

RÉPUBLIQUE ALGÉRIENNE DÉMOCRATIQUE ET POPULAIRE
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

UNIVERSITÉ de BLIDA 1

Faculté de Technologie

Département de Génie des Procédés



Mémoire

En vue de l'obtention du diplôme de

MASTER EN GENIE DES PROCEDES

Spécialité : Génie Chimique

Intitulé du mémoire

Suivi de contamination des huiles par l'eau
dans les machines tournantes

Présenté par :

Mechani Yacine
Boukrid Abdelfetah

Encadré par :

M^{me} Djedri Safia

Année universitaire 2018/2019

Dédicace

Je tiens à dédier ce travail à mes chers parents, à ma sœur, ainsi que toute ma famille qui ont toujours été présents par leurs conseils et encouragement.

Je le dédie aussi à la mémoire de mes grands parents et à ma tante, paix à leurs âmes.

A vous, à tout ceux qui me sont chers, à tout ceux que j'ai connu, aux gens d'Ath Yenni, mon village natal, aux gens de Laghouat ou j'ai grandi, aux gens de Blida, je tiens à vous dédier cet humble travail.

A tous mes enseignants du département de Génie des procédés.

A toute notre promotion de Génie des procédés avec qui j'ai partagé des moments inoubliables.

Mechani Yacine



Dédicace

Je tiens à exprimer toute ma reconnaissance à ma directrice de mémoire, Madame S. Djederi . Je la remercie de m'avoir encadré, orienté, aidé et conseillé.

J'adresse mes sincères remerciements à tous les professeurs de l'université Saad Dahleb Blida et toutes les personnes qui par leurs paroles, leurs écrits, leurs conseils et leurs critiques ont guidé mes réflexions et ont accepté de me rencontrer et de répondre à mes questions durant mes recherches et mon stage.

Je remercie mes chers parents et mon frère, qui ont toujours été là pour moi par pour leurs encouragements.

Enfin, je remercie mes amis qui ont cru en moi. Leur soutien inconditionnel et leurs encouragements ont été d'une grande aide.

À tous ces intervenants, je présente mes remerciements, mon respect et ma gratitude.

Remerciements

Au terme de ce mémoire, on tient à remercier le bon dieu de nous avoir donné la force et le courage d'achever notre travail.

Nous remercions Monsieur le président de jury ainsi que ses membres de nous avoir fait l'honneur de juger notre travail.

Nous tenons également à remercier notre promotrice M^{me} S.Djedri ainsi que notre co-promotrice M^{me} R.Fares pour leurs précieux conseils et à qui nous exprimons notre immense gratitude pour toute l'aide prodiguée.

Nos remerciements vont également à tous ceux qui nous ont ouvert leurs portes et qui se ont donné de la peine pour nous accompagner durant notre stage au sein de leurs entreprises, nous citons en premier lieu M^r Benamara directeur de la division laboratoire au sein du CRD de Boumerdes ainsi que tous les employés, sans oublier les chaleureux travailleurs de la division DP de Haoud Berkaoui et de Guellala à Hassi Messaoud.

Que toutes les personnes qui ont contribué de près ou de loin à la réalisation de ce projet voient ici l'expression de nos sincères remerciements.

Chapitre I les machines tournantes.....	1
I.1.Introduction	2
I.2 Généralités sur le fonctionnement des machines tournantes lubrifiées.....	2
I.2.1 Définition d'une machine tournante	2
I.2.1.1 Le rotor.....	3
I.2.1.2 La structure	3
I.2.1.3 Les liaisons fluides	[3-5]
I.3 Différents organes dans une machine tournante	5
I.3.1 L'engrenage	5
I.3.2 Le roulement	6
I.3.3 L'arbre	[6-7]
I.3.4 La courroie	7
I.4 Les compresseurs.....	7
I.4.1 Définition.....	7
I.4.2 But de la compression.....	7
I.4.3Classification des compresseurs.....	[7-8]
I.4.4 Principe de fonctionnement	8
I.5 Les turbines.....	8
I.5.1 Les différents types de turbines	9
I.5.1.1 Turbine à vapeur	9
I.5.1.2 Turbine à combustion (TAC)	9
 Chapitre II contamination des huiles lubrifaintes par de l'eau.....	 10
II.1 Introduction	11

II.2 Classification des huiles de base	11
II.2.1 Les huiles minérales	[11-12]
II.2.2 Les huiles synthétiques	[12-13]
II.2.3 Les huiles de semi-synthèse	13
II.3 LES ADDITIFS.....	13
II.3.1 Additifs améliorant l'indice de viscosité	13
II.3.2 Additifs anti-usure	14
II.3.3 Additifs améliorant la résistance aux chocs	14
II.3.3 Additifs extrême pression	14
II.3.4 Additifs antioxydants	14
II.3.5 Additifs anticorrosion.....	14
II.3.6 Additifs de basicité	[14-15]
II.3.2 .7 Additifs détergents	15
II.3.8 Additifs dispersants	15
II.3.9 Additifs anti-mousses	15
II.3.10 Additifs anti-congelant	15
II.3.11 Retardateur de décomposition des joints	15
II.4 Propriétés des huiles	16
II.4.1 Propriétés physiques.....	16
II.4.1.1 Viscosité.....	16
II.4.1.2 Viscosité dynamique	16
II.4.1.3 Viscosité cinématique	16
II.4.1.4 indices de viscosité.....	16
II.4.1.5 La densité.....	17
II.4.1.6 La couleur.....	17
II.4.1.7 Point d'écoulement.....	17
II.4.2 Propriétés chimiques.....	18
II.4.2.1 Point d'éclair (appareil Cleveland).....	18
II.4.2.2 Teneur en soufre.....	18
II.4.2.3 Teneur en eau.....	18
II.5 Contaminations des huiles par l'eau.....	[18-19]

