

Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

Université M'Hamed BOUGUERRA- Boumerdès

Faculté des Sciences de l'Ingénieur

Département de Génie des Procédés Industriels



Mémoire

Pour l'obtention de : ***Master***

Option : ***Génie des procédés organiques et
macromoléculaires***

Thème

***Contribution à la mise en place d'une démarche pour le suivi de la
qualité des huiles lubrifiantes en service.***

Présenté par : ***BOUZERKOUNE Nadjat
LAZIZI Khadidja***

Mémoire soutenu le : 28 /06/ 2017 devant le jury composé de :

Mr. AKSAS. H	MCA	Président de jury	UMBB
Mme. OUSLIMANI.	MCA	Examinatrice	UMBB
Mr. HAOUECHE. R	INGENIEUR	Examineur	SONATRACH
Mme. BEN BOUABDELLAH.A	MCA	Promotrice	UMBB

Année universitaire 2016/2017

DEDICACE

Je dédie ce travail à :

Mes chers parents:

Aucune dédicace, aucun mot, aucun acte ne saurait exprimer à sa juste équitable valeur, le dévouement et l'amour que je vous porte,

votre

tendresse, bonté, grandeur d'âme restent toujours gravés dans mon

esprit et mon cœur.

Que Dieu le tout puissant vous garde et vous procure longue vie, santé

et bonheur, puisse-t-il m'aider pour que je sois signe de votre confiance

et à la hauteur de vos espérances.

Mes chères sœurs :

Razika, Linda, Karima, Amel

Mes frères :

Redouane et Oussama

L'amour fraternel que je vous porte est sans égal, vos conseils et votre

amour m'ont soutenu tout au long de mes études et vos encouragements ont été pour moi d'un grand réconfort.

Puisse notre esprit de famille se fortifie au cours des années et notre

fraternité demeure toujours intacte.

Et à tous mes amies.

Khadija.

REMERCIEMENT

Nous tenons tout d'abord à remercier Dieu le tout puissant et miséricordieux, qui nous a donné la force et la patience d'accomplir ce Modeste travail.

En second lieu, nous tenons à remercier notre encadreur Mr. MESSARDI Sofiane, et notre promotrice Mme : BEN BOUABDELLAH A. Mr. HAOUACHE. R et Mr. AIT IDR. M pour ses précieux conseils et ses aides durant toute la période du travail.

Nos vifs remerciements vont également aux membres du jury pour l'intérêt qu'ils ont porté à notre recherche en acceptant d'examiner notre travail Et de l'enrichir par leurs propositions.

Nos remerciements aussi à tout l'ensemble de la faculté de sciences de l'ingénieur et surtout le département de génie des procédés industrielles

Enfin, nous tenons également à remercier toutes les personnes qui ont participé de près ou de loin à la réalisation de ce travail.

Résumé

Résumé

Les huiles lubrifiantes sont obtenues à partir de la distillation des produits lourds du pétrole, elles sont des liquides visqueux utilisées pour la lubrification des moteurs et des machines. La lubrification est l'introduction d'une pellicule d'huile ou de graisse entre les pièces mobiles.

Les lubrifiants préviennent le contact des pièces ce qui permet les surfaces de glisser l'une sur l'autre sans se toucher, on prévient ainsi l'usure des pièces qui bougent en douceur. L'huile sert également à dissiper une certaine partie de la chaleur produite par les pièces lorsque le fonctionnement de la machine à un régime élevé, les HL préviennent aussi la corrosion car elles forment une barrière matérielle contre l'humidité. Ces matières (les HL) dégradent après un certain temps d'utilisation à cause de : Contamination, oxydation ou usure des matériaux.

Dans l'objectif de traiter ce phénomène (la dégradation de l'huile) nous avons fait une surveillance de ces huiles en suivant l'évolution de leurs caractéristiques principales tel que : la viscosité, la masse volumique, la couleur et la teneur en métaux.

Mots clés : huiles lubrifiantes, dégradation, viscosité, masse volumique.

Abstract

Lubricating oils are obtained from the distillation of heavy petroleum products, they are viscous liquids used for the lubrication of engines and machines, the lubrication is the introduction of a film of oil or grease between the parts mobile.

The lubricants prevent the contact of the parts, which allows the surface to slide on one other without touching, thus preventing the wear of the parts which move smoothly. The oil also serves to dissipate some of the heat produced by the parts when the machine operates at a high speed; lubricating oils also prevent the corrosion because they form a metal barrier against moisture.

These materials (lubricants) degrade after a certain period of use due to: metal contamination, oxidation or wear.

In order to deal with this phenomenon (oil degradation), we monitored these lubricating oils by following the evolution of their main characteristics such as: viscosity, density, colour and content metals.

Key words: lubricating oils, degradation, viscosity, density.

Abréviations :

DTD : direction de technologie et de recherche.

ASTM: American society for testing and materials

ISO: International organization of standardization

EP: extreme pressure.

AW: anti wear.

B₂O₃: oxyde de bore.

PTFE: polytétrafluéthylène.

HL : huile lubrifiante.

IV : indice de viscosité.

NPA : national Petroleum association.

FOD : foreign object damage.

KOH : hydroxyde de potassium.

Al : aluminium.

Sn : étain.

Cu : cuivre.

Pb : plomb.

Si : silicium.

Na : sodium.

Fe : fer.

Cr: chrome.

Liste des figures

Figure I.1: Organigramme de la direction gisement.....	8
Figure II.1: Distillation atmosphérique et sous vide.....	12
Figure III.1: Composition d'une huile lubrifiante.....	19
Figure III.2: Indice de viscosité.....	23
Figure IV.1 : classification des compresseurs.....	29
Figure V.1 : Viscosimètre Cannon FENSKE.....	41
Figure V.2: Les tubes de centrifugation	45
Figure VI.1 : suivi de l'évolution de la viscosité de l'huile en service (TORBA 46 dans un turbocompresseur) à 40°C.....	50
Figure VI.2 : suivi de l'évolution de la viscosité de l'huile en service (TORBA 46 dans un turbocompresseur) à 100°C.....	50
Figure VI.3. Suivi de l'évolution de la viscosité de l'huile en service (TEXACO EP68 dans un compresseur d'air) à 40°C.....	51
Figure VI.4. Suivi de l'évolution de la viscosité de l'huile en service (TEXACO EP68 dans un compresseur d'air) à 100°C en fonction de temps.....	51
Figure VI.5. Suivi de l'évolution de la viscosité de l'huile en service (CHELIA 15W40 dans un moteur diesel) à 40°C en fonction de temps.....	52
Figure VI.6. Suivi la variation de la viscosité de l'huile en service (CHELIA 15W40 dans un moteur diesel) à 100°C en fonction de temps.....	53
Figure VI.7. Variation de la masse volumique de l'huile en service (TEXACO EP68 dans un compresseur d'air) à 15°C en fonction du temps	54
Figure VI.8. Variation de la masse volumique de l'huile en service (TORBA 46 dans un turbo compresseur) à 15°C en fonction de temps.....	55
Figure VI.9. Variation de la masse volumique de l'huile en en service (CHILIA 15W40 dans un moteur diesel) en fonction de temps.....	55

Figure VI.10. Suivi de l'évolution de la teneur en aluminium et en étain dans l'huile en service (CHELIA 15W40 dans un moteur diesel) en fonction de temps.....	56
Figure VI.11. Suivi de l'évolution de la teneur en aluminium et en étain dans l'huile en service (TORBA 46 turbo compresseur) en fonction de temps.....	57
Figure VI.12. Suivi de l'évolution de la teneur en Aluminium et en Etain dans l'huile en service (TEXACO EP68 dans un compresseur d'air) en fonction de temps.....	58
Figure V.13. Suivi de l'évolution de la teneur en Plomb et en Cuivre dans l'huile en service (TORBA 46 turbo compresseur) en fonction de temps.....	59
Figure VI.14. Suivi de l'évolution de la teneur en Plomb et en Cuivre dans l'huile en service (CHELIA 15W40 dans un moteur diesel) en fonction de temps.....	60
Figure VI.15. Suivi de l'évolution de la teneur en Plomb et en Cuivre dans l'huile en service (TEXACO EP68 dans un compresseur d'air) en fonction de temps.....	60
Figure VI.16 : Suivi de l'évolution de la teneur en Silicium et en Sodium dans l'huile en service (CHELIA 15W40 dans un moteur diesel) en fonction de temps....	61
Figure VI.17 : Suivi de l'évolution de la teneur en Silicium et en Sodium dans l'huile en service (TORBA46 dans un turbo compresseur) en fonction de temps.....	62
Figure VI.18. Suivi de l'évolution de la teneur en Silicium et en Sodium dans l'huile en service (TEXACO EP68 dans un compresseur d'air) en fonction de temps.....	63
Figure VI.19. Suivi de l'évolution de la teneur en Fer et en Chrome dans l'huile en service (TEXACO EP68 dans un compresseur d'air) en fonction de temps.....	64
Figure VI.20. Suivi de l'évolution de la teneur en Fer et en Chrome dans l'huile en service (CHELIA 15W40 dans un moteur diesel) en fonction de temps.....	65
Figure VI.21. Suivi de l'évolution de la teneur en Fer et en Chrome dans l'huile en service (TORBA 46 turbo compresseur) en fonction de temps.....	65

Liste des tableaux

Tableau II.1. Les produits dérivés du pétrole.....	12
Tableau V.1. Problèmes détectés sur moteur technique.....	37
Tableau V.2. Problèmes détectés sur multiplicateurs, réducteurs, et engrenage.....	37
Tableau V.3. Problèmes détectés sur compresseurs (pistons, à vis et centrifuges.....	37
Tableau V.4. Problèmes détectés sur systèmes hydraulique.....	38
Tableau V.5. Les conditions opératoires à respecter en fonction de types d'échantillon.....	47
Tableau V.6. Nature de corrosion des lames de références.....	48

Sommaire

Sommaire

Introduction générale.....	1
Partie I: études bibliographiques	
Chapitre I : présentation du lieu de stage	
I.1. présentation de l'entreprise.....	5
I.2.division de technologies et développement.....	6
I.3. organigramme de la DTD.....	6
I.4. direction gisements.....	7
Chapitre II : généralités sur le pétrole	
II.1. introduction.....	10
II.2.origine du pétrole.....	10
II.3.distillation du pétrole.....	11
II.3.1. distillation atmosphérique.....	11
II.3.2.distillation sous vide.....	11
II.4.les dérivés du pétrole.....	12
Chapitre III : les huiles lubrifiantes	
III.1.définition.....	16
III.2.fonctions des lubrifiants.....	16
III.2.1.refroidir.....	16
III.2.2.étancher.....	16
III.2.3.nettoyer.....	17
III.2.4.lubrifier.....	17
III.3.les différents types des lubrifiants.....	17
III.3.1.lubrifiants d'origine animale.....	17
III.3.2.lubrifiants d'origine végétale.....	18
III.3.3.lubrifiants d'origine minérale.....	18
III.3.4.lubrifiants d'origine synthétique.....	18
III.4.composition d'une huile lubrifiante.....	19
III.4.1.les huiles de base.....	19
III.4.1.1.les huiles minérales.....	19
III.4.1.2.les huiles de semi synthèse.....	19
III.4.1.3.les huiles de synthèse ou synthétique.....	20
III.4.2.les additifs.....	20
III.4.2.1.détergents.....	20
III.4.2.2.dispersants.....	21
III.4.2.3.additifs à haute pression et additifs pour protection contre l'usure.....	21
III.4.2.4.additifs anticorrosion/antirouille.....	21
III.4.2.5.optimisateur de l'indice de viscosité.....	21
III.4.2.6.optimisateur du point d'écoulement.....	21
III.4.2.7.additifs pour la protection du vieillissement.....	21
III.4.2.8.produits anti mousse.....	22
III.4.2.9.anti oxydants.....	22
III.4.2.10.anti congelant.....	22
III.4.2.11.anti émulsion.....	22
III.5.propriétés des huiles.....	22
III.5.1.propriétés physiques.....	22
III.5.1.1.viscosité.....	22
III.5.1.2.index ou indice de viscosité.....	23
III.5.1.3.densité.....	24
III.5.1.4.couleur.....	24

III.5.1.5.point d'écoulement.....	24
III.5.2.propriétés chimiques.....	25
III.5.2.1.point d'éclair.....	25
III.5.2.2.teneur en soufre.....	25
III.5.2.3.teneur en eau.....	25
Chapitre IV : les machines tournantes	
IV.1.les compresseurs.....	28
IV.1.2.définition.....	28
IV.1.3.but de la compression	28
IV.1.4.classification des compresseurs.....	28
IV.1.5.principe de fonctionnement	29
IV.1.6.condition de fonctionnement.....	30
IV.2.le moteur diesel.....	32
IV.2.1.introduction.....	32
IV.2.2.principe de fonctionnement.....	32
IV.2.3.l'architecture des moteur diesel.....	33
Partie II : Etude experimentale	
Chapitre V : analyses, échantillonnage et méthodes de surveillance des huiles lubrifiantes.	
V.1.les analyses des huiles lubrifiantes.....	36
V.1.1.introduction.....	36
V.1.2.l'analyse d'huile : à quoi ça sert ?.....	36
V.1.3.préparation de l'échantillon.....	38
V.1.4.échantillonnage.....	38
V.2.contrôle et surveillance des huiles lubrifiantes	39
V.2.1.introduction.....	39
V.2.2.les essais sur les huiles.....	39
V.2.2.1.masse volumique.....	39
V.2.2.2.la viscosité cinématique.....	40
V.2.2.3.point d'éclair.....	42
V.2.2.4.point d'écoulement.....	42
V.2.2.5.détermination de la teneur en soufre par fluorescence X.....	43
V.2.2.6.indice d'acidité.....	44
V.2.2.7.teneur en eau.....	44
V.2.2.8.teneur en eau et sédiments.....	45
V.2.2.9.couleur.....	46
V.2.2.10.corrosion à la lame de cuivre.....	46
Chapitre VI : résultats et discussions	
VI.1.suivi de la viscosité les huiles lubrifiantes en service.....	50
VI.2.suivi de la variation de la masse volumique des huiles lubrifiantes en service.....	54
VI.3.suivi de la variation de la teneur en Aluminium(Al) et en Etain(Sn) dans huiles lubrifiantes en service.....	56
VI.4. suivi de la variation de la teneur en Plomb(Pb) et en Cuivre(Cu) dans les huiles lubrifiantes en service.....	59
VI.5. suivi de la variation de la teneur en Silicium(Si) et en Sodium(Na) dans les huiles lubrifiantes en service.....	61
VI.6.suivi de la variation de la teneur en Fer(Fe) et en Chrome(Cr) dans les huiles lubrifiantes en service.....	64
Conclusion générale.....	
Références bibliographiques.....	

Annexes

Annexe V.2.2.2 : Bain thermostaté pour la viscosité cinématique manuelle (type de capillaire : CANNON FENSKE).

Annexe V.2.2.3 : point d'éclair (vase fermé)

Annexe V.2.2.5 : détermination de la teneur en soufre par fluorescence rayon x.

Annexe V.2.2.6 : Détermination de l'indice d'acidité (mode opératoire)

Annexe V.2.2.6.a : détermination de l'indice d'acidité « par titrage »

Annexe V.2.2.8 : Teneur en eau et sédiment :

Annexe V.2.2.9 : détermination de la couleur

Annexe V.2.2.10 : corrosion à la lame de cuivre

Table de séries des couleurs de référence de la corrosion à la lame de cuivre

Introduction générale

Introduction générale

Un moteur ou une machine quelconque en cas du mouvement soumis des frottements entre ces pièces mobiles ainsi qu'une élévation de la température, ceci avec le temps conduit à un endommagement de ces pièces et de la machines en général.

Pour cela, les spécialistes ont essayé pendant des siècles d'inventer des matières et des substances pour éliminer ou bien minimiser ces problèmes, ces matières sont appelées les huiles lubrifiantes.

Les huiles lubrifiantes sont des liquides visqueux obtenus par la distillation du pétrole brut composées d'une huile de base (huile minérale ou huile de synthèse) et un ou plusieurs additifs (anti usure, extrême pression, anticorrosion...).

Elles ont pour but :

- Lubrification: réduction du frottement et de l'usure
- Refroidissement: suppression de la chaleur générée par le frottement et de la chaleur de procédé
- Protection contre la corrosion
- Préservation de la propreté : suppression des débris d'usure et de la contamination
- Étanchéité.

Comme ces huiles ont des avantages, elles ont aussi des inconvénients par exemple :

La pollution, la contamination et la dégradation.

Pour le suivi de la qualité de ces huiles on a réalisé dans ce travail des tests et des essais pour savoir les paramètres et les raisons qui influent sur les caractéristiques essentielles de ces huiles (viscosité, masse volumique, couleur,...) il convient de suivre régulièrement les évolutions des caractéristiques de l'huile et de comparer les résultats obtenus à chaque analyse d'une fois sur l'autre et par rapport aux caractéristiques de l'huile neuve. Il conviendra d'intervenir si l'on constate une évolution brutale des caractéristiques ou si l'on s'éloigne trop des valeurs initiales.

Les huiles qui vont être testées sont formulées dans une zone pétrolière en Algérie

Ce modeste travail est devisé en deux parties :

La partie bibliographique qui est classée en trois chapitres concerne à donner des définitions et d'origine des huiles lubrifiantes ainsi que leur principales caractéristiques et les machines industrielles, leur applications et fonctionnement.

La deuxième partie c'est la partie pratique, elle est aussi devisées en deux chapitres c'est l'analyse, résultat, interprétation et discussion sur les essais qui sont fait sur nos échantillons durant le stage pratique.

