51,40 +	49,70	49,60
[Sn] ETAIN mg/kg	<10	<10	<10	<10	<10	<10
[Pb] PLOMB mg/kg	<5	<5	<5	<5	<5	<5
[Si] SILICIUM mg/kg	<2	<2	<2	<2	2 *	<2
[Fe] FER mg/kg	<2	<2	<2	<2	<2	<2
[Cr] CHROME mg/kg	<2	<2	<2	<2	<2	<2
[Al] ALUMINIUM mg/kg	<2	<2	<2	<2	<2	<2
[Cu] CUIVRE mg/kg	<2	<2	<2	<2	<2	<2

BIBLIOGRAPHIE

1. **Ministère de l'énergie, des mines, et de ressources Canada**, série de la gestion de l'énergie 14 Compresseurs et turbines.
2. Compresseurs centrifuge, Nuovo Pignone.
3. Training Manual *Operation & Maintenance* Centrifugal Compressor BCL 505, GEPS Oil & Gas Nuovo Pignone
4. **François Monchy**, Maintenance : Méthodes et Organisations, 3^e édition, Dunod, Paris, 2010.
5. **S. Bensaada, D. Feliachi**, La Maintenance Industrielle, Office des Publications Universitaires (OPU), 2002.
6. **Chouchene Adnene**, Support de Cours Méthodes de la Maintenance, Institut Supérieur Des Etudes Technologique de Sousse, 2012
7. **Jean Heng**, Pratique De La Maintenance Préventive, Dunod, Paris, 2002
Jean Claude Francastel, Ingénierie de la maintenance : de la conception à l'exploitation d'un bien, Dunod, Paris, 2003
8. **Iset siliana**, Analyses des huiles, <http://www.technologuepro.com/cours-analyses-des-huiles/chapitre-3-les-analyses-des-huiles-industrielles.pdf>
9. **Jean-Louis fanchon**, guide des sciences et technologies industrielles afnor 2001-09
10. **Tribologie/Lubrifiants**, <http://www.umc.edu.dz/vf/images/cours/maintenance-industrielle/chapitre%206.pdf>
11. **Les différents types de graisses et d'huiles**, http://www.economie.gouv.fr/files/directionsservices/daj/marches_publics/oeap/gem/5724/ann1.pdf
12. **Groupeement TFT, TOTAL LUBRIFIANTS**, Analyse D'huile En Service
13. **Document Groupeement TFT.**

RÉSUMÉ

Une variété de technologies peuvent, et devraient être utilisée en tant qu'élément d'un programme de maintenance préventive complet. Puisque les systèmes mécaniques ou machines comptent la plupart des équipements stratégiques d'une usine, la surveillance vibratoire est généralement la composante clé de la plupart des programmes de maintenance préventive. Cependant, la surveillance vibratoire (courbes de tendance) ne peut pas fournir toutes les informations exigées pour la réussite d'un programme de maintenance préventive.

Par conséquent, un programme de maintenance préventive complet doit inclure autres techniques de surveillances et diagnostiques; tel que les analyses d'huile.

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

MOTS -CLES: Turbomachine, Turbocompresseur, Maintenance, Vibrations, Analyse d'huile.

A variety of technologies can and should be used as part of a comprehensive program of preventive maintenance. Since mechanical systems or machines have the most critical equipment of a factory, vibration monitoring is generally the key component of most preventive maintenance programs. However, vibration monitoring (trending) cannot provide all the information required for a successful preventive maintenance program.

Therefore, a comprehensive preventive maintenance program should include other diagnostic and monitoring techniques; as oil analysis.

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

WORDS - CLES: Turbo machinery, Turbocharger, Maintenance, vibration, oil analysis.

إن التنوع التكنولوجي تسمح باستعمال جزء من عناصر برنامج الصيانة الوقائية الشاملة، لأن الأنظمة الميكانيكية أو الآلات تعتبر معظم المعدات الإستراتيجية للمصنع. يمثل رصد الاهتزازات هو المكون الرئيسي لمعظم برامج الصيانة الوقائية، ومع ذلك قد لا يستطيع توفير كل المعلومات المطلوبة من أجل نجاح برنامج الصيانة الوقائية.

ولذلك يجب أن يتضمن برنامج الصيانة الوقائية تقنيات أخرى للرصد والتشخيص مثل تحليل النفط.

توفر المحاور الآتية وصفاً أكثر تفصيلاً لهذه التقنيات وكيف أنها ينبغي أن تستخدم كعناصر من برنامج صيانة فعالة.

كلمات البحث : التوربينية، الشاحن التريبيني، والصيانة، الاهتزاز، تحليل النفط.