II.5.1 L'origine de l'eau dans l'huile lubrifiante	[19-20]
II.5.1.1 les différentes formes d'eau dans l'huile contaminée	[20-21]
II.5.2 Les types de dommages causés par l'eau existante dans l'huile lubrifiante.....	[22-23]
II.5.3 Les paramètres qui définissent la saturation de l'huile en eau	24
II.6 L'effet de la pollution des lubrifiants par l'eau.....	24
II.6.1 Effets à court terme	25
II.6.1.1 Altération de la viscosité	25
II.6.1.2 Cavitation	25
II.6.1.3Paralysie des additifs	26
II.6.2Effets à long-terme	26
II.6.2.1Corrosion des revêtements internes	26
II.6.2.2Oxydation des métaux	27
II.6.2.3Propagation de fissures	27
II.6.2.4Micro-piqûres par arcs électriques	27
II.6.2.5Oxydation de l'huile et attaque des additifs	27
II.6.2.6 Dégénération biologique	28
Chapitre III Partie expérimental.....	29
III.1 Matériel et méthodes	30
III.1.1 Préparation d'un échantillon	[30-31]
III.1.2 Echantillonnage.....	31
III.1.3 Contrôle et surveillance des huiles lubrifiantes	31
III.1.4 La viscosité cinématique	[31-33]
III.1.5 Point d'éclair.....	[33-34]

III.1.6 Point d'écoulement.....	[34-35]
III.1.7 Indice d'acidité	[35-36]
III.1.8 Teneur en eau et sédiments (BSW)	[36-37]
III.1.9 Couleur.....	37
III.1.10 La Masse volumique	[37-38]
III.1.11 Teneur en eau par Karl Fisher	[38-39]
III.2 Résultats et discussions.....	40
III.2.1 Suivi des huiles de machine au CRD	40
III.2.1.1 Suivi de l'huile TORBA 46 pour turbo compresseur CD-601.....	[40-44]
III.2.1.2 Suivi de l'huile TORBA46 pour turbo compresseur CD-603.....	[44-48]
III.2.1.3 Suivi de l'huile FODDA 68 pour le turbocompresseur PT-401-03	[48-52]
III.2.1.4 Suivi de l'huile TEXACO EP 46 pour le turbocompresseur CD-301B.....	[52-56]
III.2.2 Suivi de la teneur en eau des quatre huiles lubrifiantes	[56-57]
III.2.3 Interprétation des résultats	58
III.2.3.1 Teneur en eau pour tous les types d'huile	58
III.2.4 Impacte de la variation de la teneur en eau sur les différents paramètres.....	[59-60]
III.3 Constations des problèmes de la contamination des huiles lubrifiantes sur site.....	[60-61]
III.3.1 Présentation du Site	[61-62]
III.3.2 Présentation et mode de fonctionnement du circuit de lubrification	[62-63]
III.3.3 Suivi des huiles lubrifiantes sur le lieu de stockage et lors de la mise en service.....	64
III.3.4 Confirmation de la contamination de l'huile lubrifiante par effet thermique.....	64
III.3.4.1 Vieillessement thermique simulé au laboratoire	[64-65]

III.3.4.2 Les constatations tirées du vieillissement	[65-66]
III.4 Détermination des sources de contamination et les solutions proposées.....	66

Chapitre I

Les machines tournantes

I.1. Introduction :

La lubrification est l'action d'assurer un film d'huile entre deux pièces en mouvement l'une par rapport à l'autre afin de réduire le frottement et l'usure, prévenir la défaillance et assurer une durée de vie optimale à chaque organe mécanique.

La lubrification des principaux organes d'une machine tournante couvre plusieurs régimes, elle est régie par l'aptitude à vaincre toutes les contraintes qui l'opposent durant le fonctionnement requis du système lubrifié (charge, vitesse, température, irrégularité des surfaces, abrasion...).

Pour ce faire, le lubrifiant doit disposer de plusieurs propriétés le qualifiant à garantir un fonctionnement optimal du système lubrifié.

I.2 Généralités sur le fonctionnement des machines tournantes lubrifiées :

I.2.1 Définition d'une machine tournante :

Les machines tournantes sont des systèmes où s'accomplissent d'importants échanges d'énergie mécanique, thermique ou hydraulique. Un système tournant est constitué d'un rotor, une structure, et des liaisons de différentes natures (Figure I.1).