Ce travail a été réalisé dans les laboratoires du département de gisement au niveau de direction de technologies et de développement (ex CRD) de Boumerdès.

Etude bibliographique

Chapitre I
Présentation du lieu de
stage

Chapitre I : Présentation du lieu de stage

I.1. Présentation de l'entreprise

Sonatrach est la société Algérienne de recherche; d'exploitation; de transport par canalisation; de transformation et de commercialisation des hydrocarbures et leurs dérivés.

Elle a pour missions de valoriser de façon optimale les ressources nationales d'hydrocarbures et de créer des richesses aux services du développement économique et social du pays.

Elle est présente dans plusieurs projets avec différents partenaires en Afrique, en Amérique latine et en Europe.

Depuis sa création, Sonatrach a réussi à acquérir une forte capacité d'intégrer les nouvelles technologies, à asseoir une présence prouvée et fiable sur les marchés internationaux des hydrocarbures liquides et gazeux et capitaliser son expérience de partenariat avec les compagnies internationales de taille et d'origine géographiques différentes.

Elle s'est également adaptée au nouvel environnement économique mondial en diversifiant ses activités.

Aujourd'hui Sonatrach s'affirme non seulement comme un groupe international à vocation pétrolière et gazière, mais comme une compagnie solidaire, responsable et citoyenne.

Sonatrach est un acteur majeur dans le domaine du pétrole et de gaz, elle est aujourd'hui la première compagnie d'hydrocarbures en Afrique et en Méditerranée.

Sonatrach exerce ses activités dans quatre principaux domaines :

- l'amont pétrolier
- l'aval pétrolier
- le transport par canalisation
- la commercialisation des hydrocarbures et des produits pétroliers

I.2. Division de technologies et développement

La division technologies et développement DTD (ex CRD) est constituée un support scientifique et techniques, des services d'exploitation et de production de Sonatrach ; ses missions se situent dans le cadre général de la recherche, de l'exploitation et de développement des gisements d'hydrocarbures et sont résumées comme suit :

- développer et promouvoir la recherche et développement avec la participation des entreprises concernées.
- fournir des services d'analyse, d'expérimentation, la recherche et le développement des études liées à l'exploration, la production des hydrocarbures ainsi que le transfert de gaz naturel liquéfié.
- fournir le support et l'évaluation scientifique pour la résolution des problèmes qui nécessitent des études et analyses plus particulièrement pour les travaux et le suivi géologique.
- intervention à tous les niveaux en commençant du forage jusqu'aux activités de l'aval pétrolier.

I.3. Organigramme de la DTD

La DTD comprend quatre (4) directions opérationnelles, trois (3) directions et trois (3) départements fonctionnels. Hormis la direction laboratoires et carothèque centrale qui se trouve à Hassi Messaoud, les autres structures de DTD sont basées à Boumerdès.

La DTD est structurée en :

*quatre (4) directions opérationnelles :

- gisement
- géologie
- assistance aux unités industrielles
- laboratoires et carothèque central HMD

*trois (3) directions et trois (3) départements fonctionnels :

- Direction gestion du personnel et moyens

- Direction recherche
- Direction finances et juridique
- Département technologies de l'information
- Département QHSE
- Département technique

On s'intéressera par la suite à la direction de gisements où ce travail a été réalisé.

I.4. Direction gisements

La direction gisements (figure I.1) a pour mission de réaliser des études de caractérisation des roches réservoirs et des fluides de gisements ou de forage et le contrôle de qualité des huiles lubrifiantes ainsi que la caractérisation des produits pétroliers stabilisés (bruts ou condensats).

Les paramètres obtenus permettent d'effectuer des modélisations afin de simuler le comportement du système roches-fluides en site et de mettre en œuvre des nouvelles techniques nécessaires à la stimulation, au développement et à l'exploitation rationnelle des gisements d'hydrocarbures.

La direction gisements est constituée par trois (3) départements:

- *département caractérisation des réservoirs
- *département études thermodynamique
- *département analyses des produits pétroliers stabilisés

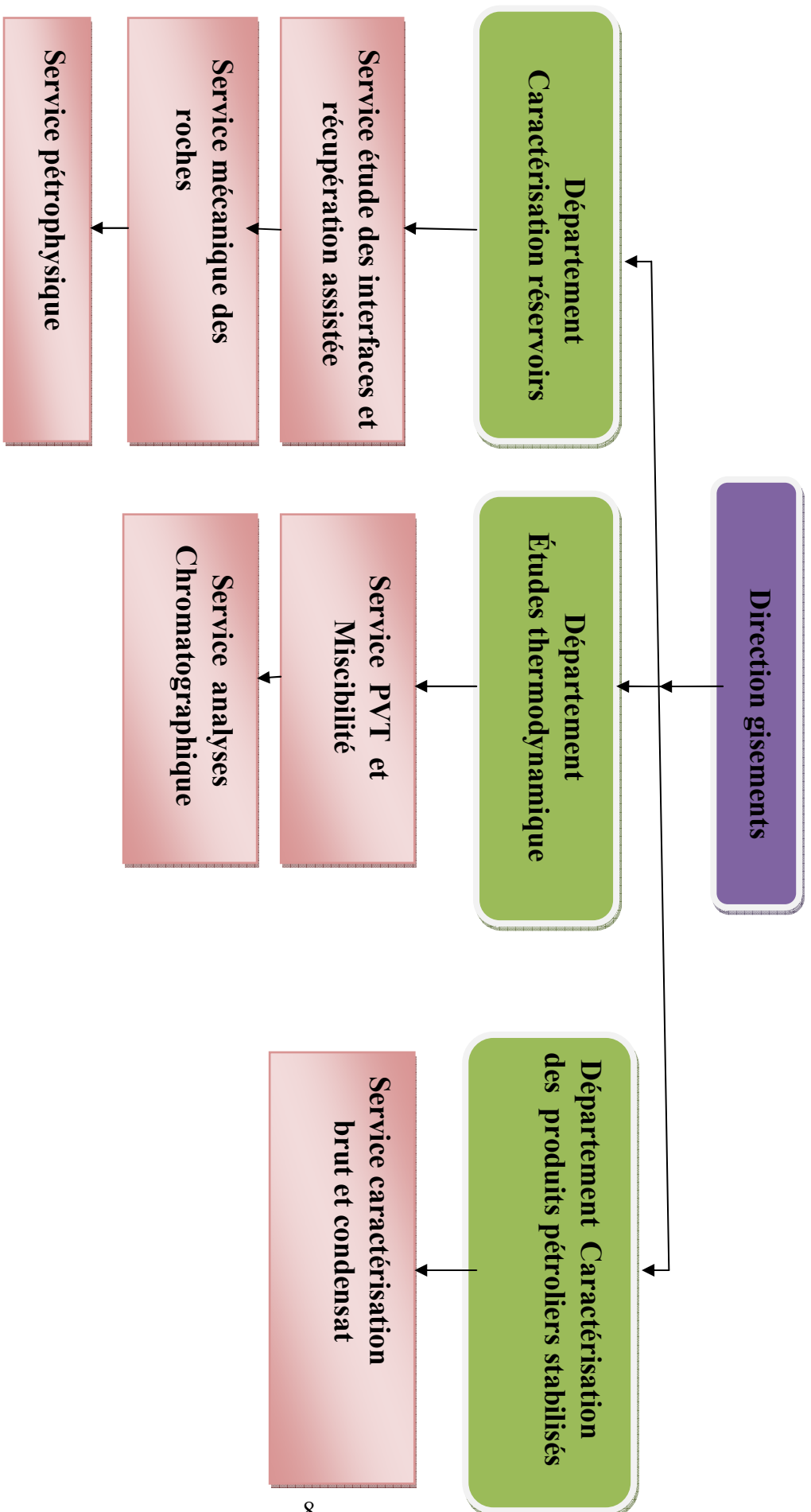


Fig. I.1 : organigramme de la direction gisement

Chapitre II

Généralités sur le pétrole

Chapitre II : Généralités sur le pétrole

II.1. Introduction :

Le pétrole est un fluide constitué principalement d'hydrocarbures, il contient également des composés organiques soufrés, oxygénés et azotés.

On le rencontre dans les bassins sédimentaires où il occupe les vides de roches poreuses appelées réservoirs.

Les gisements de pétrole correspondent à une accumulation dans une zone où le réservoir présente des caractéristiques favorables et constitue un piège : la fuite du pétrole –moins dense que l'eau- est rendue impossible vers le haut par la présence d'une couverture imperméable (argiles, sels) et latéralement par une géométrie favorable (dôme anticlinal, biseau de sables dans les argiles).

II.2. Origine du pétrole :

Le pétrole a pour origine organique, en effet la décomposition des substances des êtres animaux ou végétaux vivants à la surface du globe et particulièrement en milieu aquatique à travers des milliers d'années se transforme en pétrole.

La matière organique ainsi produite se dépose au fond des mers et des lacs et est incorporée aux sédiments. À mesure que ceux-ci sont enfouis ; les constituants organiques se transforment principalement sous l'action de la température en hydrocarbures dont une partie vient progressivement se concentrer dans les pièges des réservoirs poreux.

Si la composition élémentaire globale des pétroles est relativement fixe ; la structure chimique de leurs constituants varie plus largement ce qui entraîne une grande diversité des propriétés physiques (densité, viscosité...) ainsi que des teneurs très variables dans les différents types de produits obtenus par raffinage.

En particulier; la présence de soufre en certains pétroles pose des problèmes de corrosion et de pollution atmosphérique ; tant au stade du raffinage qu'à celui de l'utilisation industrielle ou domestique de leurs dérivés. [1]

II.3. Distillation du pétrole :

A la raffinerie, le pétrole est chauffé à une température élevée; puis fractionné en différentes coupes pétrolières par distillation.

La distillation sépare le pétrole en divers fractions en fonction de leurs différents points d'ébullition. La distillation est un procédé physique de séparation des hydrocarbures en fonction de leur température d'ébullition croissante. Elle fractionne seulement le pétrole en produits distincts, dont les quantités et les rendements respectifs varient sensiblement selon le type de brut traité. [2]

II.3.1. Distillation atmosphérique:

La première opération c'est la distillation atmosphérique du pétrole brut, il est chauffé et envoyé dans une colonne de distillation, la température ne doit pas excéder 350°C afin de prévenir une décomposition des molécules d'hydrocarbures. Les hydrocarbures les plus légers montent en premier dans la colonne, en se refroidissant ces fractions se condensent ayant chacune son propre point d'ébullition. Celles qui se vaporisent en premier à une température inférieure à 350°C montent en haut de la colonne à travers des plateaux à clapets.

A chaque étage de fractionnement, les produits obtenus sont soutirés par des conduites. Les gaz montent le plus haut, alors que l'essence, le kérosène et le gasoil se condensent sur les plateaux inférieurs. Les fractions les plus lourdes restent au fond de la colonne et forment un résidu qu'on ne peut plus distiller même à des températures très élevées. [2]

II.3.2. Distillation sous vide :

Pour pouvoir le traiter de nouveau, ce résidu est chauffé et envoyé dans une seconde colonne, l'unité de distillation sous vide, dans laquelle on a créé un vide partiel. Ce procédé abaisse les points d'ébullition 100°C, ce qui permet de récupérer d'autres fractions. Toutefois, cette opération ne vaporise pas toutes les fractions du brut réduit (résidu atmosphérique). Le résidu de la distillation sous vide servira comme huile de chauffage lourde ou selon la qualité de brut utilisé, à la fabrication du bitume pour la construction des routes. [2]

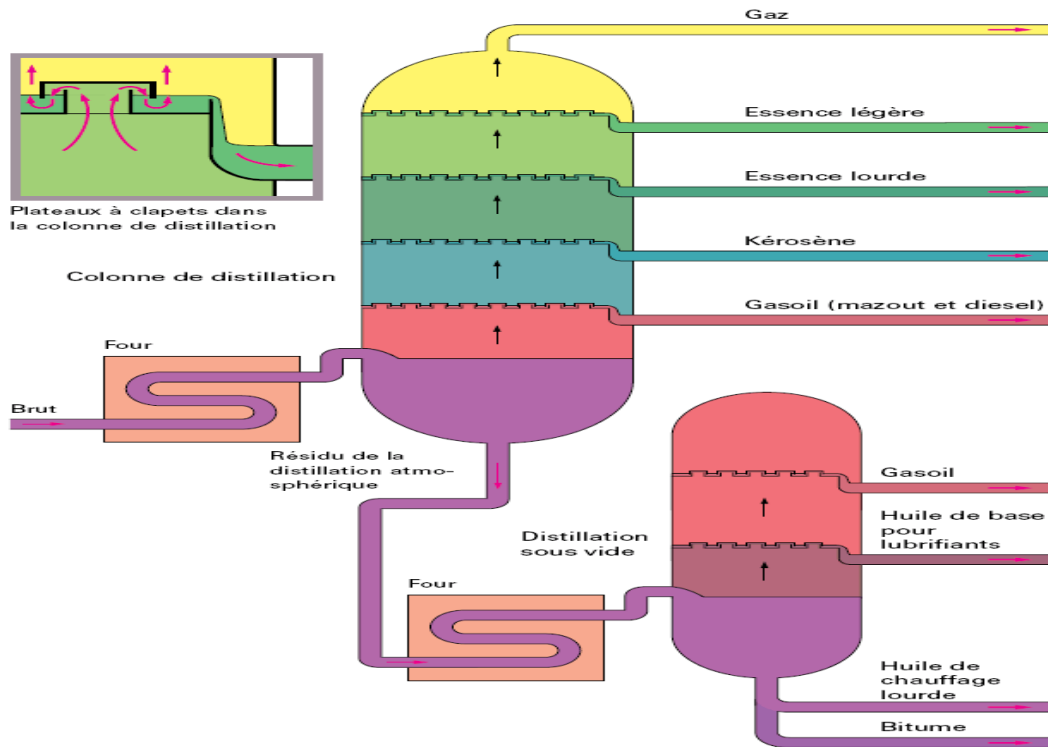


Figure II.1. Distillation atmosphérique et sous vide

II.4. Les dérivés du pétrole :

Tableau II. 1 : les produits dérivés du pétrole [3]

Hydrocarbures	Utilisations
Gaz liquéfiés	-Gaz domestique et gaz industriel -Gaz carburant pour moteurs -Gaz d'éclairage -Résines et fibres pour plastiques et textiles
Matières premières pour l'industrie chimique	-Produits du caoutchouc -Nylon -Plastique
Noir de carbone	-Encres d'imprimerie Industrie du caoutchouc
Distillats légers	
Naphtas légers	-Oléfines -Solvants et diluants -Solvants d'extraction

	-Matières premières pour l'industrie chimique
Naphtas intermédiaires	-Essence aviation et essence pour automobiles -Solvants de nettoyage à sec
Naphtas lourds	-Carburéacteurs militaires -Carburéacteurs et kérosène -Carburants pour tracteurs
Gazole	-Charge de craquage catalytique -Huile de chauffage et carburant diesel -Combustible pour la métallurgie -Huile d'absorption pour l'extraction du benzène et de l'essence
Distillats lourds	
Huiles techniques	-Huiles pour textiles -Huiles médicinales et cosmétiques -Huile blanche pour l'industrie de l'alimentation
Huiles de lubrification	-Huile pour transformateur et huile à broche -Huiles pour moteurs -Huiles pour machines et compresseurs -Huiles pour turbines et huiles hydrauliques -Huiles pour transmission -Huiles d'isolation pour machines et câbles -Huiles pour essieux, engrenages et moteurs à vapeur -Huiles pour traitement des métaux, huiles de coupe et de meulage -Huiles de refroidissement et huiles antirouille -Huiles pour échangeurs de chaleur -Graisses et produits lubrifiants -Huiles pour encres d'imprimerie
Paraffines	-Industrie du caoutchouc -Produits pharmaceutiques et cosmétiques -Industries de l'alimentation et du papier -Bougies et allumettes
Résidus	
Pétrolatum	-Vaseline -Produits cosmétiques -Antirouilles et lubrifiants -Produits d'enrobage de câbles
Fioul résiduel	-Huile pour chaudière et fioul pour procédés
Bitumes	-Bitumes routiers -Matériaux pour toitures -Lubrifiants asphaltiques -Isolation et protection de fondations -Produits en papier imperméable à l'eau
Sous-produits du raffinage	

Coke	-Electrodes et combustible
Sulfonâtes	-Emulsifiants
Acide sulfurique	-Engrais synthétiques
Soufre	-Produits chimiques
Hydrogène	-Reformage des hydrocarbures

Chapitre III

Les huiles lubrifiantes

Chapitre III : Les huiles lubrifiantes

III.1. Définition

Le lubrifiant est un produit qui interposé entre les surfaces frottantes d'un mécanisme, réduit le frottement et par voie de conséquence l'échauffement, tout en combattant l'usure des organes en mouvement.

Historiquement, l'usage des lubrifiants remonte à la plus haute Antiquité. Les produits utilisés furent, jusqu'au XIXe siècle, essentiellement des huiles et corps gras d'origine animale ou végétale. Puis, les huiles d'origine pétrolière s'imposèrent vers la fin du XIXe siècle, mais ce n'est qu'à partir de 1930, et surtout entre 1940 et 1950, que les grandes découvertes en matière d'additifs et de lubrifiants de synthèse ont été faites. Ensuite, les progrès furent continus dans tous les domaines avec, cependant, dans les années soixante, un véritable foisonnement de recherches, sous l'impulsion de la course à l'espace, dans le domaine des lubrifiants non conventionnels.