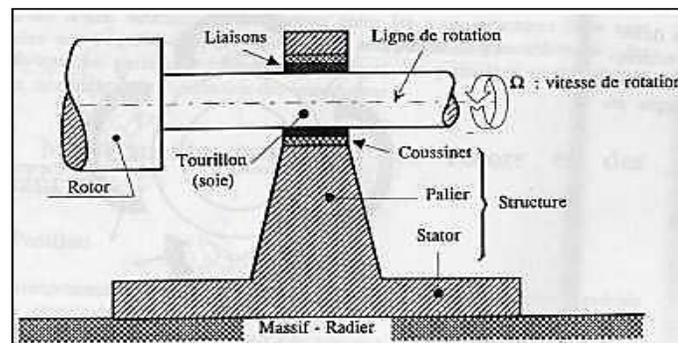


Figure I.1 : Eléments constitutifs d'une machine tournante [1]

I.2.1.1 Le rotor:

Un rotor est composé d'un arbre sur lequel sont montées les parties actives (roues, engrenages,..). Le rotor est une structure dont les éléments tournent autour d'une ligne de rotation. Il est conçu de plusieurs matériaux (acier, cuivre, bois, plastique...), réalise une fonction bien définie : la manipulation de fluides, de solides

I.2.1.2 La structure :

La structure non rotative comprend les éléments essentiels suivants :

- Les coussinets de faibles dimensions à droite des tourillons du rotor. Des bagues peuvent être substituées aux coussinets : roulements.
- Les paliers qui relient les coussinets (bagues) au stator.
- Le stator ou enveloppe de la machine ; il contient des éléments essentiels : ailettes pour les turbomachines...
- Le massif des systèmes embarqués peut prendre des formes beaucoup plus variées que celles des systèmes terrestres.
- Cette adaptation exige de résoudre un problème qui relève de la suspension des machines dont peut dépendre la tranquillité vibratoire, spécialement celle de l'environnement ;
- Le radier est un élément spécifique aux systèmes terrestres. Il assure la liaison entre le massif et les sols et a pour mission de diminuer les pressions exercées au sol [1].

-

I.2.1.3 Les liaisons fluides :

Permettent le guidage en rotation des arbres des machines tournantes lubrifiées, on distingue :

❖ Butées et paliers hydrodynamiques :

Dans ce type de paliers, l'arbre prend appui sur un coussinet et est séparé de celui-ci par un film lubrifiant. Selon la direction de la charge par rapport à l'arbre en rotation, on distingue les paliers porteurs pour lesquels la charge est radiale, généralement appelés paliers, des paliers de butée appelés butées pour lesquels la charge est axiale [2]. Dans les paliers fluides et plus particulièrement des paliers et des butées hydrodynamiques dans lesquels un film mince de fluide sépare les surfaces en mouvement relatif (Figure I.2).

.

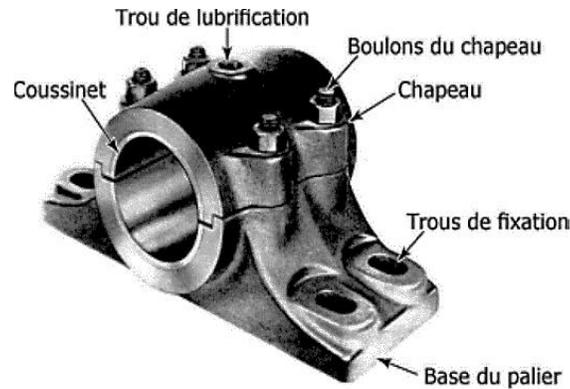


Figure I.2 : Eléments d'un palier lisse [2]

La puissance dissipée par cisaillement dans le fluide lubrifiant du palier entraîne une élévation de la température du mécanisme. Cette augmentation de température peut être responsable de la fusion ou du fluage du régule, matériau mou à bas point de fusion, qui recouvre généralement la surface du coussinet.

La température maximale du palier peut être évaluée de façon approchée à l'aide d'un bilan thermique global du palier ; elle peut aussi être calculée avec une excellente précision en effectuant une analyse fine du problème thermoélastohydrodynamique de l'ensemble du palier.

Comme la plus grande partie de la chaleur est évacuée par le fluide, la connaissance du débit de lubrifiant nécessaire au bon fonctionnement du palier est importante.

Dans la plupart des paliers et des butées hydrodynamiques, l'écoulement du fluide dans le film lubrifiant s'effectue en régime laminaire ; cependant l'emploi de fluides de très faible viscosité, de l'eau par exemple, ou la nécessité d'utiliser des paliers de grandes dimensions fonctionnant à vitesses élevées entraînent des changements de régime dans le fluide dont l'écoulement peut devenir turbulent. Le calcul des caractéristiques du palier s'effectue alors en tenant compte des changements de régime dans le fluide [3].

❖ Butées et paliers aérodynamiques :

Dans le cas de mécanismes supportant de faibles charges ou demandant une très grande précision, le guidage des arbres par des paliers et des butées aérodynamiques semble être une solution satisfaisante et relativement économique.