III.2. Fonctions des lubrifiants

Les fonctions principales d'un lubrifiant sont :

III.2.1. REFROIDIR : (l'évacuation des calories)

La circulation de l'huile évacue les calories, et élimine les risques de fusion et de détérioration. Un moteur, surtout aujourd'hui avec les technologies de pointes ou les difficultés de circulation, peut chauffer anormalement jusqu'à 400°C.

Equilibre thermique, refroidissement : L'huile refroidit les parties essentielles du moteur que le liquide de refroidissement du radiateur ne peut pas atteindre, comme l'arbre à cames, les bielles et les pistons. L'huile assure ainsi jusqu'à 35 % de la fonction de refroidissement.

III.2.2. ETANCHER : (la protection contre l'entrée d'impuretés)

Contribuer à parfaire l'étanchéité du moteur: (L'huile protège constamment les pièces d'agressions comme les poussières aspirées par le moteur, l'eau et l'acide résultant de la combustion...).

III.2.3. NETTOYER : (l'évacuation des impuretés)

L'huile maintient en suspension et véhicule les imbrûlés issus de la combustion (l'absence de l'huile favorise la manque d'étanchéité, C'est à ce niveau que la présence de l'huile est importante).

III.2.4. LUBRIFIER :(la réduction des frottements et de l'usure)

- Diminuer les frottements et les résistances passives dans les machines
- Améliorer leur rendement et économiser l'énergie. (La viscosité d'une huile moteur devrait rester constante malgré des écarts de température, l'huile ne doit pas figer au froid, elle ne doit pas se liquéfier à la chaleur).
- Elles permettent aussi de :
- Protéger les organes lubrifiés contre les diverses formes de **corrosion** et d'usure, donc contribuer à leur longévité ;
- Transmettre de l'énergie ou de la chaleur ;
- Assurer l'isolation électrique ;
- Améliorer l'état de surface des pièces usinées ;
- Augmenter la durée de vie. [4]

III.3. les différents types des lubrifiants

On peut distinguer les lubrifiants selon leur origine, animale, végétale, minérale ou synthétiques.

III.3.1. Lubrifiants d'origine animale

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

- **Liquides** : oléines, huiles de lard, de pied de bœuf ou de mouton, etc., très onctueuses, huiles de poisson, de baleine, de phoque, glycérine autrefois utilisée pour son point de congélation très bas.
- **Pâteux** : oléo stéarines, suifs (*qui deviennent très acides par oxydation*), suintines et brais résultant du traitement de la laine, lanoline très utilisée dans les produits antirouille car elle absorbe l'eau.

- **Solides** : stéarine, dont l'usage est restreint à la formulation de graisses très dures.

III.3.2. Lubrifiants d'origine végétale

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

- **Liquides** : huile semi siccative (*s'épaississant par oxydation*) de coton, de colza, huiles non siccatives d'arachide, d'olive, et surtout de ricins est intéressante par sa forte viscosité et la possibilité de l'utiliser dans une large gamme de températures.
- **Pâteux** : huiles de palme, de coco et de coprah, liquides aux températures tropicales mais pâteuses dans les régions froides.
- **Solides** : résines et colophanes tirées du pin, pouvant résister à l'eau.

III.3.3. Lubrifiants d'origine minérale

- **Liquides** : huiles de houille (*Charbon utilisé comme combustible*), de schiste (*Roche sédimentaire ou métamorphique qui se débite en feuillets*), utilisables comme produits de remplacement, et surtout huiles de pétrole.
- **Pâteux** : vaseline.
- **Solides** : soufre utilisé autrefois pour sauver les paliers endommagés, talc, mica, bisulfures de molybdène et de tungstène, graphite, sulfure de plomb, oxyde de zinc.

III.3.4. Lubrifiants d'origine synthétique

- **Liquides** : silicones, polyglycols, esters phosphoriques, esters aliphatiques, polyoléfines, métaux liquides.
- **Pâteux** : verres, borates et oxyde de bore B₂O₃ (*pâteux à chaud*), graisses silicones.
- **Solides** : polyéthylènes, polytétrafluoroéthylène (*PTFE*), savons (*stéarates de zinc, de calcium, d'aluminium, etc.*), oxyde de plomb (*PbO*), disulfure de tungstène, phtalocyanine, fluorure de graphite, fluorures de calcium, de baryum et de lithium, nitrure de bore. [4]

III.4. Composition d'une huile lubrifiante (HL)

Une huile ayant les propriétés demandées pour une utilisation donnée est constituée : d'une huile de base (*minérale, synthétique ...*) et d'un certain nombre d'additifs, ajoutant chacun une propriété particulière.



Figure III.1. Composition d'une huile lubrifiante

III.4.1. Les huiles de base

III.4.1.1. Les huiles minérales

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

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

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

III.4.1.2. Les huiles de semi synthèse

Les huiles de semi synthèse s'obtiennent à partir d'un mélange d'huiles minérales et d'huiles de synthèse généralement 70 à 80% d'huile minérale et 20 à 30% d'huile de synthèse).

4-1-3-Les huiles de synthèse ou synthétiques

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

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

Ces huiles offrent des performances supérieures :

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

III.4.2. Les Additifs

Les exigences élevées imposées aux lubrifiants ne peuvent être satisfaites que par des huiles ou des graisses avec des additifs spéciaux. Des additifs sont ajoutés aux lubrifiants afin de modifier ou d'améliorer leurs propriétés naturelles et de leur conférer des propriétés qu'ils n'ont pas de façon naturelle. La nature et la quantité des additifs concernés peuvent être adaptées exactement à l'application respective. La fraction d'additifs peut être inférieure à 1% et aller jusqu'à 30%.

Les principaux additifs sont :

III.4.2.1. Détergents

Ils libèrent très largement les surfaces chaudes des dépôts (par exemple sur les pistons).

Les particules de poussière solides ont une enveloppe microscopique, sont maintenues en suspension dans l'huile et ne peuvent guère se déposer de cette façon. Les dépôts souples sont nettoyés à nouveau par lavage. Grâce à leur alcalinité, ils peuvent neutraliser également des produits acides, qui se forment du fait de la combustion du carburant.

III.4.2.2. Dispersants

Ils maintiennent en suspension dans l'huile des impuretés liquides et insolubles dans l'huile, qui se forment principalement pendant la phase d'échauffement dans le moteur.

III.4.2.3. Additifs à haute pression et additifs pour la protection contre l'usure

Ces additifs sont appelés en anglais additifs Extreme Pressure (EP) et additifs Anti Wear (AW). Ils réduisent le frottement et l'usure et protègent contre un contact métallique (par exemple cames/arbre à cames, segments de pistons/cylindres, flancs de dents). Par une réaction chimique avec respectivement une adhésion sur la surface de métal, on constitue des surfaces de glissement qui empêchent le contact métal-métal.

III.4.2.4. Additifs anticorrosion / antirouille

Protègent les parties métalliques nues, qui sont en contact avec des lubrifiants, de la corrosion et de la rouille. Des additifs polaires constituent des films protecteurs de type peau sur les surfaces de métal, et en supplément ils neutralisent les acides qui ont un effet corrosif.

III.4.2.5. Optimisateur d'indice de viscosité

Ils optimisent la tenue viscosité-température d'une huile par réduction de la baisse de viscosité en cas d'augmentation de la température. A de basses températures, ils n'ont guère d'effet et à de hautes températures, la baisse de viscosité est plus faible en raison de leur effet épaississant. Les huiles, qui contiennent un optimisateur VI, disposent d'un indice de viscosité supérieur aux liquides de base utilisés.

III.4.2.6. Optimisateurs du point d'écoulement

Ils permettent l'écoulement de l'huile même encore à de basses températures par retardement de la formation de cristaux de paraffine. Les petits cristaux de paraffine qui se forment lors du refroidissement de l'huile sont enveloppés par l'additif et ne peuvent pas fusionner, ce qui fait que l'huile reste fluide plus longtemps.

III.4.2.7. Additifs pour la protection du vieillissement

Ces additifs sont appelés inhibiteurs d'oxydation dans le langage technique. Ils ralentissent le vieillissement de l'huile déclenché par l'arrivée d'oxygène provenant de

l'air, de hautes températures et de métaux à effet catalytique. Ils détruisent les produits de vieillissement de l'huile (par exemple boue) et mettent un terme aux réactions nuisibles.

III.4.2.8. Produits antimousse

Ces additifs empêchent la formation de mousse superficielle stable dans l'huile. Ils modifient la tension de surface, ce qui entraîne une destruction rapide de la mousse. [5]

III.4.2.9. Anti oxydants

Supprimer, ou tout au moins ralentir les phénomènes d'oxydation du lubrifiant. Contribuer à l'espacement des vidanges par une meilleure tenue aux hautes températures.

III.4.2.10. Anti-congelant

Permettre au lubrifiant de garder une bonne fluidité à basse température (*de -15°C à -45°C*).

III.4.2.11. Anti-émulsion

Evite le mélange de fluides étrangers (*de l'eau par exemple*) avec l'huile et favorise la décantation (*séparation*) de l'ensemble. [4]

III.5. Propriétés des huiles

III.5.1. Propriétés physiques

III.5.1.1. Viscosité

La viscosité est la propriété la plus connue des huiles lubrifiantes. Elle est la référence pour le frottement interne d'une huile lors de l'écoulement. La viscosité est une grandeur dépendante de la température. Lorsque la température est faible et que l'huile est donc froide, le frottement intérieur est important et la viscosité élevée. Plus l'huile est chaude, plus le frottement interne est réduit et la viscosité faible.

- ***Viscosité dynamique η***

La viscosité dynamique caractérise les couches de lubrifiant à frotter ou à glisser les unes sur les autres, c'est aussi le produit de la viscosité cinématique ν par la masse volumique du fluide ρ :

$$\mu = \rho \cdot \nu$$

Avec μ en Pa.s ; ν en m².s⁻¹ ; ρ en kg.m⁻³

Unités légales (μ) : Pa.s (pascal.seconde) ou N.s/m² ; poise (P) et centipoise (cP)

1 poise = 1 P = 0,1 Pa.s

1000 centipoises = 103 cP = 1 Pa.s

- **Viscosité cinématique ν**

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 un tube calibré.

Unités: m² / s: Stoke (St) ou centistoke (cSt); 10 000 St = 1 m² / s et 1 cSt = 1mm² / s.

III.5.1.2. Index (ou indice) de viscosité

L'« indice de viscosité » donne une idée de la variation de la viscosité de l'huile avec la température. La notion d'indice de viscosité (VI = viscosity index) a été conçue en 1929 par Dean et Davis. Ceux-ci retinrent deux séries extrêmes d'huiles de référence, les unes donnant les plus grandes variations de la viscosité avec la température (indice 0), les autres les plus faibles (indice 100). L'indice de viscosité d'une huile donnée est obtenu par comparaison avec ces deux séries d'huiles de référence, notées L et H pour les indices 0 et 100 respectivement. (Figure III.3).

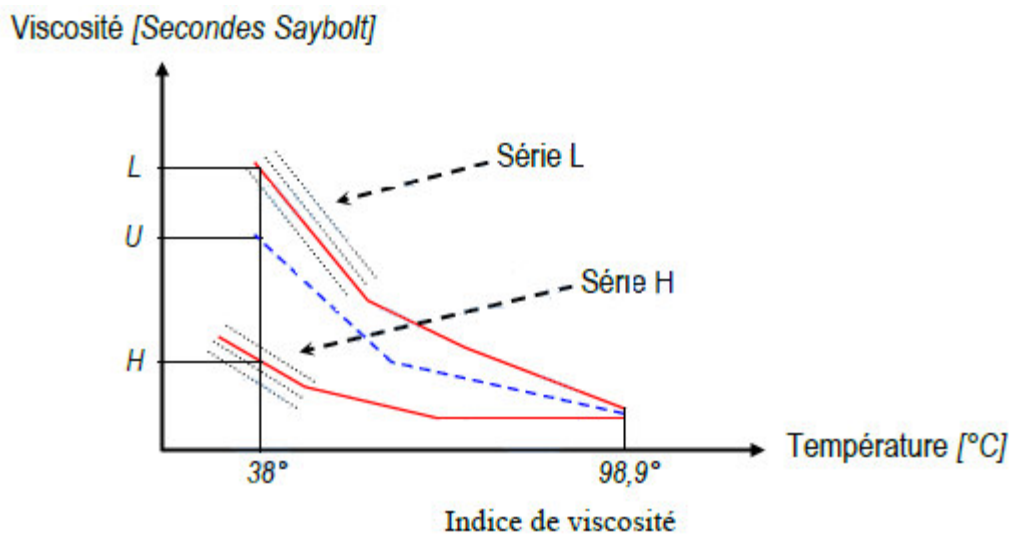


Figure III.2. Indice de viscosité

Soit une huile quelconque dont la viscosité varie comme l'indique la courbe tracée en pointillé sur la *figure III.3* ; l'indice de viscosité se calcule par la formule suivante :

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

Ce procédé permet de situer une huile quelconque par rapport aux deux séries d'huile de référence. Plus l'indice *VI* est grand, plus la courbe est voisine de la série *H* (*caractère paraffinique accentué*), par conséquent moins grande est la variation de la viscosité avec la température.

III.5.1.3. Densité

Elle se mesure à 15°C par rapport à l'eau à 4°C , à l'aide d'un densimètre plongeant dans un tube à essais. Les valeurs courantes pour les huiles de pétrole varient de 0,85 à 0,95 et dépendent de l'origine des produits. La densité diminue avec la température selon des lois complexes, mais en première approximation on peut la diminuer de 0,00062 par kelvin. Certains lubrifiants synthétiques ont des densités bien plus élevées, jusqu'à 1,5. La comparaison de la densité d'une huile usagée avec celle de l'huile neuve permet de détecter d'éventuelles pollutions.

III.5.1.4. Couleur

Pour les huiles de pétrole, elle varie généralement du blanc pur au rouge foncé en passant par le jaune citron et le jaune orange, on l'évalue par comparaison avec des verres étalons numérotés en colorations *NPA* (*National Petroleum Association*). La couleur foncée d'un lubrifiant usagé peut être un assez bon moyen d'apprécier son altération, de même qu'un aspect laiteux peut indiquer la présence d'eau. La présence d'additifs oblige à la prudence et cette propriété a beaucoup perdu de son intérêt aujourd'hui.

III.5.1.5. Point d'écoulement

Suffisamment refroidies, toutes les huiles minérales s'épaississent jusqu'à prendre l'apparence de solides plus ou moins rigides. Il ne s'agit pas d'une congélation, laquelle n'a de sens que pour un corps pur passant de l'état liquide à l'état solide à température constante : on le sait, les huiles de graissage sont des mélanges.

En fait, les hydrocarbures paraffiniques les plus lourds flocculent les premiers en donnant à l'huile un aspect trouble. La multiplication des cristaux se poursuivant, ces derniers finissent par s'agglomérer en un réseau enfermant les fractions encore liquides.

Une norme précise la procédure complexe qui permet de déterminer la température à laquelle une huile cesse de couler et de se laisser pomper dans un circuit de graissage. Il est difficile d'obtenir une grande précision et la norme admet un écart de reproductibilité de 6°C. En pratique, la notion de point d'écoulement est très insuffisante pour évaluer les performances d'une huile à froid, il vaut mieux définir et mesurer la viscosité au-delà de laquelle le pompage est impossible. Le viscosimètre Brookfield mesure à cet effet le couple résistant d'une palette tournant dans l'huile.

III.5.2. Propriétés chimiques

III.5.2.1. Point d'éclair (*appareil Cleveland*)

Température à laquelle il faut chauffer un liquide combustible pour qu'il émane suffisamment de gaz pour former, avec l'air, un mélange momentanément inflammable pour qu'il prenne feu quand on en approche une petite flamme dans des conditions données (*méthode D 92 de l'ASTM*)

III.5.2.2. Teneur en soufre

Il n'y a normalement plus de soufre libre dans les lubrifiants après le raffinage, mais on en trouve souvent à l'état combiné dans des composés tels les mercaptans. On ajoute parfois du « *soufre actif* » sous forme d'additifs améliorant les propriétés anti-soudure ou anti-grippage. Si l'huile se décompose, et selon que l'on se trouve en milieu réducteur ou oxydant, on peut assister à un dégagement toujours malvenu de sulfure d'hydrogène ou de dioxyde de soufre.

III.5.2.3. Teneur en eau

L'eau est l'un des principaux ennemis des lubrifiants. Dans les environnements humides, lorsqu'un lubrifiant reçoit de l'eau directement ou par condensation de vapeur, ses performances sont en général fortement diminuées. La sensibilité à l'eau est très variable selon le produit utilisé, relativement faible pour les glycols, beaucoup

plus élevée pour les oléfines. Une teneur en eau trop élevée est un sérieux signal d'alerte avant une prochaine défaillance du mécanisme concerné. [4]

Chapitre IV

Les machines tournantes

Chapitre IV : Les machines tournantes

Dans ce travail on a réalisé les essais à partir des huiles qui sont extraites à partir des machines industrielles qui sont : compresseur à air et un turbocompresseur et un moteur Diesel.

Ces trois machines sont décrites brièvement ci-dessous :

IV.1. les compresseurs

IV.1.2. définition

Les compresseurs sont des appareils qui transforment l'énergie mécanique fournie par une machine motrice en énergie de pression (en réalisant un accroissement de pression d'un fluide à l'état gazeux).

IV.1.3. But de la compression

La compression en générale, peut être imposée par la nécessité technique de déplacer une certaine quantité de gaz d'un système à une certaine pression, vers un autre système à une autre pression plus élevée .cette opération a pour but de :

- Faire circuler un gaz dans un circuit fermé.
- Produire des conditions favorables (de pression) pour des réactions chimiques.
- Envoyer un gaz dans un pipe_line de la zone de production vers l'utilisateur.
- Obtenir de l'air comprimé pour la combustion.
- Récupérer du gaz.

IV.1.4. Classification des compresseurs

Les compresseurs peuvent être classés selon plusieurs caractéristiques selon :

- ❖ Le principe de fonctionnement (volumétrique, turbocompresseur).
- ❖ Mouvement des pièces mobiles (mouvement linéaire, rotatif).
- ❖ Les compresseurs d'air.
- ❖ Les compresseurs de gaz.

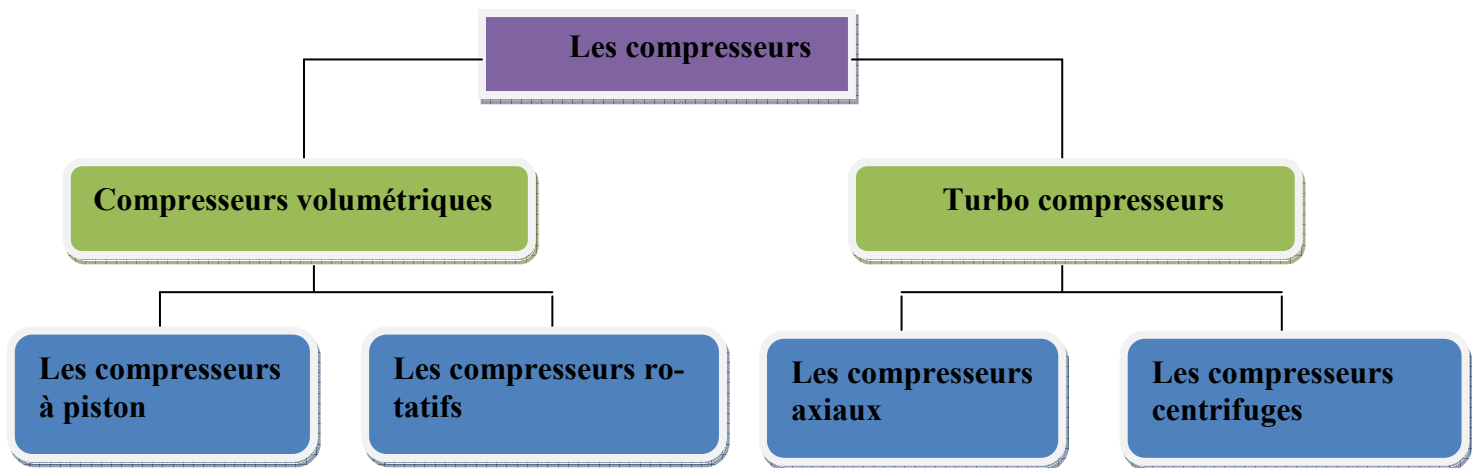


Figure IV .1. Classification des compresseurs

Dans les turbocompresseurs, l'élévation de la pression résulte précisément d'une action sur la vitesse de fluide. Ici encore, l'énergie nécessaire au fonctionnement du compresseur est dépensée sous forme de travail, celui-ci est transformé sous forme d'énergie cinétique au fluide à comprimer, et cette dernière à son tour est transformée en pression. La mise en vitesse est obtenue en soumettant le fluide à l'action des roues à aubes ayant une grande vitesse rotative.

Ces machines assurent la compression grâce à la force centrifuge, due au mouvement de rotation des roues munies d'aubes ou d'ailettes.

On distingue deux types des turbocompresseurs :

- **Compresseurs axiaux :** Les compresseurs axiaux sont des machines réceptrices à écoulement axial du compressible, ils sont utilisés dans les turbines à grande puissance et dans les turboréacteurs d'aviation, ils sont caractérisés par le nombre d'étage important et le taux de compression n'est pas élevé.
- **Compresseurs centrifuges :** Les compresseurs centrifuges augmentent l'énergie du gaz comprimé grâce à la force centrifuge qui est provoquée par le mouvement de rotation des roues à aube.

IV.1.5. principe de fonctionnement

Le **turbocompresseur** est en effet un compresseur d'air entraîné par les gaz d'échappement. Les gaz d'échappement sortant du moteur par le collecteur d'échappement sont dirigés vers la chambre de turbine dans laquelle se trouve le rotor. À travers d'un arbre commun, il entraîne le rotor du compresseur, situé de

l'autre côté du dispositif (souvent appelé «froid », qui comprime l'air alimentant le moteur. Puisque l'air comprimé contient plus d'oxygène dans une unité de volume, il devient possible de créer de meilleures conditions du processus de combustion. Une plus grande quantité d'air combiné à une quantité supplémentaire de carburant peut être utilisé pour augmenter la puissance de moteur ou, comme dans le cas des moteurs diesel, permet une meilleure combustion, en réduisant considérablement la quantité de polluants émis et en augmentant l'efficacité du moteur.

En augmentant la compression de l'air, et donc la quantité de gaz dans la même unité de volume, on augmente en même temps sa température. Plus la température est élevée, plus la densité est faible, ce qui signifie que les cylindres reçoivent moins d'oxygène que si la température de l'air était plus basse. C'est pourquoi on utilise un refroidisseur d'air de suralimentation (intercooler). Généralement, il s'agit d'un échangeur de chaleur de type air-air ou (moins souvent) air-eau. [6]

IV.1.6. Conditions de fonctionnement

Les conditions de fonctionnement d'un turbo sont parmi les plus sévères que l'on puisse trouver dans toute l'industrie mécanique. Jugez plutôt :

- **Température:** les gaz d'échappement d'un moteur diesel peuvent atteindre 830°C (et même 860°C sur les futurs moteurs en développement). Pour l'essence, c'est pire : 1000°C voire 1050°C.

La roue turbine et son carter doivent donc supporter non seulement une telle température, mais surtout les montées/descentes de température. Il y a donc des phénomènes de fatigue thermomécanique sur la roue et le carter turbine. On est, dans la majorité des cas, capable de les expliquer et de les résoudre par la simulation et par la conception.

La dilatation de l'ensemble ne doit pas créer d'efforts énormes sur les pièces, sous peine de les casser. Egalement, il peut se produire un phénomène de retour de chaleur quand on coupe le moteur après avoir utilisé le turbo : le côté turbine est chaud, le moteur s'arrête ; les gaz d'échappement stagnent dans le carter, et la température, plutôt que d'être évacuée, est transmise par conduction jusqu'au carter central, pouvant brûler l'huile située sur les paliers, ce qui peut être catastrophique au niveau de leur usure. Ceci est également en passe d'être modélisable.

- **Vitesse et vibrations :** le groupe tournant atteint généralement des vitesses de l'ordre de 150 000 à 200 000 tours/min. Sur les petits turbos, parfois 250 000 tours/min.

Ce groupe tournant doit donc être parfaitement équilibré. S'il y a un balourd (une masse résiduelle située à une certaine distance de l'axe), la force centrifuge peut induire des problèmes de bruit (pas très gênant pour la compétition) ou de casse. C'est un problème majeur. Il existe plusieurs solutions pour l'équilibrage, qui chacune ont leurs propres avantages, problèmes et inconvénients.

L'assemblage du turbo, du collecteur d'échappement (parfois intégré en une seule pièce au carter de turbine, par exemple sur les moteurs Volkswagen) et du système d'échappement (catalyseur, etc.) doivent être montés suffisamment rigidement pour supporter les vibrations du moteur, et de manière suffisamment souple pour ne pas créer d'efforts lorsque le turbo est chaud.

Il existe également des problèmes vibratoires sur l'actuateur et son support, qui, lui aussi, à son échelle, doit être suffisamment rigide.

- **Huile :** L'huile provient du même système de lubrification que celui du moteur. Parfois, l'huile est donc loin d'être saine et le turbo doit supporter cela.

Il y a plusieurs raisons pour lesquelles un turbo peut casser :

Cause la plus souvent observée : usure/casse des paliers, due à plusieurs raisons :

- * Une huile contaminée ou sale
- * Cokéfaction de l'huile en cas de retour de chaleur
- * Un problème de pression d'huile
- * Un groupe tournant mal équilibré
- * Un groupe tournant qui se déséquilibre avec le temps, par exemple si une ailette est endommagée

Contraintes thermomécaniques (fissuration de la turbine ou de son carter)

Un FOD (foreign object damage), endommagement d'une roue/ailette causé par un objet étranger (morceau de métal, de joint) passant dans la turbine ou le compresseur et frappant une ailette tournant à 200000 RPM... Imaginez le résultat.

- Casse par vibration des ailettes ou des roues,

- Casse par vibration du carter turbine,
- Casse des joints, des vis, des colliers. [7]

IV.2. Le moteur Diesel

IV.2.1.Introduction

Le moteur Diesel était considéré, jusqu'à une époque récente, comme un moteur bruyant, polluant et lourd, réservé en principe aux camions, camionnettes et taxis. Mais, avec l'avènement des Diesel légers, rapides et puissants et le raffinement de leurs systèmes d'injection, la situation a changé dans les années 1980. Le Diesel a acquis ses lettres de noblesse. On le présente même parfois comme le moteur du futur. Les composants d'un moteur Diesel :

- Injecteur
- Arbre à cames
- Soupape
- Piston
- Bielle
- Vilebrequin

IV.2.2. Principe de fonctionnement :

Un moteur Diesel fonctionne différemment d'un moteur à essence. Même si leurs principaux organes sont semblables et s'ils respectent le même cycle à quatre temps, un moteur Diesel et un moteur à explosion présentent des différences sensibles, en particulier dans la façon dont le mélange carburé y est enflammé et dans la manière dont la puissance délivrée y est régulée. Dans un moteur à essence, le mélange carburé est enflammé par une étincelle électrique. Dans un moteur Diesel, l'allumage est obtenu par une auto-inflammation du carburant à la suite de l'échauffement de l'air sous l'effet de la compression.

Un rapport volumétrique normal est de l'ordre de 20 à 1 pour un moteur Diesel. Un tel taux de compression porte la température de l'air dans le cylindre à plus de 450°C. Cette température étant celle de l'auto-inflammation du gazole, celui-ci s'enflamme spontanément au contact de l'air, sans qu'il y ait besoin d'une étincelle, et, par conséquent, sans système d'allumage. Un moteur Diesel, aspire toujours la même

masse d'air (à régime égal) par un conduit de section constante dans lequel seule s'interpose la soupape d'admission (il n'y a ni carburateur, ni papillon).

A la fin de la phase d'admission, la soupape d'admission se ferme, puis le piston, soumis à l'inertie de l'ensemble vilebrequin-volant moteur, remonte vers le haut du cylindre en comprimant l'air dans environ 1/20 de son volume initial. C'est à la fin de cette phase de compression qu'une quantité précisément dosée de carburant (gazole) est injectée dans la chambre de combustion. En raison de la température élevée de l'air comprimé, ce carburant s'enflamme immédiatement et les gaz chauds, en se dilatant, repoussent le piston avec force. Quand le piston remonte dans le cylindre, lors de la phase d'échappement, la soupape d'échappement s'ouvre pour laisser les gaz brûlés et dilatés s'évacuer dans le système d'échappement. A la fin de la phase d'échappement, le cylindre est prêt à admettre une nouvelle charge d'air frais afin que le cycle complet recommence. [8]

IV.2.3. L'architecture des moteurs Diesel :

Les organes principaux d'un moteur Diesel sont semblables à ceux des moteurs à essence et remplissent les mêmes fonctions.

Cependant, le Diesel doit comporter des pièces plus résistantes que leurs homologues équipant les moteurs à essence car, le taux de compression y étant nettement supérieur, les contraintes mécaniques y sont nettement plus importantes.

Les parois d'un Diesel sont en général beaucoup plus épaisses et portent davantage de nervures et de renforts pour mieux résister aux contraintes mécaniques et thermiques. Les pistons, les bielles, le vilebrequin et doivent être résistants. La conception de la culasse doit être très différente en raison de la présence des injecteurs de gazole et de la forme spéciale des chambres de précombustion et de combustion. [8]

Etude experimentale

Chapitre V

Analyse, échantillonnage et méthodes de surveillance des huiles lubrifiantes

Chapitre V: Analyse, échantillonnage et méthodes de surveillance des huiles lubrifiantes

V.1. Les analyses des huiles industrielles

V.1.1. 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'identifier une usure des éléments mécaniques.

Deux facteurs prépondérants interviennent pour modifier les caractéristiques d'un lubrifiant:

- La dégradation,
- La contamination.

a) La dégradation d'un lubrifiant

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

b) La contamination du lubrifiant

Provient de particules d'usure des pièces internes, mais aussi de l'eau et des particules solides en provenance de l'extérieur du système lubrifié. Ces particules solides ou ces fluides étrangers sont souvent à l'origine d'usures anormales.

Avant de décrire les différentes techniques de détermination du taux de dégradation et du degré de contamination des lubrifiants, il faut présenter tout d'abord les règles à suivre dans la préparation d'un échantillon en vue d'une analyse. [9]

V.1.2. L'analyse d'huile : A quoi ça sert ?

L'analyse des lubrifiants en service contribue à optimiser les coûts de maintenance (directs et indirects) par une meilleure connaissance de l'état des

machines et de l'évolution du lubrifiant. Cette technique s'applique à l'ensemble du parc des machines lubrifiées. Cette méthode est complémentaire des suivis par analyses vibratoire et thermographique.

L'analyse d'huile, pratiquée dans le cadre d'une maintenance préventive conditionnelle, va permettre, par exemple, de détecter et de suivre les dysfonctionnements potentiels suivants : [4]

Tableau V.1. Problèmes détectés sur moteur technique

Sur moteur technique
problèmes d'étanchéité de la filtration d'air.
Infiltration de liquide de refroidissement.
Déréglage du système d'injection.
Etat mécanique du moteur (usure).
Conduite ou contrainte d'exploitation plus ou moins sévère.

Tableau V.2. Problèmes détectés sur multiplicateurs, réducteurs et engrenages

Sur multiplicateurs, réducteurs et engrenages
Transmission défectueuse (engrenages endommagés).
Mauvais état d'un roulement ou d'un palier.
Performance des additives extrêmes pressions.
Appréciation des caractéristiques résiduelles du lubrifiant.
Pollution externe (eau, poussières..).

Tableau V.3. Problèmes détectés sur compresseurs (pistons, à vis et centrifuges)

Sur compresseurs (pistons, à vis et centrifuges)
Etat mécanique.
Pollution externe (eau, silice...).

Evolution du lubrifiant en service (dépôts, oxydation...).

Tableau V.4. Problèmes détectés sur systèmes hydrauliques

Sur systèmes hydrauliques
Pollution du circuit (matières solides, eau...).
Usure des composants (pompes, moteurs, distributeurs...).
Efficacité de la filtration (niveau de pollution...).
Caractéristiques résiduelles du lubrifiant.

V.1.3. Préparation d'un échantillon :

Pour préparer un échantillon d'huile en vue d'une analyse, il faut commencer tout d'abord par extraire un échantillon représentatif du réservoir contenant l'huile à analyser. Ensuite il faut filtrer cet échantillon en utilisant une des techniques de séparation entre phases.

Cependant, la prise de l'échantillon doit être faite de façon aussi soignée que possible. Tout échantillon incorrectement prélevé ou mal identifié peut conduire à des conclusions erronées.

V.1.4. Echantillonnage

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

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

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

drainés avant chaque prise d'échantillon. Pour un système non pressurisé, une prise d'échantillon représentatif est plus difficile. [10]

V.2. Contrôle et surveillance des huiles lubrifiantes

V.2.1. Introduction

Dans cette partie, nous présentons les modes opératoires des essais qui ont été effectués sur les huiles du Département CPPS (la Division technologique et développement de BOUMERDES) afin de déterminer leurs caractéristiques physico-chimiques.

V.2.2. Les essais sur les huiles lubrifiantes :

Les différents essais effectués sur les huiles lubrifiantes, sont décrit dans ce qui suit, pour une meilleure évaluation, de ces dernières. Les modes opératoires pour la mesure de chaque propriété sont expliqués dans ce chapitre et les photos des appareils sont présentées en annexes.

V.2.2.1. Masse volumique :

Il existe plusieurs appareillages pour pouvoir déterminer cette propriété expérimentalement, tels que : l'aéromètre, le pycnomètre, mais au cours de notre étude, nous avons utilisé un densimètre électronique à 20°C, où la détermination fut régit la norme **ASTM D 4052/ ISO 12185**.

a. Principe :

Mesure de la fréquence d'un tube en U oscillant contenant le produit à analyser.

b. Mode opératoire :

Une fois que le densimètre est prêt : température stable à 20°C et l'écran d'affichage est à 0,0012 g/cm³ on procède selon la norme ASTM D4052 comme suit :

- On allume l'éclairage de la cellule.
- On injecte l'échantillon à l'aide d'une seringue dans la cellule de mesure (dans le trou d'injection) jusqu'à ce qu'elle soit complètement remplie en évitant les bulles d'air dans la cellule car la présence de celle-ci fausse la mesure.