En effet, lorsque la vitesse de rotation devient trop importante ($N > 50\,000$ tr/min), la puissance dissipée par frottement fluide ainsi que les problèmes thermiques qui en résultent ne sont plus négligeables. Il est alors possible de recourir à des fluides de viscosité beaucoup plus faible ; c'est le cas des gaz et en particulier de l'air pour lequel la viscosité dynamique est 200 fois plus faible qu'une huile peu visqueuse [2].

I.3 Différents organes dans une machine tournante :

Une machine tournante n'est en fait qu'un jeu de mécanismes mobiles entre eux, et d'organes combinés dans le but d'effectuer une tâche précise, transformer une énergie, transmettre un mouvement. Dans ce qui suit nous allons voir quelques-uns des organes les plus importants et les plus courants.

I.3.1 L'engrenage :

L'engrenage est un des mécanismes élémentaires les plus utilisés pour transmettre du mouvement, et adapter les vitesses de rotation entre organes moteurs et récepteurs. Il est constitué de deux roues dentées mobiles autour d'axes de rotation, et dont l'une entraîne l'autre par l'action de dents successivement en contact (Figure I.3) [4].

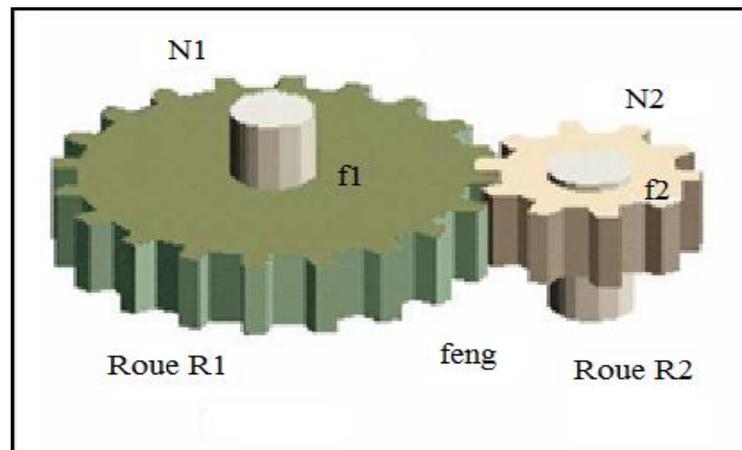


Figure I.3 : Système d'engrenage

I.3.2 Le roulement :

Le roulement est un organe qui assure à lui seul plusieurs fonctions principales : il permet le positionnement d'un arbre par rapport à son logement tout en assurant une rotation précise avec le minimum de frottements, et il transmet des efforts radiaux et / ou axiaux. L'analyse des différentes caractéristiques des roulements et de leurs limites permet d'établir des critères de choix (voir figure I.4).

La fonction transmission des efforts est caractérisée par l'aptitude du roulement à encaisser des charges radiales, des charges axiales, ou les deux à la fois, et par l'endurance que l'on peut en attendre (durée de vie)

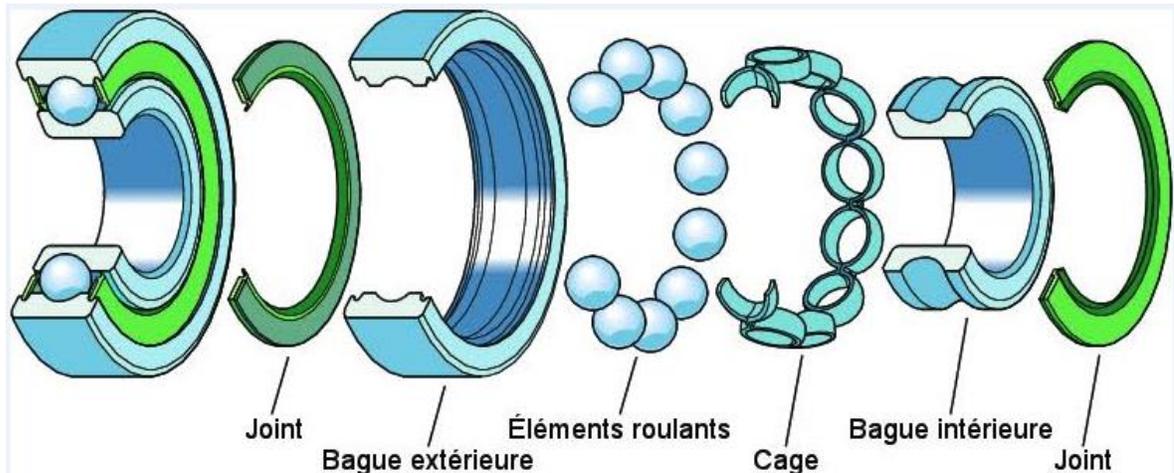


Figure I.4 : Eléments du roulement.[4]

Selon leurs applications, et la criticité des machines sur lesquelles ils sont montés, les roulements nécessitent plus ou moins une surveillance et un entretien préventif. Pour cela le suivi des niveaux de vibration et de température, sont les sources d'information les plus utilisées.

I.3.3 L'arbre :

L'arbre dans une machine tournante est un organe de transmission assurant le mouvement de rotation, supporté par un ou plusieurs paliers selon la configuration de la ligne d'arbre. Il sert de soutien et d'élément de liaison pour les autres organes de la machine. Le

rotor est assemblé sur l'arbre. Les défauts d'arbres tournants, et plus globalement de rotors sont assez courants dans les machines tournantes.

I.3.4 La courroie :

La courroie est un organe de transmission d'un arbre moteur à un arbre récepteur. Bien que leur utilisation présente certains avantages par rapport à une transmission à engrenages : moins de bruits et une usure moins importante.

I.4 Les compresseurs

I.4.1 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).

I.4.2 But de la compression

La compression en général, 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.

I.4.3 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

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,
- ✓ 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.

I.4.4 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. A travers 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.

En augmentant la compression de l'air, la température augmente et la densité diminue, 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 [5].

I.5 Les turbines

Les turbines sont des équipements mécaniques rotatifs dont la fonction « moteur » permet d'entraîner des pompes, compresseurs ou générateurs électriques dans l'industrie pétrolière.

Autres applications : propulsion aviation, marine, train, voitures (record de vitesse sur lac salé aux USA).

On peut les utiliser en position d'attente « stand –by » ou de service continu « duty »

I.5.1 Les différents types de turbines :

I.5.1.1 Turbine à vapeur :

Une turbine à vapeur est une machine qui extrait l'énergie thermique de la vapeur sous pression et l'utilise pour produire un travail mécanique de rotation de l'arbre de sortie [7].

Pour ce genre de turbines, on a un rendement qui varie entre [0.70 – 0.80], et l'énergie disponible est la vapeur fournie par des chaudières débitant dans un réseau de vapeur. A noter que ce rendement ne concerne que la turbine seule (organe de détente du cycle de camot) [6].

I.5.1.2 Turbine à combustion (TAC) :

C'est une machine tournante thermodynamique appartenant à la famille des moteurs à combustion interne [6].

Une telle turbine sert à produire soit du travail, par l'entraînement en rotation d'un arbre lui-même couplé à une machine, soit une propulsion par détente des gaz en sortie de la turbine dans une tuyère, comme dans un moteur à réaction. On distingue plusieurs types :

- ✓ Turbine à gaz avec récupération d'énergie ;
- ✓ Cycle combiné ;
- ✓ Cycle co-génération;
- ✓ Cycle régénératif.

Chapitre II

Contamination des huiles lubrifiantes par de l'eau

II.1. Introduction :

Les fonctions primaires des lubrifiants sont la réduction des frottements et de l'usure, la dissipation thermique ainsi que l'élimination des particules en suspension provoquées par le fonctionnement des systèmes mécaniques. Il doit également être stable à l'oxydation et aux variations thermiques.

Bien que la part la plus importante d'utilisation en lubrifiant réside dans les moteurs à combustion, les boîtiers de vitesse, les compresseurs, les turbines ou encore les systèmes hydrauliques, il existe cependant un nombre conséquent d'autres applications qui nécessitent dans la plupart des cas, une formulation spécifique du lubrifiant. Entre 5000 et 10000 huiles différentes sont donc présentes sur le marché pour satisfaire plus de 90% de toutes leurs utilisations possibles. Tous ces fluides sont donc des formulations d'huile de base et d'additifs (1-25%)

II.2 Classification des huiles de base :

Le choix de l'huile de base est primordial dans l'élaboration d'un lubrifiant. En effet, en tant qu'ingrédient majoritaire, il contribue significativement aux propriétés inhérentes du produit final.

Une catégorisation simplifiée des lubrifiants, axée sur l'appartenance chimique des huiles de base, permet de les classer en quatre groupes : les huiles végétales, les huiles minérales, les huiles de semi-synthèse et les huiles synthétiques [8].

II.2.1 Les huiles minérales :

Les huiles minérales sont des mélanges d'une multitude de composants [9]. Les composés majoritaires sont des hydrocarbures (alcane linéaires, ramifiés ou cycliques, alcènes, ou

encore des composés aromatiques), mais on trouve aussi de nombreux composés oxygénés, azotés et soufrés [10]

Ces huiles proviennent de la distillation du pétrole brut. D'un prix peu élevé, elles présentent des performances « moyennes ». Les huiles minérales sont, et de très loin, les plus utilisées aussi bien dans les applications automobiles qu'industrielles [11].

Dans chaque huile minérale, le carbone se trouve sous [12] :

- Structure paraffinique (C_P) : ce sont de mauvaises propriétés d'écoulement aux basses températures et ils sont stables à l'oxydation.
- Structure naphénique (C_N) : Les cycloalcanes sont moins stables à l'oxydation, mais présentent de meilleures propriétés d'écoulement aux basses températures et un meilleur pouvoir solvant que les n-alcanes [13].
- Structure aromatique (C_A) : sous formes monoaromatique ou polyaromatique, elles sont totalement différentes des molécules paraffinique et naphénique, mais jouent un rôle très important dans les propriétés d'une huile minérale [13].

On distingue deux types d'huiles minérales suivant la composition du pétrole brut :

✓ **Les huiles paraffiniques** : majoritairement composées d'alcanes, elles sont caractérisées par un bon indice de viscosité et une bonne stabilité. Disponibles dans une large gamme de viscosité, ces bases sont les plus produites dans le monde [13].