- On éteint l'éclairage, car la chaleur irradiée par l'éclairage affecte la température de la cellule.
- Dès que l'équilibre est atteint, on note la valeur de la masse volumique à 20°C en g/cm³ sur un écran digital.
- Entre chaque essai, il faut nettoyer la cellule en utilisant le solvant de rinçage (essence SRA) pour éliminer toute trace de l'ancien échantillon, puis sécher avec l'acétone, les traces d'eau ou d'humidité sont aspirées par une pompe en vers le silicagel placé à l'entrée de la cellule jusqu'à la stabilisation de l'écran d'affichage à 0.0012 g/cm³

V.2.2.2. La viscosité cinématique :

La détermination expérimentale de cette propriété se fait à l'aide d'un viscosimètre de type Cannon FENSKE (à 2 branches), basé sur la norme AFNOR NF T 60-100 équivalent à la norme **ASTM D 445 / ISO 3104**

a. Principe :

Dans un bain viscosimétrique maintenu à une température de consigne, on remplit un capillaire avec l'échantillon. On mesure le temps d'écoulement du fluide à travers les réservoirs du capillaire. Chaque capillaire possédant ses propres constants. La viscosité cinématique est exprimée en cst.

On distingue plusieurs calibres de viscosimètres. Plus la viscosité est importante, plus le calibre est grand.

Les bains de viscosité sont soit en silicone soit en eau, selon la fraction a examinés :

- On utilise le bain en eau en cas où la température ne dépasse pas les 70°C.
- On utilise le bain en silicone en cas où la température dépasse 70°C.

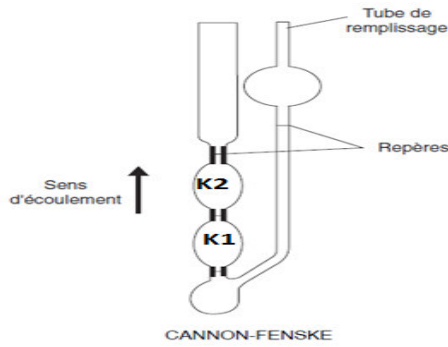


Figure V.1. viscosimètre Cannon FENSKE

b. Mode opératoire :

- On met le bain thermostat en marche et on laisse stabiliser jusqu'à la température de mesure. Une fois la température du bain atteint la valeur de consigne on remplit le viscosimètre avec l'huile jusqu'au trait de remplissage et on ferme l'autre extrémité du viscosimètre à l'aide d'un bouchon.
- On introduit le viscosimètre dans le bain, et laisser l'échantillon se fixe et prendre la température du bain.
- Une fois l'équilibre atteint, on enlève le bouchon et on laisse l'huile monter jusqu'au premier trait de repaire.
- Quand l'huile atteint ce trait, on enclenche le chronomètre pour enregistrer le temps d'écoulement du liquide à travers le premier bulbe.
- On arrête le premier chronomètre et on démarre le deuxième simultanément, une fois que l'huile arrive au second bulbe et on mesure le temps mis pour le traverser.
- Le temps d'écoulement des deux réservoirs ne doit pas être inférieur à 200 secondes, il ne doit pas être aussi supérieur à 700 secondes.

On calcul la viscosité par la relation suivante :

$$V = (k_1 \times T_1 + k_2 \times T_2) / 2$$

K1, K2 : constante de bulbes 1 et 2 du viscosimètre.

T1 : le temps d'écoulement du liquide dans le premier bulbe en seconde.

T2 : le temps d'écoulement du liquide dans le deuxième bulbe en seconde.

V.2.2.3. Point d'éclair :

La détermination de cette propriété est basée sur la norme **ASTM D 93**

a. Principe :

La prise d'essai est placée dans le vase d'un appareil automatique en vase fermé et chauffée avec une augmentation constante de la température et sous agitation permanente, une flamme est présentée devant une ouverture dans le couvercle du vase tout en interrompant simultanément l'agitation.

b. Mode opératoire :

- On Remplie le vase avec l'échantillon jusqu'au repère indiqué sur la paroi interne du vase, on place le couvercle.
- On place le vase dans son compartiment, on place les 2 thermomètres à l'endroit indiqué.
- On choisit le programme et on fait entrer les paramètres ainsi que la température présumée.
- Après validation, l'essai démarre. L'agitation et le chauffage sont mis en marche
- Lorsque les vapeurs émises par l'échantillon s'enflamment sous l'effet d'une flamme, l'appareil affiche en °C la température du point d'éclair.

V.2.2.4. Point d'écoulement :

La détermination de cette propriété est basée sur la norme **ASTM D97/ ISO 3016**

a. Principe :

Le principe de cette méthode est de déterminer la température à laquelle l'échantillon se solidifie après refroidissement dans des conditions normalisées. Le point d'écoulement est défini comme étant le point de congélation en ajoutant à cette valeur 3°C. Le point d'écoulement est un nombre multiple de 3.

b. Mode opératoire :

- On chauffe l'échantillon avant de le refroidir progressivement dans des bains réfrigérants de plus en plus froids.

- On verse le produit à analyser dans le tube à essai jusqu'au trait jauge.
- On renferme le tube avec un bouchon muni d'un thermomètre maintenu verticalement et bien centré à la naissance capillaire de thermomètre.
- On place le tube à essai dans le bain réfrigérant (rempli d'éthanol) de manière que son niveau dépasse au plus de 25 mm le niveau de milieu réfrigérant, et on examine le tube à essai après abaissement de la température 3°C.
- On commence les mesures à une température de préférence multiple de 3°C et supérieures à 15°C et on met le tube à essai dans le premier compartiment de 0°C.
- Si le liquide ne cesse pas de couler quand la température atteint 9°C on place le tube dans le compartiment de -17°C.
- Si le liquide ne cesse pas de couler quand la température atteint -6°C on place le tube dans le compartiment de -34°C et si on n'a pas encore atteint le point de congélation à la température de -24°C on le place dans le dernier compartiment de -51°C.
- Le point d'écoulement s'obtient en ajoutant 3°C à cette température.

V.2.2.5. Détermination de la Teneur en soufre par fluorescence x :

Elle est régit par la norme **ASTM- D4294/ ISO 8754**

a. principe :

Il consiste à mesurer l'atténuation d'un faisceau de rayons X monochromatique à une énergie spécifique à la teneur en soufre. Dans la pratique, un flux passe à travers une cellule ou le soufre contenu dans l'échantillon à analyser et absorbe les rayons X transmis entre la source et un détecteur l'intensité des rayons X enregistrée est proportionnel à la concentration en soufre (la plus haute teneur en soufre transmet moins les rayons X).

b. Mode opératoire :

- On prépare les boîtes d'échantillon.
- On met la boîte d'échantillon dans l'appareil.

- On commence l'analyse (3 mesures/analyse) chaque mesure pendant 100 secondes.
- On lit la moyenne des mesures qui est imprimée.

V.2.2.6. Indice d'acidité :

La détermination de la teneur est régit par la norme **ASTM 974/ ISO 6618**

a. Principe :

La prise d'essai est dissoute dans 100 ml du solvant de titrage(les étapes de la préparation sont décrites en détails dans l'annexe V.2.2.6). La solution obtenue est titrée avec une solution d'hydroxyde de Potassium (KOH) alcoolique en présence d'un indicateur coloré (P- naphтолbenzéine) jusqu'à ce que la couleur de l'échantillon vire vers la couleur verte.

L'indice d'acidité total se calcule par la formule suivante : (en mg KOH/g)

$$\frac{(V_1 - V_0) \times N_{KOH} \times 56.1}{M}$$

V_0 : Volume en ml de KOH nécessaire pour titrer le solvant de titrage.

V_1 : Volume en ml de KOH nécessaire pour titrer la prise d'essai.

N_{KOH} : Normalité de la solution de KOH.

M : masse en gramme de la prise d'essai.

56.1: équivalent gramme de KOH.

V.2.2.7. Teneur en eau :

Cette propriété a été déterminée selon la norme **ASTM D95, ISO 3733**.

a. Principe :

L'eau contenue dans la prise d'essai est entraînée par distillation à reflux d'un solvant non miscible à l'eau, Après condensation l'eau se sépare du solvant et s'accumule dans un tube de recette gradué, et le solvant retour dans le ballon de distillation.

b. Mode opératoire :

- On mesure la prise d'essai à la température ambiante dans une éprouvette graduée de 100ml et la transvaser dans le ballon.

- On rince l'éprouvette avec 50ml de xylène puis 2 fois avec 25ml de solvant pour éliminer le produit adhérent aux parois de l'éprouvette.
- On agite le contenu du ballon et on assemble les éléments de l'appareil.
- On fait circuler l'eau froide dans le réfrigérant.
- On chauffe le ballon de distillation en réglant l'ébullition pour que le distillat condensé s'écoule à l'extrémité du réfrigérant à la vitesse 2 à 5 gouttes par seconde.
- Si les gouttelettes d'eau restent dans le réfrigérant, on augmente la vitesse de distillation (c'est-à-dire le chauffage).
- On arrête le chauffage et on laisse le tube de recette et son contenu refroidi à température ambiante.
- On lit la valeur d'eau rassemblée au fond du tube de recette, à la division de l'échelle la plus voisine de l'interface eau-solvant.

$$\text{Eau, \% volume} = \frac{\text{volume d'eau dans le tube de recette}}{\text{volume de la prise d'essai}} \times 100 \quad \text{facultatif}$$

V.2.2.8. Teneur en eau et sédiments (BSW) :

Cette propriété a été déterminée selon la norme **ASTM 1796, ISO 3734**

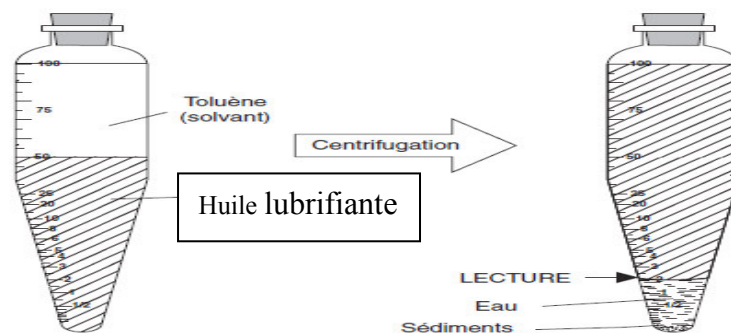


Figure V.2. Les tubes de centrifugation

a. Principe :

Le principe de cette méthode consiste à déterminer le volume d'eau et sédiments par centrifugation en présence d'un solvant toluène.

b. Mode opératoire :

- La prise d'essai utilisée doit être représentative de l'échantillon ce que implique son homogénéisation par les moyens appropriés, immédiatement avant son introduction dans l'ampoule de centrifugation.
- On remplit l'ampoule avec l'échantillon jusqu'à la graduation 50.
- On complète ensuite jusqu'à 100 avec du toluène.
- On allume la centrifugeuse et on place l'ampoule à l'intérieur de la centrifuge.
- On ferme le couvercle.
- On programme un temps de centrifugation égal à 10 min avec une vitesse de rotation de 2000 tours /min. L'opération se déroule à la température de 60°C.
- Une fois la durée est terminée, on retire le tube et lie la graduation correspondante au dépôt : eau +sédiments.
- On refaire la centrifugation jusqu'à ce que le niveau lu reste constant.

V.2.2.9. Couleur :

Cette propriété a été déterminée selon la norme **ASTM D1500/ISO 2049**.

a. Principe :

La détermination de couleur s'effectue en comparant la couleur de l'échantillon avec celles des verres s étalons colorés en présence d'une source de lumière spécifiée.

b. Mode opératoire :

- On remplit le tube à essai avec une prise d'essai et comparer sa couleur avec celles des disques étalons en verre colorés.
- Les verres étalons appropriés étant en place et la prise d'essai atteignant dans le tube un niveau tel que sa teinte soit nettement plus foncée que celle de l'étalon de couleur.

V.2.2.10. Corrosion à la lame de cuivre :

La détermination de cet essai est régit par la norme **ASTM 130/ISO2160**.

a. Principe

Une lame de cuivre polie est immergée dans la prise d'essai, chauffée à une température et pendant une durée spécifique à la classe du produit à examiner.

A la fin de l'essai, la lame est retirée, rincée ensuite elle et comparée à 1 tablette des lames étalons de corrosion.

b. Mode opératoire**La préparation des lames :**

- On élimine toutes les taches sur les faces et les côtés des lames en utilisant du papier au carbure de silicium.
- On Immerge la lame dans le solvant de nettoyage (acétone) et ne la retirer qu'au moment du polissage final.
- On extrait la lame du solvant de nettoyage (acétone).
- On polit les extrémités avec la poudre de carbure de silicium passant au tamis de 100 μ m d'ouverture de maille dans un verre de montre au moyen de tampon de coton hydrophile mouillé avec une goutte de solvant.
- On élimine toutes les poussières métalliques en frottant vigoureusement.
- On immerge immédiatement la lame propre dans l'échantillon placé dans le récipient d'essai.

Tableau V.5. Les conditions opératoires à respecter en fonction de types d'échantillon.

Conditions de l'essai	Classe des produits
3 heures dans un bain à 50°C	Essences, pétrole, gas-oil, fuel-oil
3 heures dans un bain à 100°C	Huiles lubrifiantes, White spirit
2 heures dans un bain à 100°C	Kérosène, combustible pour turbo réacteur

- On retire la lame de l'échantillon.

- On note la corrosivité de l'échantillon en relevant le numéro correspondant de la série des lames de référence.

Les étapes de classification sont présentées dans le Tableau suivant :

Tableau° V.6. Nature de corrosion des lames de références.

Classification	Désignation de la lame	Description
	Fraîchement polie	
1	Ternissement léger	a. Orangé léger presque semblable à la lame fraîchement polie. b. Orange foncé
2	Ternissement modéré	a. Rouge bordeaux b. Lavande c. Colorations multiples : bleu lavande et, ou argent sur rouge bordeaux d. Argenté e. Bronzé ou doré
3	Ternissement foncé	a. pellicule magenta sur la bronzée b. colorations multiples : présence de rouge et de vert (irisation) mais pas de gris
4	Corrosion	a. noir transparent, gris foncé ou brun avec du vert irisé découvert b. noir graphité ou mat c. noir brillant

Chapitre VI

Résultats et discussions

Chapitre VI : Résultats et discussions

VI.1. Suivi de l'évolution de la viscosité des huiles lubrifiantes en service

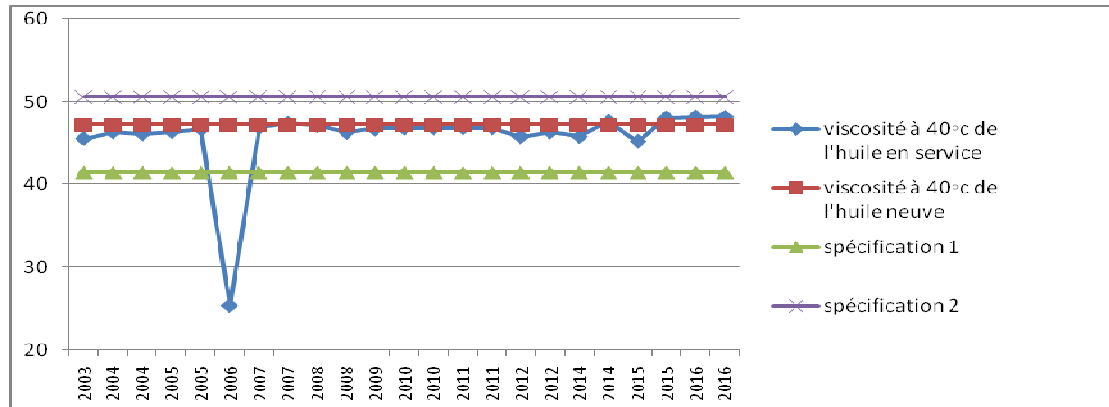


Figure VI.1. Suivi de l'évolution de la viscosité de l'huile en service (TORBA 46 dans un turbo compresseur) à 40°C en fonction de temps

Dans ce graphe on suit l'évolution de la viscosité d'une huile en service à 40°C (TORBA 46 dans un turbo compresseur) en fonction de temps. La viscosité de l'huile neuve à 40°C ainsi que les deux valeurs (maximale et minimale) fixées par les spécifications sont prise comme référence.

A partir de graphe, on observe que la viscosité de l'huile en service a été presque la même que celle de l'huile neuve mais, on remarque une grande diminution en 2006 où la viscosité de l'huile a dépassé la valeur minimale.

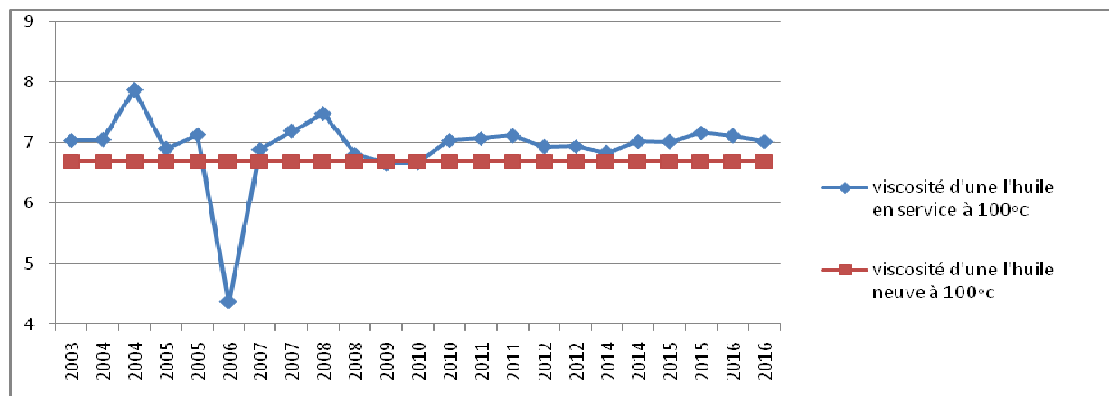


Figure VI.2. Suivi de la variation de la viscosité de l'huile en service (TORBA 46 dans un turbo compresseur) à 100°C en fonction de temps

Dans ce graphe on suit la variation de la viscosité d'une huile en service à 100°C (TORBA 46 dans un turbo compresseur) en fonction de temps, la viscosité de l'huile neuve à 100°C est prise comme référence.