✓ **Les huiles naphéniques** : elles contiennent une proportion significative de cycloparaffines et polycycliques saturés et possèdent un faible indice de viscosité, mais de bonnes caractéristiques à basse température [13].

II.2.2 Les huiles synthétiques :

Les huiles synthétiques ont pris naissance en Allemagne et leur fabrication s'est développée au cours de la deuxième guerre mondiale. Ces bases sont des produits obtenus par réaction chimique de plusieurs composants [14]. Ces huiles, obtenues par des procédés chimiques complexes sont plus chères mais elles offrent des performances supérieures :

- I. Indice de viscosité plus élevé
- II. Meilleure stabilité thermique
- III. Meilleure résistance à l'oxydation [11-15]

Ces produits sont classés selon leurs procédés de fabrication et leurs compositions chimiques [16-17]. Plusieurs huiles synthétiques sont donc proposées sur le marché. Parmi les plus répandues [17] :

- IV. Hydrocarbures synthétiques
- V. Esters aliphatiques
- VI. Polyalkylène glycols
- VII. Esters phosphoriques
- VIII. Produits spéciaux (silicone ... etc.)

II.2.3 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) [18,19].

II.3 LES ADDITIFS

L'emploi d'additifs permet la fabrication de lubrifiants possédant un ensemble de propriétés remarquables. Ils sont présents à hauteur de 15% à 25% dans les huiles finies pour [20] :

- a. Renforcer certaines propriétés de l'huile de base.
- b. Apporter à l'huile de base des propriétés qu'elle ne possède pas naturellement.

Dans chaque famille d'additifs, il existe plusieurs types de molécules qui sont choisis par le fabricant en fonction des performances souhaitées pour le lubrifiant fini.

II.3.1 Additifs améliorant l'indice de viscosité :

Ces additifs permettent à l'huile d'être à la fois suffisamment fluide à froid (afin de faciliter le démarrage en abaissant le point d'écoulement entre -15 et -45°C) et visqueuse à chaud (afin d'éviter le contact des pièces en mouvement) [20].

II.3.2 Additifs anti-usure :

Ces additifs permettent de renforcer l'action anti-usure qu'exerce un lubrifiant vis-à-vis des organes qu'il lubrifie en formant un film protecteur entre les surfaces métalliques en mouvement [20].

II.3.3 Additifs améliorant la résistance aux chocs :

Ces additifs permettent de renforcer la résistance de l'huile aux chocs. Ils s'accrochent aux surfaces et forment un film élastique et lubrifiant qui résiste bien aux chocs. Les additifs fréquemment utilisés pour améliorer la résistance des huiles aux chocs sont les savons de plomb [20].

II.3.4 Additifs extrême pression :

Ces additifs permettent de réduire le couple de frottement et de protéger les surfaces des fortes charges. Ils Apportent au lubrifiant des propriétés de glissement spécifiques, en particulier aux organes équipés d'engrenages ou de garnitures de friction travaillant dans l'huile (boîtes à vitesse, manuelles ou automatiques, freins immergés, etc) [20].

II.3.5 Additifs antioxydants :

Ces additifs permettent de supprimer ou de ralentir les phénomènes d'oxydation du lubrifiant. Ils contribuent aussi à l'espacement des vidanges par une meilleure tenue aux hautes températures. Les anti-oxydants multiplient par 10 ou plus la résistance de l'huile à l'oxydation [20].

II.3.6 Additifs anticorrosion

Ces additifs empêchent l'attaque des métaux ferreux par les oxydes, résultant à l'action conjuguée de l'eau et de l'oxygène de l'air, ou ceux formés lors de la combustion. Ils agissent en formant un film protecteur sur les surfaces des pièces à protéger [20].

II.3.7 Additifs de basicité :

Ces additifs neutralisent les résidus acides de combustion des carburants au fur et à mesure de leur formation.

Les phénols et les sels basiques (les carbonates ou les hydroxydes) sont les principaux additifs utilisés pour le renforcement du pouvoir neutralisant des huiles [20].

II.3.8 Additifs détergents :

Les sels métalliques de calcium ou de magnésium sont les additifs les plus utilisés pour augmenter la propriété détergente des huiles.

Ces additifs permettent d'éviter la formation de dépôts ou de vernis sur les parties les plus chaudes du moteur telles que les gorges des pistons [20].

II.3.9 Additifs dispersants :

Généralement les esters et leurs dérivés sont les additifs les plus utilisés pour assurer la dispersion des particules solides dans les huiles.

Ces additifs permettent de maintenir en suspension toutes les impuretés solides formées au cours du fonctionnement de la machine. Ils empêchent les résidus solides de s'agglomérer et ainsi limitent le risque de dépôt (boues) dans les parties froides du moteur (carter) [20].

II.3.10 Additifs anti-mousses :

Ils provoquent l'éclatement des bulles et empêche leur accumulation à la surface de l'huile. Généralement les silicones sont utilisées pour empêcher le moussage de l'huile [20].

II.3.11 Additifs anti-congelant :

Ces additifs permettent aux lubrifiants de garder une bonne fluidité à des basses températures (de -15 à -45°C). Ils agissent sur la vitesse et le processus de cristallisation du lubrifiant [20].

II.3.12 Retardateur de décomposition des joints :

Ces additifs permettent de protéger les joints d'étanchéité contre le durcissement et de contrôler leur gonflement [20].

II.4 Propriétés des huiles :

II.4.1 Propriétés physiques

II.4.1.1 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 [21].

II.4.1.2 Viscosité dynamique

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 [21]: Masse volumique

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

μ : viscosité dynamique ; ρ : Masse volumique ; ν : Viscosité cinématique

II.4.1.3 Viscosité cinématique

Paramètre obtenu 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 [21].

II.4.1.4 indices de viscosité

L'indice de viscosité permet de donner une idée sur la variation de la viscosité de l'huile en fonction de la température. La notion d'indice de viscosité (VI = viscosity index) a été conçue en 1929 par Dean et Davis [21]. Mettant 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 respectivement.

L'indice de viscosité se calcule par la formule suivante [21] :

$$VI = 100 \frac{L-U}{L-H} \text{ (voir l'annexe A)}$$

II.4.1.5 La 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. 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 [21].

II.4.1.6 La 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 [21].

II.4.1.7 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.

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.[21]

II.4.2 Propriétés chimiques

II.4.2.1 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*) [21].

II.4.2.2 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 [21].

II.4.2.3 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 [22].

II.5 Contaminations des huiles par l'eau

La contamination des lubrifiants peut entraîner une perturbation importante des performances des organes de guidage et de support des machines tournantes, en augmentant notamment la puissance dissipée ainsi que la température de fonctionnement. Dans les cas les plus sévères, ce problème de pollution peut conduire à une usure prématurée voire à une défaillance des paliers et des butées. Plusieurs types de polluants peuvent être à l'origine de la dégradation des conditions de lubrification. On distingue par exemple, les pollutions par particules solides comme les poussières et les particules d'usure ou de rouille. Ce genre de

pollution s'avère le plus nocif et doit par conséquent être arrêté dès la constatation des premiers symptômes. D'autre part, la pollution par l'eau, objet de cette étude, constitue l'un des contaminants les plus répandus et les plus dangereux, se classant juste après les pollutions par particules solides [23].

II.5.1 L'origine de l'eau dans l'huile lubrifiante :

Ce paragraphe présente un classement des différents modes de pénétration de l'eau dans les circuits de lubrification ou modes de contamination. Certains de ces modes sont communs à plusieurs domaines de l'industrie, comme par exemple la condensation de la vapeur d'eau contenue dans l'air, au niveau des réservoirs d'huile qui sont souvent exposés à l'air ambiant afin de les conserver à la pression atmosphérique. Cette condensation résulte surtout du changement cyclique de température « jour-nuit » qui rend ce phénomène continu et non limité. En corrélation avec ce phénomène, il faut tenir compte de l'absorption directe par le lubrifiant de la vapeur d'eau à partir de l'air : comme l'a montré Bloch [24], cette absorption dépend énormément de la température et de l'humidité relative du milieu ambiant (voir figure II.1 a et II.1 b)

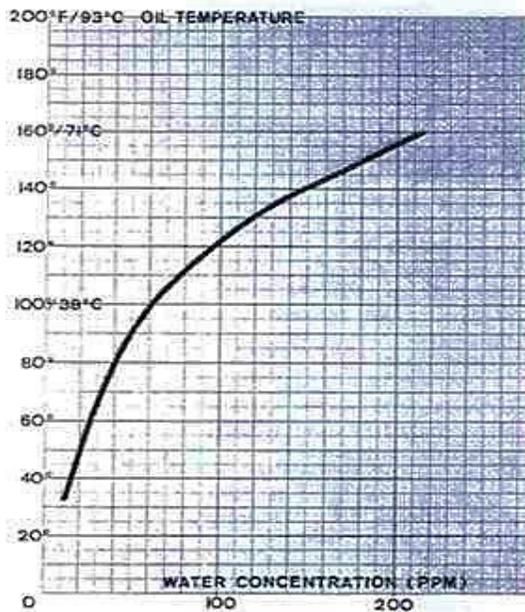


Figure II.1a : Evaluation de l'absorption de la vapeur d'eau par l'huile en fonction de l'humidité relative à 38°C [21]

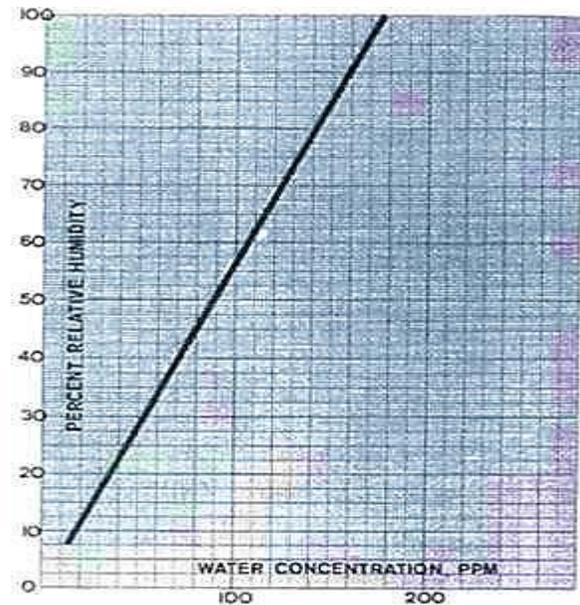


Figure II.1b : Evaluation de l'absorption de la vapeur d'eau par l'huile en fonction de la température pour une humidité relative égale à 40% [21]