A partir de ce graphe, on constate que la viscosité de l'huile en service a été acceptable en fonction de temps seulement, on remarque qu'il y'avait une diminution importante en 2006 (4.369 cst).

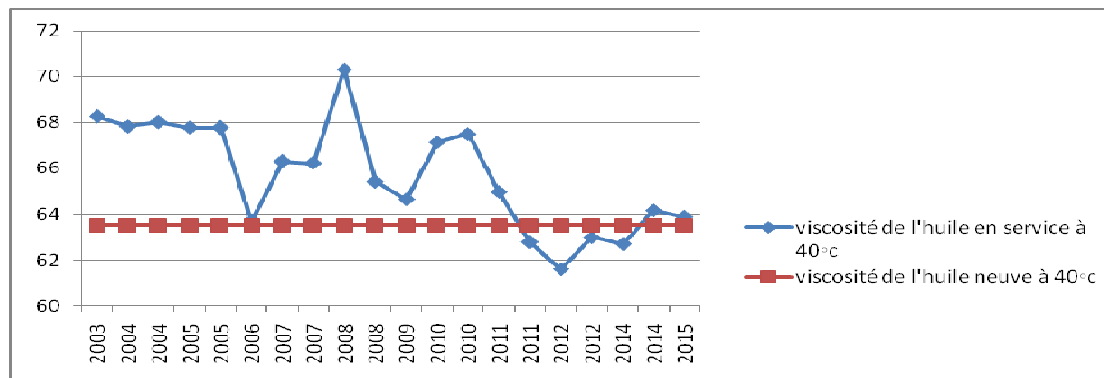


Figure VI.3. Suivi de l'évolution de la viscosité de l'huile en service (TEXACO EP68 dans un compresseur d'air) à 40°C en fonction de temps

Dans ce graphe on suit l'évolution de la viscosité d'une huile en service à 40°C (TEXACO EP68 dans un compresseur d'air) en fonction de temps, la viscosité à 40°C de l'huile neuve est prise comme référence.

On observe qu'il y'a : une augmentation de la viscosité de l'huile en service de l'année 2003 jusqu'à l'année 2005.

En 2006, la valeur de la viscosité a diminué et elle a atteint celle de l'huile neuve. en 2007, elle a augmenté et elle atteint une valeur très élevée (66.23 cSt) après elle a commencé à diminuer.

De 2011 jusqu'à 2015, on remarque que la viscosité de l'huile est correcte.

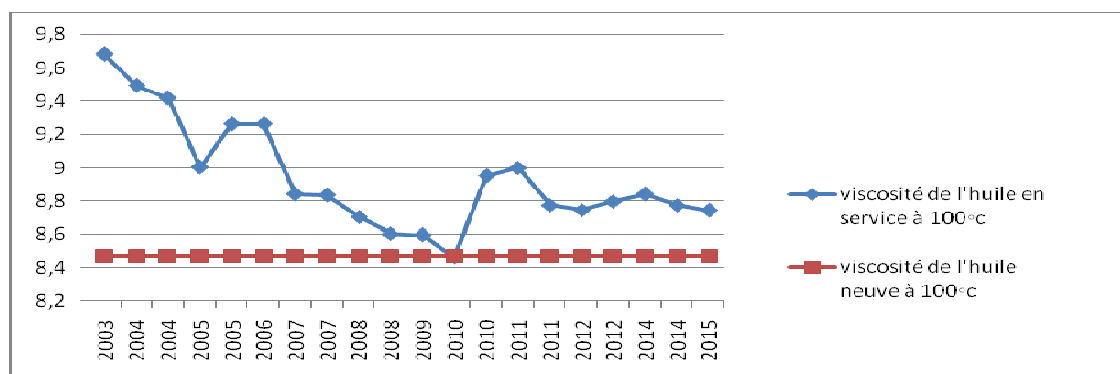


Figure VI.4. Suivi de l'évolution de la viscosité de l'huile en service (TEXACO EP68 dans un compresseur d'air) à 100°C en fonction de temps

Dans ce graphe on suit l'évolution de la viscosité d'une huile en service à 100°C (TEXACO EP68 dans un compresseur d'air) en fonction de temps, la viscosité à 100°C de l'huile neuve est prise comme référence.

On observe que :

En 2003, la viscosité de l'huile en service est très élevée et elle a commencé à diminuer jusqu'à atteindre la valeur de viscosité de l'huile neuve.

En 2010 elle a augmenté, et elle a resté stable jusqu'à l'année 2015.

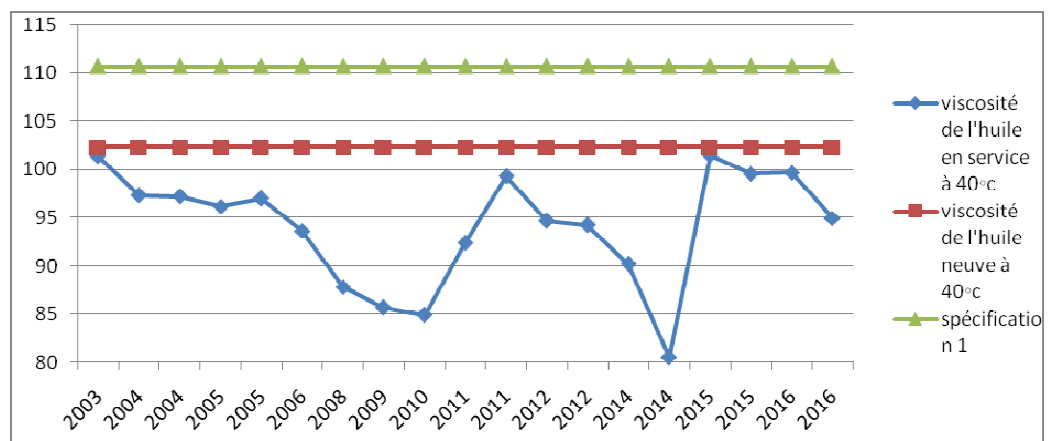


Figure VI.5. Suivi de l'évolution de la viscosité de l'huile en service (CHELIA 15W40 dans un moteur Diesel) à 40°C en fonction de temps

Dans ce graphe on suit la variation de la viscosité d'une huile en service à 40°C (CHELIA 15W40 dans un moteur Diesel) en fonction de temps, la viscosité à 40°C et la valeur fixée par la spécification de l'huile neuve sont prise comme référence.

On remarque que la viscosité de l'huile en service a diminué et elle est toujours inférieure à celle de l'huile neuve. En 2009 et 2014 elle atteint des valeurs critiques (85.7 et 80.52 cst)

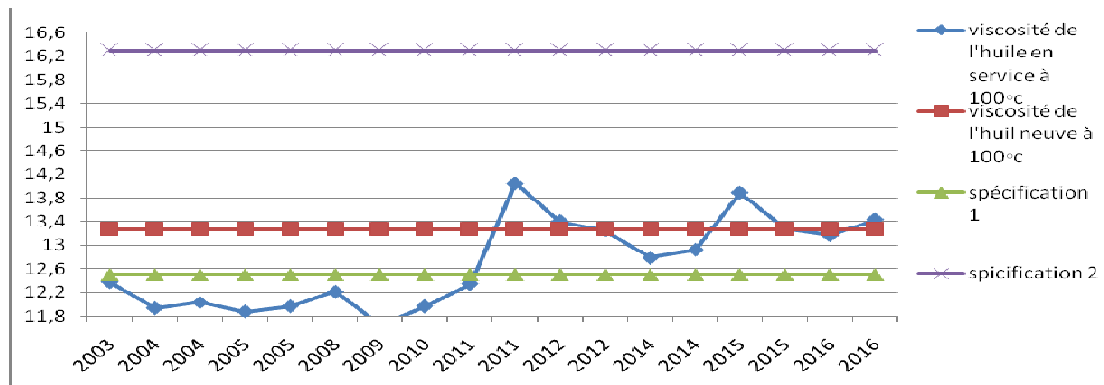


Figure VI.6. Suivi la variation de la viscosité de l'huile en service (CHELIA 15W40 dans un moteur Diesel) à 100°C en fonction de temps

Dans ce graphe on suit la variation de la viscosité d'une huile en service à 100°C (CHELIA 15W40 dans un moteur Diesel) en fonction de temps, la viscosité à 100°C ainsi que les deux valeurs (maximale et minimale) fixées par les spécifications sont prise comme référence.

On remarque que :

De 2003 à 2010 la viscosité de l'huile en service a été inférieure à celle de l'huile neuve et par rapport à la valeur fixée par la spécification.

De 2011 jusqu'à 2015 la viscosité de l'huile en service varie entre une augmentation et diminution mais elle n'a pas dépassé les valeurs limites, De 2015 à 2016, la viscosité de l'huile en service a atteint la valeur de celle de l'huile neuve.

❖ Interprétation

La viscosité d'une huile en service peut subir toutes sortes d'évolution augmentation et diminution.

➤ Les causes de l'augmentation

Température élevée, moteur surchargé, produits d'usure, poussière, erreur d'appoint, oxydation, polymérisation des molécules d'huile.

➤ Les causes de la diminution

Fuite, mauvaise injection, contamination par un gaz, par l'eau ou glycol ou par gasoil, cracking de molécules d'huile.

Toute évolution anormale de la viscosité doit être détectée à temps.

Si la viscosité augmente par oxydation, cette dernière doit être confirmée par une augmentation de l'indice d'acide, si ce n'est pas le cas, il faut se poser la question de l'erreur d'appoint ou d'une pollution.

La diminution de viscosité par un craquage ou par dissolution d'un gaz hydrocarbures s'accompagne en générale d'une diminution de point d'éclair. La diminution de viscosité par cisaillement des polymères s'accompagne généralement d'une diminution de l'indice de viscosité. En absence de la diminution du point d'éclair et de maintien de l'indice de viscosité, il faut penser de l'erreur d'appoint ou d'une pollution.

VI.2. Suivi de la variation de la masse volumique des huiles lubrifiantes en service

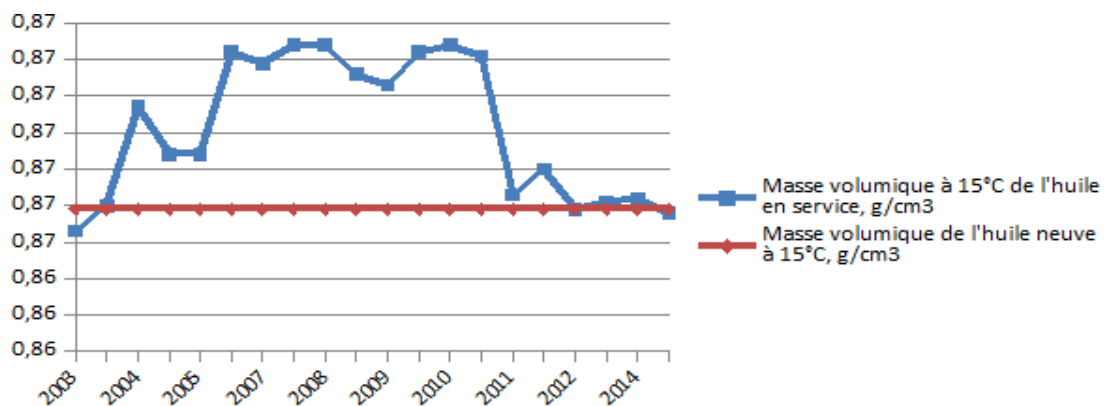


Figure VI.7. Variation de la masse volumique de l'huile en service (TEXACO EP68 dans un compresseur d'air) à 15°C en fonction du temps

Dans ce graphe on suit la variation de la masse volumique de l'huile en service (TEXACO EP68 dans un compresseur d'air) à 15°C en fonction de temps, la masse volumique de l'huile neuve à 15°C est prise comme référence.

On observe que :

De 2003 à 2011, la masse volumique de l'huile en service a augmenté.

De 2012 à 2014, la masse volumique de l'huile a diminué et elle atteint celle de l'huile neuve.

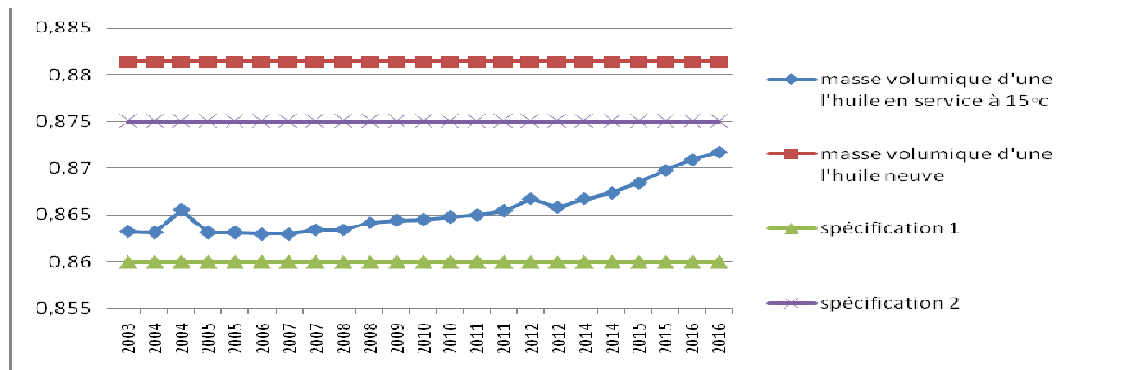


Figure VI.8. Variation de la masse volumique de l'huile en service (TORBA 46 dans un turbo compresseur) à 15°C en fonction de temps

Dans ce graphe on suit la variation de la masse volumique de l'huile en service (TORBA 46 dans un turbo compresseur) à 15°C en fonction de temps, la masse volumique de l'huile neuve et les deux valeurs fixées par les spécifications sont prises comme référence.

On remarque que :

La valeur de la masse volumique de l'huile en service a augmenté avec le temps mais elle est restée inférieure à celle de l'huile neuve et elle n'a pas dépassé les valeurs maximales et minimales (valeurs extrêmes).

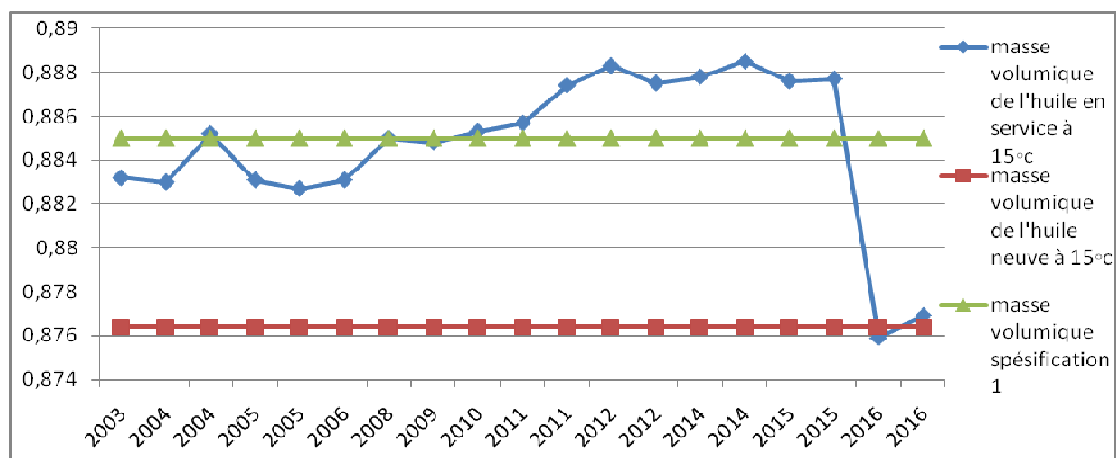


Figure VI.9. Variation de la masse volumique de l'huile en en service (CHILIA 15W40 dans un moteur Diesel) en fonction de temps

Ce graphe présente la variation de la masse volumique à 15°C d'une huile en en service (CHILIA 15W40 dans un moteur Diesel) en fonction de temps, la masse volumique de l'huile neuve et la valeur fixée par la spécification sont prises comme référence.

On observe que :

De 2003 à 2009 la masse volumique de l'huile en service a été supérieure à celle de l'huile neuve mais elle n'a pas dépassé la valeur maximale.

De 2010 à 2014 la masse volumique de l'huile en service a augmenté encore et elle a dépassé la valeur maximale.

De 2015 à 2016 la masse volumique de l'huile en service a diminué jusqu'elle atteindre celle de l'huile neuve.

❖ Interprétation :

Les causes d'augmentation ou de diminution de la masse volumique d'une huile en service sont les mêmes causes de la viscosité de l'huile en service.

➤ Les causes de l'augmentation

Température élevée, moteur surchargé, produits d'usure, poussière, erreur d'appoint, oxydation, polymérisation des molécules d'huile.

➤ Les causes de la diminution

Fuites, contamination par un gaz, par l'eau ou glycol ou par gazole, cracking de molécules d'huile.

VI.3. Suivi de la variation de la teneur en Aluminium (Al) et en Etain (Sn) dans les huiles lubrifiantes en service

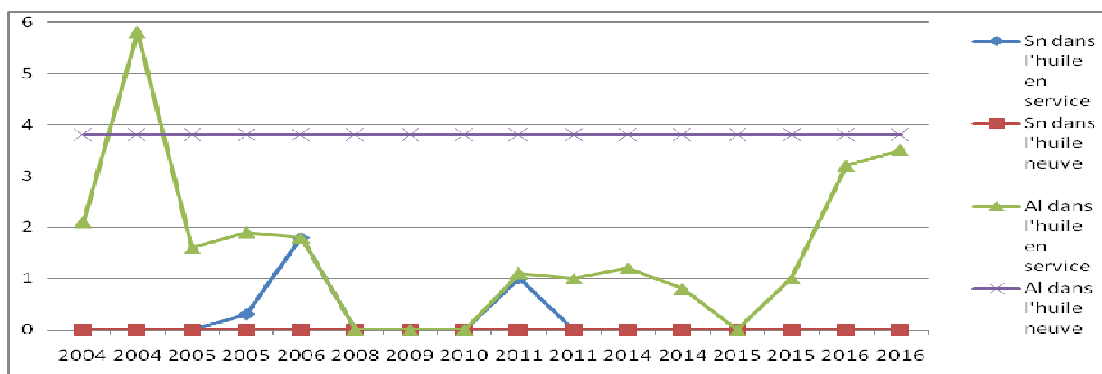


Figure VI.10. Suivi de l'évolution de la teneur en aluminium et en étain dans l'huile en service (CHELIA 15W40 dans un moteur Diesel) en fonction de temps

Dans ce graphe, on suit l'évolution de la teneur en Aluminium (Al) et en Etain (Sn) dans l'huile en service (CHELIA 15W40 dans un moteur Diesel) en fonction de temps, la teneur en Aluminium et en Etain dans l'huile neuve sont prises comme référence.

➤ **Pour l'Aluminium (Al) :**

On remarque que la teneur en Aluminium présente dans l'huile en service durant les années 2008, 2009, 2010 et 2015 a été la même que celle de l'huile neuve, par contre dans les autres années la teneur en Aluminium dans l'huile en service a été élevée surtout en 2004 où elle atteint 5.8 ppm.

➤ **Pour l'Etain (Sn) :**

On remarque que la teneur en Etain présente dans l'huile en service en fonction de temps a été très faible par rapport à celle de l'huile neuve.

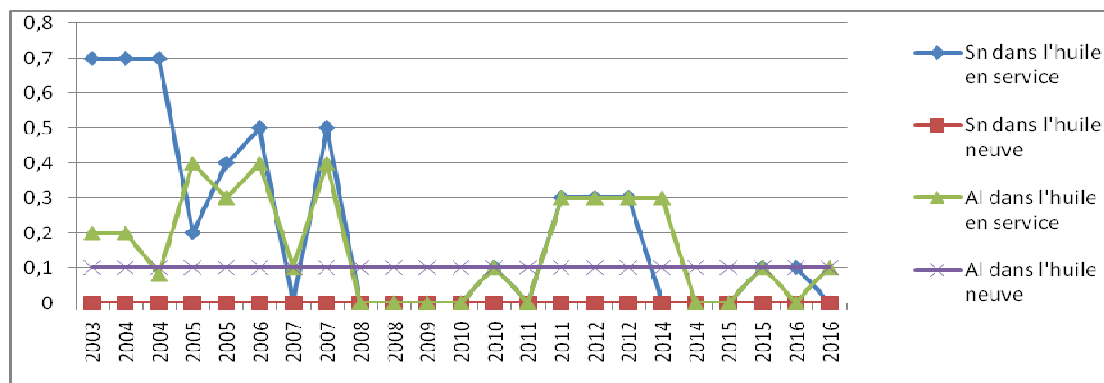


Figure VI.11. Suivi de l'évolution de la teneur en aluminium et en étain dans l'huile en service (TORBA 46 turbo compresseur) en fonction de temps

Dans ce graphique on suit l'évolution de la teneur en Aluminium et en Etain dans l'huile en service (TORBA 46 turbo compresseur) en fonction de temps, la teneur en Aluminium et en Etain dans l'huile neuve sont prises comme référence.

➤ **Pour l'aluminium (Al) :**

On remarque que la teneur en Aluminium présente dans l'huile en service a été grande durant les années 2005, 2006, 2007 et 2011 où elle est restée stable entre 2011 et 2014.

Pour les autres années la teneur en Al a été normale par rapport à celle de l'huile neuve.

➤ **Pour l'Etain (Sn) :**

En 2003 la teneur en Sn était trop élevée, et elle est restée stable jusqu'à l'année 2005 puis elle a diminué, Elle a été élevée aussi durant 2006 et 2007, elle a été normale dans les autres années.

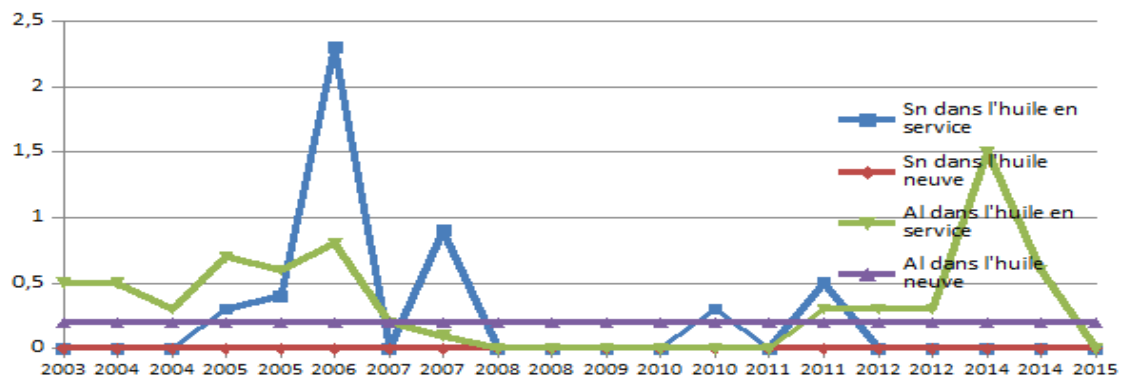


Figure VI.12. Suivi de l'évolution de la teneur en Aluminium et en Etain dans l'huile en service (TEXACO EP68 dans un compresseur d'air) en fonction de temps

Dans ce graphe, on l'évolution de la teneur en Aluminium et en Etain dans l'huile en service (TEXACO EP68 dans un compresseur d'air) en fonction de temps, la teneur en Aluminium et en Etain dans l'huile neuve sont prises comme référence.

➤ **Pour Etain (Sn) :**

La teneur en Sn présente dans l'huile en service a été trop élevée en 2006 et grande en 2007, pour les autres années, elle est normale.

➤ **Pour l'Aluminium (Al) :**

La teneur en Al présente dans l'huile en service est correcte par rapport celle neuve, sauf en 2014 où elle a été un peu élevée.

❖ **Interprétation**

L'origine de la présence d'Al et Sn dans l'huile en service provient de la matière de revêtement des composants des machines tournantes où l'huile circule. Les composants contenant d'Al sont : Piston, coussinets.

VI.4. Suivi de la variation de la teneur en plomb (Pb) et en cuivre (Cu) dans des huiles lubrifiantes en services :

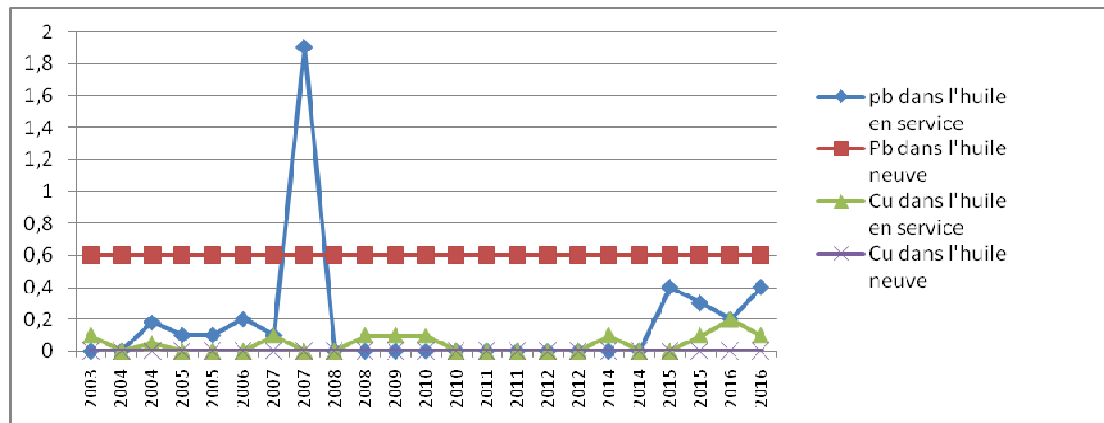


Figure V.13. Suivi de l'évolution de la teneur en Plomb et en Cuivre dans l'huile en service (TORBA 46 turbo compresseur) en fonction de temps

Dans ce graphe on suit l'évolution de la teneur en Plomb et en Cuivre dans l'huile en service (TORBA 46 turbo compresseur) en fonction de temps, la teneur en Plomb et en cuivre dans l'huile neuve sont prises comme référence.

On remarque que :

➤ **Pour le cuivre (Cu) :**

La teneur en Cu présente dans l'huile en service a été normale.

➤ **Pour le plomb (Pb) :**

De 2003 à 2006, La teneur en Pb présente dans l'huile en service a été faible par rapport à celle de l'huile neuve

En 2007, la teneur en Pb présente dans l'huile en service a augmenté et elle a été trop élevée.

En 2008, la teneur en Pb présente dans l'huile en service a diminué une autre fois et elle est restée stable jusqu'à l'année 2014.

De 2015 à 2016 la teneur en Pb dans l'huile en service a augmenté mais elle est restée toujours inférieure à celle de l'huile neuve.

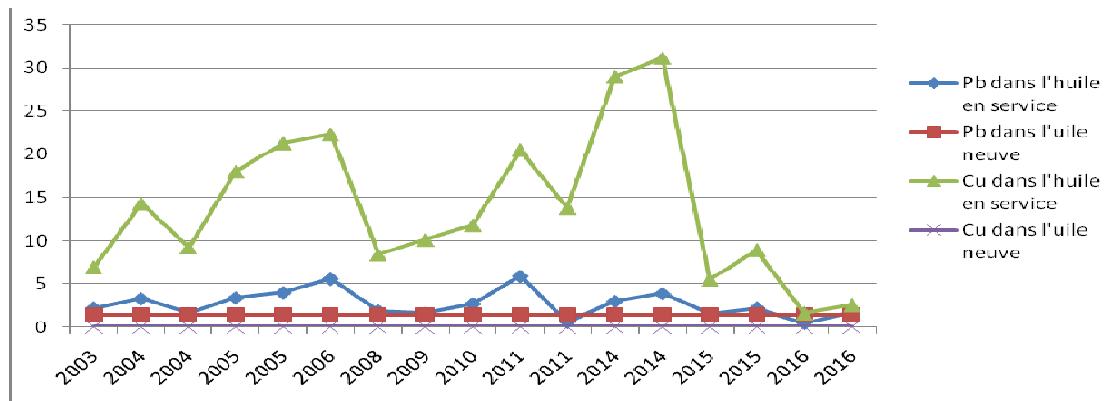


Figure VI.14. Suivi de l'évolution de la teneur en Plomb et en Cuivre dans l'huile en service (CHELIA 15W40 dans un moteur Diesel) en fonction de temps

Dans ce graphique on suit l'évolution de la teneur en Plomb et Cuivre dans l'huile en service (CHELIA 15W40 dans un moteur Diesel) en fonction de temps, la teneur en Plomb et en cuivre dans l'huile neuve sont prises comme référence.

On remarque que :

➤ **Pour le cuivre (Cu) :**

De 2003 à 2015, la teneur en Cu présente dans l'huile en service a été élevée.

En 2016 la teneur en Cu dans l'huile en service a diminuée.

➤ **Pour le plomb (Pb) :**

On remarque que, la teneur en Pb dans l'huile en service a été normale.

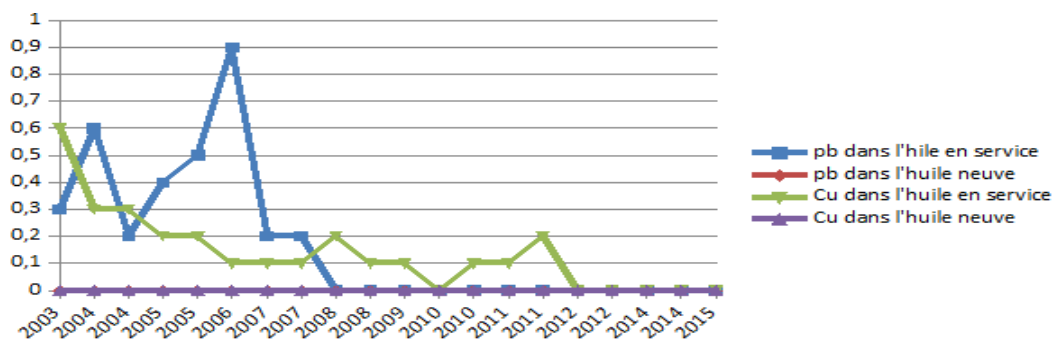


Figure VI.15. Suivi de l'évolution de la teneur en Plomb et en Cuivre dans l'huile en service (TEXACO EP68 dans un compresseur d'air) en fonction de temps

Dans ce graphique on suit l'évolution de la teneur en Plomb et Cuivre dans l'huile en service (TEXACO EP68 dans un compresseur d'air) en fonction de temps, la teneur en cuivre et en plomb dans l'huile neuve sont prises comme référence.

On remarque que :

➤ **Pour le plomb (Pb) :**

De 2003 à 2007 la teneur en Pb dans l'huile en service a été grande, surtout en 2006 où la teneur en Pb a été trop élevée, Elle atteint 0.9 ppm.

De 2008 à 2015 la teneur en Pb dans l'huile en service a diminué et elle a atteint celle de l'huile neuve et elle est restée stable.

➤ **Pour le cuivre (Cu) :**

La teneur en Cu en 2003 a été élevée.

De 2004 à 2011 la teneur en Cu est acceptable.

De 2012 à 2015 la teneur en Cu est parfaite.

❖ **Interprétation**

L'origine de la présence du plomb et du cuivre dans l'huile en service provient de la matière de revêtement des composants des machines tournantes où l'huile circule (contact huile-métal). Les composants contenant de Pb et Cu sont : Les paliers, les coussinets de bielle.

VI.5. Suivi de la variation de la teneur en Silicium (Si) et en Sodium (Na) dans les huiles lubrifiantes en service

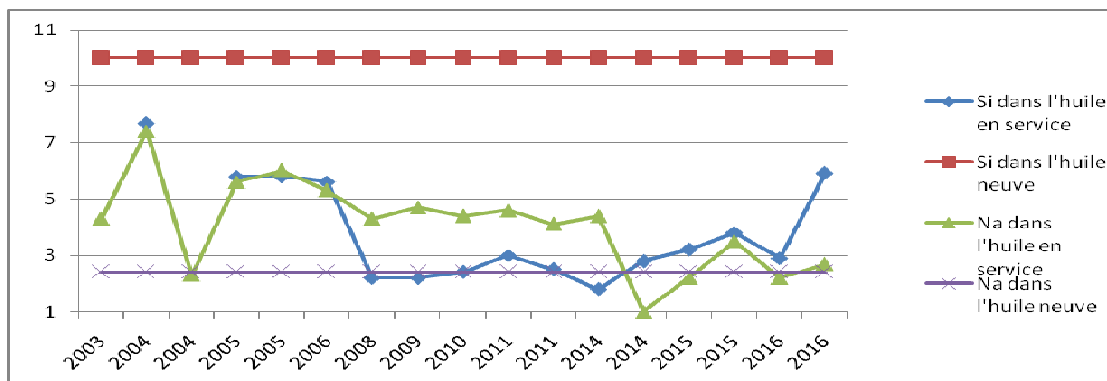


Figure VI.16. Suivi de l'évolution de la teneur en Silicium et en Sodium dans l'huile en service (CHELIA 15W40 dans un moteur Diesel) en fonction de temps

Dans ce graphe, on suit l'évolution de Si et Na dans l'huile en service (CHELIA 15W40 dans un moteur Diesel) en fonction de temps, les teneurs en Silicium et en Sodium dans l'huile neuve sont prises comme référence.

On remarque que :

➤ **Pour le silicium (Si) :**

La teneur en Si a été plus basse par rapport à celle de l'huile neuve.

➤ **Pour le sodium (Na) :**

La teneur en Na a été peu élevée par rapport à celle de l'huile neuve.

En 2004 la teneur en Na a été très élevée (7.6).

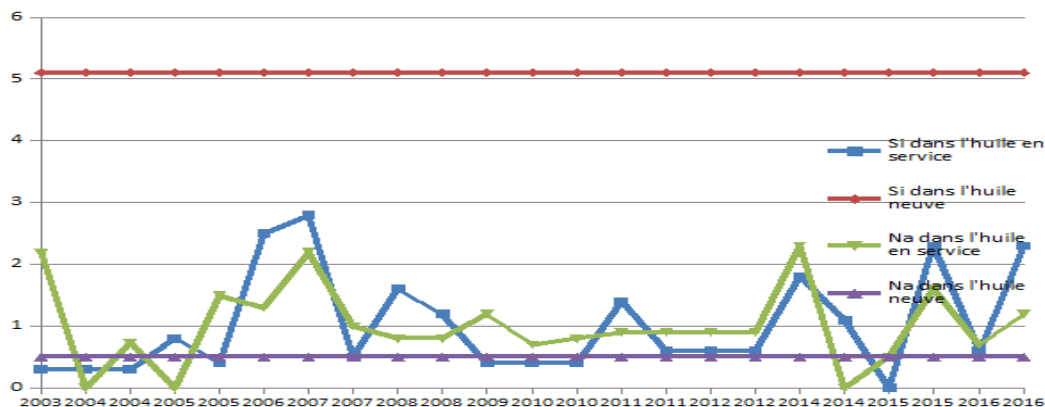


Figure VI.17. Suivi de l'évolution de la teneur en Silicium et en Sodium dans l'huile en service (TORBA46 dans un turbo compresseur) en fonction de temps

Dans ce graphe, on suit l'évolution de Si et Na dans l'huile en service (TORBA46 dans un turbocompresseur) en fonction de temps, les teneurs en Silicium et en Sodium dans l'huile neuve sont prises comme référence.

On remarque que :

➤ **Pour le silicium (Si) :**

La teneur en Si a augmenté puis diminué avec le temps mais elle est restée toujours inférieure à celle de l'huile neuve.

➤ **Pour le sodium (Na) :**

La teneur en Na a été acceptable par rapport à celle de l'huile neuve, mais il y'avait des valeurs peu élevées (2003 ; 2.19), (2007 ; 2.2), (2014 ; 2.3)

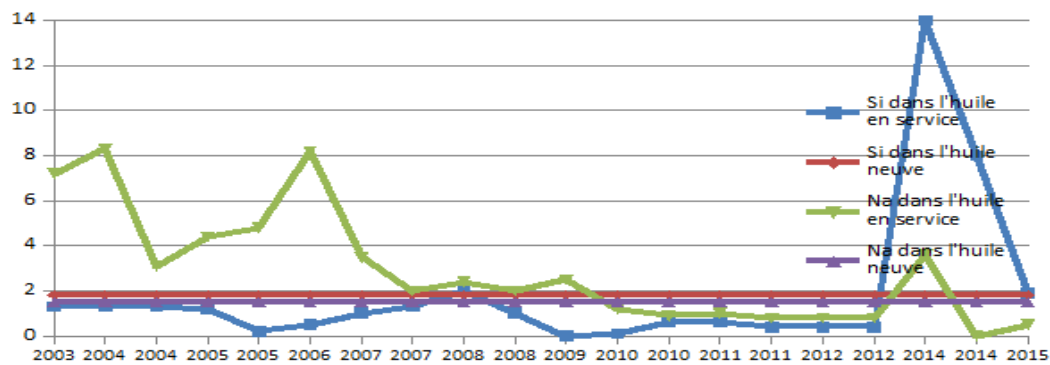


Figure VI.18. Suivi de l'évolution de la teneur en Silicium et en Sodium dans l'huile en service (TEXACO EP68 dans un compresseur d'air) en fonction de temps

Dans ce graphe, on suit l'évolution de Si et Na dans l'huile en service (TEXACO EP68 dans un compresseur d'air) en fonction de temps, les teneurs en Silicium et en Sodium dans l'huile neuve sont prises comme référence.

On remarque que :

➤ **Pour le silicium (Si) :**

De 2003 à 2012 la teneur en Si a été acceptable en fonction de temps par rapport à celle de l'huile neuve.

En 2014 la teneur en Si a été très élevée, elle atteint 14 ppm.

➤ **Pour le sodium (Na) :**

En 2003, 2004 et 2006 la teneur en Na a été très élevée (7.2, 8.3, 8.2) par rapport à l'huile neuve (1.5).

De 2007 à 2015 la teneur en Na a été normale.

❖ **Interprétation**

Le Si et Na sont les polluants les plus fréquents. Ils ont des conséquences immédiates sur l'usure de la machine tournante. Pour éviter l'usure de cette machine on doit :

- Changer du filtre à air s'il ya lieu.
- Contrôler l'état du conduit d'air.
- Contrôler l'étanchéité des circuits d'air.

L'origine de Si : pollution atmosphérique, fontes au Si, joints en silicium.

L'origine de Na : eau de refroidissement, additifs.

VI.6. Suivi de la variation de la teneur en Fer (Fe) et en Chrome (Cr) dans les huiles lubrifiantes en service

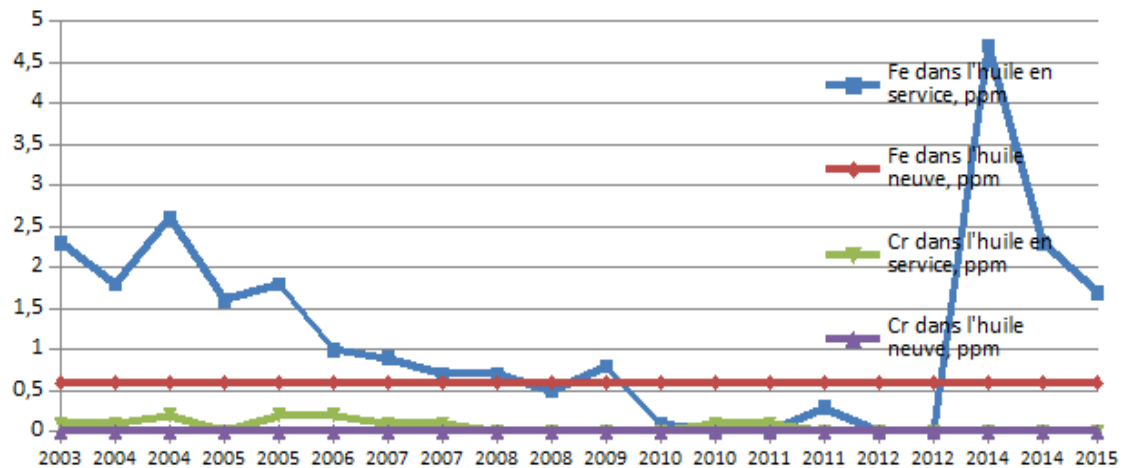


Figure VI.19. Suivi de l'évolution de la teneur en Fer et en Chrome dans l'huile en service (TEXACO EP68 dans un compresseur d'air) en fonction de temps

Dans ce graphe on suit l'évolution de la teneur en Fer et en Chrome dans l'huile en service (TEXACO EP68 dans un compresseur d'air) en fonction de temps, la teneur en Fer et en Chrome dans l'huile neuve sont prise comme référence.

On remarque que :

➤ **Pour le Fer (Fe):**

La teneur en Fer de 2003 à 2005 est grande.

De 2006 à 2009 la teneur en Fer est correcte.

De 2009 à 2012 la teneur en Fer est inférieure à celle de l'huile neuve.

En 2014 la teneur en Fer dans l'huile en service est trop élevée, elle a augmenté et elle atteint 4.7 ppm.

➤ **Pour le Chrome (Cr) :**

La teneur en Cr dans l'huile en service de 2003 à 2015 est presque la même que celle de l'huile neuve.

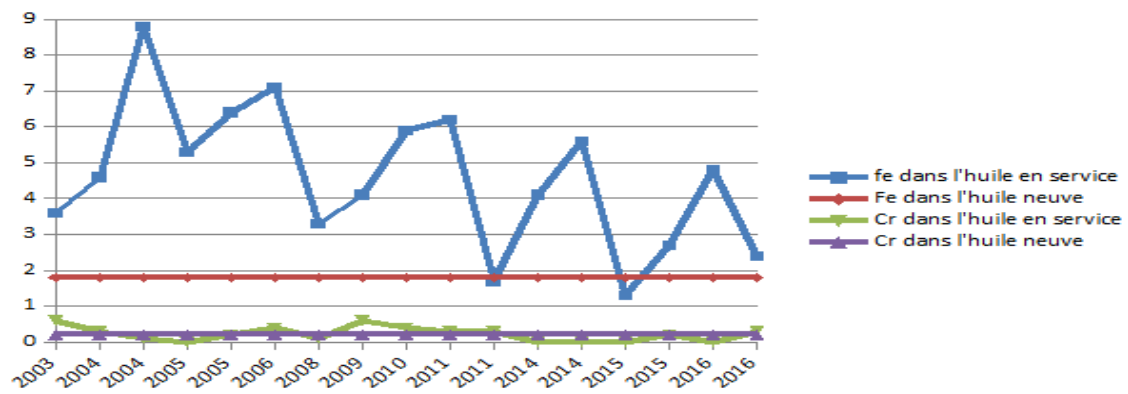


Figure VI.20. Suivi de l'évolution de la teneur en Fer et en Chrome dans l'huile en service (CHELIA 15W40 dans un moteur Diesel) en fonction de temps

Dans ce graphe on suit l'évolution de la teneur en Fer et en Chrome dans l'huile en service (CHELIA 15W40 dans un moteur Diesel) en fonction de temps, la teneur en Fer et en Chrome dans l'huile neuve sont prise comme référence.

On remarque que :

➤ **Pour le Fer (Fe) :**

La teneur en Fe dans l'huile est importante par rapport à celle de l'huile neuve.

➤ **Pour le chrome(Cr) :**

La teneur en Cr dans l'huile est presque la même que celle dans l'huile neuve.

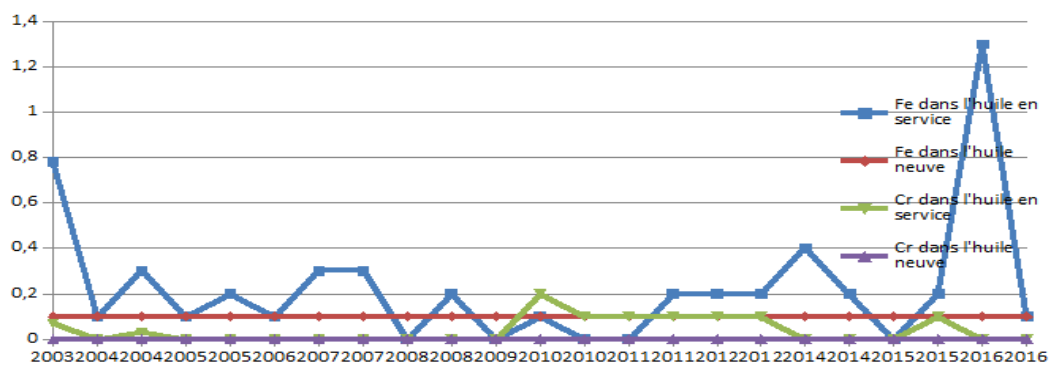


Figure VI.21. Suivi de l'évolution de la teneur en Fer et en Chrome dans l'huile en service (TORBA 46 turbo compresseur) en fonction de temps

Dans ce graphe on suit l'évolution de la teneur en Fer et en Chrome dans l'huile en service (TORBA 46 turbo compresseur) en fonction de temps, la teneur en Fer et en Chrome dans l'huile neuve sont prise comme référence.

➤ **Pour le fer (Fe) :**

La teneur en Fe dans l'huile service de 2003 est élevée puis elle a commencé de diminuer jusqu'à 2014. Une teneur très élevée est atteinte en premier semestre 2016 puis elle a diminué durant le deuxième semestre 2016 et elle est devenue proche de celle de l'huile neuve.

➤ **Pour le chrome (Cr) :**

La teneur en Cr dans l'huile est correcte par rapport à celle de l'huile neuve, il y a une augmentation de 2009 à 2012 mais elle n'est pas trop élevée.

❖ **Interprétation**

L'origine de la présence du Fer et Chrome dans l'huile en service provient de la matière de revêtement des composants des machines tournantes où l'huile circule.

Les composants contenant de Fer sont : Chemises, segments, vilebrequin, arbre à came, pignons de distribution, carter.

Les composants contenant de Chrome sont : Segments, chemises, eau de refroidissement.

Conclusion générale

Conclusion générale

Notre étude porte sur le suivi de l'évolution des propriétés physiques de trois huiles en service pour trois machines différentes en fonction de temps, nous prenons comme référence les caractéristiques de l'huile neuve.

Les résultats obtenus montrent que les causes de dégradation de l'huile lubrifiante sont en générale : l'oxydation, la corrosion, les métaux d'usure comme le fer et le chrome, la température élevée, la contamination par l'eau ou par un carburant comme le gasoil, contamination par les polluants comme le silicium, la poussière.

En vu d'éviter le phénomène de dégradation on suit l'évolution de propriétés des huiles lubrifiantes et si on détecte un problème il faut soit intervenir au niveau de matériel, soit ajouter des additifs sinon on remplace l'huile par une autre neuve.

A la fin on peut dire que le suivi de l'huile lubrifiante dans les machines tournantes joue un rôle très important, il permet de :

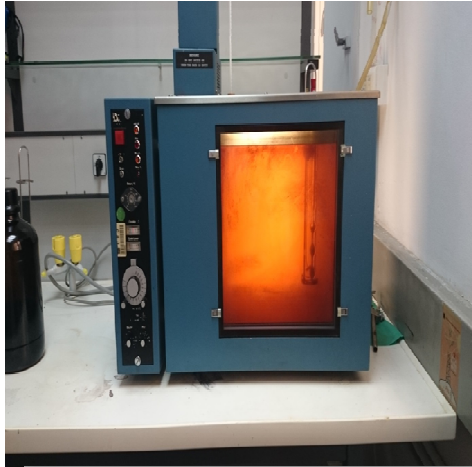
- détecter les anomalies et l'usure des mécanismes à temps.
- donner la durée de vie de l'huile.
- Réduire les couts de la maintenance.

Références bibliographiques

- [1] : TISSOT, "Pétrole_petrole brut" .Encyclopaedia universalis [en ligne]
http://www.universalis.fr/encyclopedia/petrole_le_petrole_brut/
- [2] : "Pétrole : origine, production et traitement».
Union pétrolière, lowenstrasse, 1^{er} édition 2003.
- [3] : Science de l'ingénieur et des technologies, université de Dschang- Cameron
<http://afrostylingenieur.unblog.fr>
- [4] : Lubrification et graissage Nader BENSALÉM.
- [5] : ABC du graissage structure, utilisation et propriétés des lubrifiants, Castrol
(Switzerland) AG
- [6] : les turbocompresseurs .odt, version du 15 avr.2012.
- [7] : les turbocompresseurs version de novembre-07 –CCH LAURENT. –SDIS 42
- [8] : www.hiss-et-oh.com-page3 .
www.lequotidienauto.com .
- [9] : Analyses des huiles ISET Siliana. CHOUCHE Mohamed.
- [10] : TPM Attitude Christian COUDRE 1 Août 2011.

Annexes

Annexe V.2.2.2 : Bain thermostaté pour la viscosité cinématique manuelle (type de capillaire : CANNON FENSKE).



Annexe V.2.2.3 : point d'éclair (vase fermé)



Annexe V.2.2.5 détermination de la teneur en soufre par fluorescence rayon x.



Annexe V.2.2.6 : Détermination de l'indice d'acidité :**b-Mode opératoire :**

Solvant de titrage :

-Mélanger 500 ml toluène ,495ml d'alcool isopropylique et 5ml d'eau distillée.

Solution KOH dans l'alcool isopropylique 0,1N :

-Ajouter 6g de potasse à 1litre d'alcool isopropylique,

-Faire bouillir à reflux 10 à 15 minutes en agitant fréquemment pour éviter la formation d'une croûte solide au fond du ballon,

-Laisser refroidir à température ambiante et reposer pendant quelques heures,

-Ajouter 2 grammes d'hydroxyde de baryum puis chauffer de nouveau 15 minutes.

-Laisser refroidir à l'obscurité pendant 48 heures.

-filtrer la solution à travers un entonnoir, en évitant toute exposition inutile à l'anhydride carbonique pendant la filtration. Cette opération a pour but d'éliminer les carbonates insolubles dans l'alcool,

-conserver la solution dans l'obscurité, en évitant le contact du liège, caoutchouc, lubrifiant saponifiable pour robinets rodés.

-Étalonner fréquemment la solution pour déceler les variations de l'ordre 0,0005N, de préférence en utilisant du phtalate acide de potassium pur, dissous dans environ 100ml d'eau distillée fraîchement bouillie et en présence de phénol phtaléine comme indicateur.

-Paraphtolbenzeine : préparer une solution contenant 10g paraphtolbenzeine par litre de solution de titrage,

-Phénol phtaléine :

-Dans une fiole conique, verser 100ml du solvant, ajouter 0,5ml de solution colorante, agiter et verser la prise d'essai et l'agitateur,

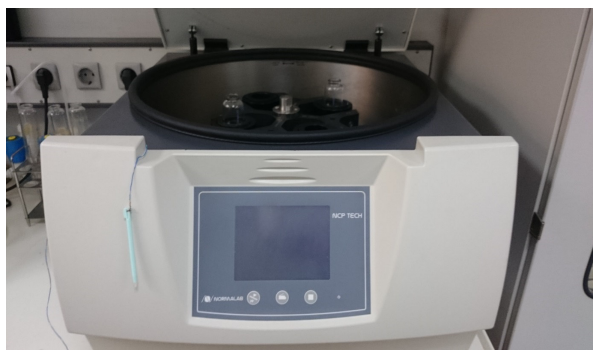
La masse la prise d'essai est déterminée par double pesée.

Indice d'acide total	Masse de la prise d'essai, g	Précision de la pesée, g
0 à 3,0 3,0 à 25,0 25,0 à 250,0	Huiles neuves légèrement colorées	
	20,0 + 2	0,05
	2,0 + 0,2	0,01
	0,2 + 0,02	0,001
0 à 25,0 25,0 à 250,0	Huiles usagées ou de couleur foncée	
	2,0 + 0,2	0,01
	0,2 + 0,02	0,001

Annexe V.2.2.6.a : détermination de l'indice d'acidité « par titrage »



Annexe V.2.2.8. Teneur en eau et sédiment :



Annexe V.2.2.9 : détermination de la couleur



Annexe V.2.2.10 corrosion à la lame de cuivre :



Table de séries des couleurs de référence de la corrosion à la lame de cuivre :