D'autres modes de contamination peuvent apparaître dans des cas plus spécifiques, comme ceux résultant des défauts d'étanchéité, séparant l'huile de l'eau, dans les turbines de navires ou de sous-marins. Des défauts d'isolation entre l'huile et l'eau ou la vapeur d'eau sont fréquents aussi dans le monde des alternateurs électriques et des turbines à vapeur. Des endommagements dans les circuits de refroidissement, surtout au niveau des échangeurs thermiques, peuvent conduire à des pénétrations d'eau plus importantes dans les circuits de lubrification.

Un dernier de ces modes de contamination provient d'une procédure volontaire de maintenance, il concerne le cas des paquebots dont les circuits d'huile sont menacés par une autre contamination : le sel marin. Une ancienne méthode, pour débarrasser l'huile de son acidité, est connue par les responsables de maintenance de ces paquebots : le rinçage de l'huile par de l'eau suivi d'une centrifugation pour séparer l'eau. En 1961, Bryce et Roehner [25] ont préconisé des conditions pour ce rinçage afin de présenter une solution efficace pour débarrasser l'huile du sel marin qu'ils ont jugé très nocif. La centrifugation ne pouvant pas débarrasser parfaitement l'eau de l'huile, l'existence de petites quantités d'eau dans les circuits d'huile, après cette maintenance, ne peut être évitée.

Ces informations s'avèrent suffisantes pour confirmer que, dans la majorité des cas, la pollution aqueuse des circuits de lubrification est inévitable. Par conséquent, les industriels ont recours à des mesures fréquentes, afin de connaître en permanence la quantité d'eau contenue dans leurs circuits. Après comparaison avec le seuil maximal permis, ils peuvent décider de changer l'huile au moment convenable, afin de respecter les consignes de sécurité.

II.5.1.1. les différentes formes d'eau dans l'huile contaminée

L'eau se trouve dans l'huile sous trois formes [26] :

- ❖ **Eau dissoute** : En dessous du niveau de saturation, les molécules d'eau sont dispersées à côté des molécules d'huile. De ce fait, de l'eau va se trouver dans l'huile sans être visible pour autant. Ce type d'eau est appelé eau dissoute et il est considéré comme étant le moins nocif pour un système de lubrification.

- ❖ **Eau émulsionnée** : Lorsque la quantité d'eau dissoute dépasse le point de saturation, l'huile ne sera plus capable d'absorber plus de molécules d'eau, ce qui entraîne l'eau émulsionnée. Cela se caractérise par un aspect trouble de l'huile.
- ❖ **Eau libre** : Une autre tranche de teneur en eau dans l'huile se traduit par des niveaux séparés entre l'huile et l'eau.

Cependant, l'eau émulsionnée sera également présente dans une phase intermédiaire, en continuant à circuler dans le système de lubrification.

La Figure II.2 montre les différentes formes d'eau qu'on peut trouver (dissoute, émulsionnée et libre).

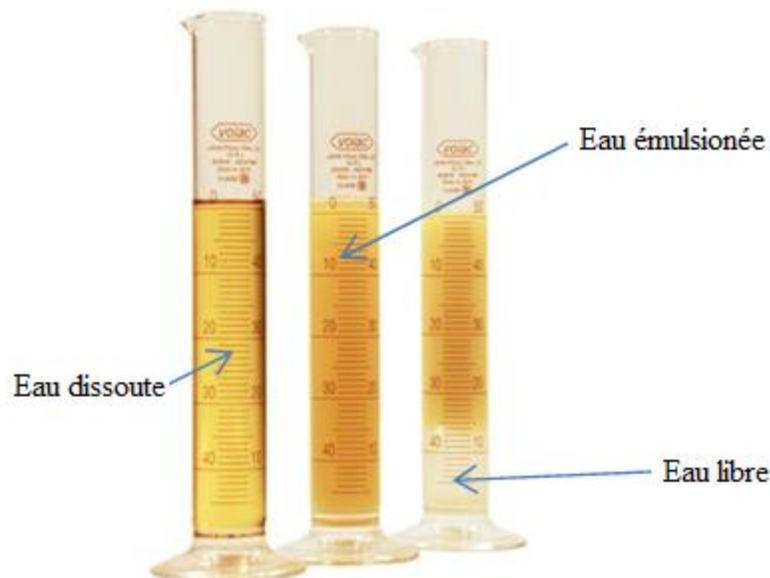


Figure II.2: Eau dissoute, Eau émulsionnée et Eau libre.

Le niveau de saturation de l'huile est important, car celui-ci détermine la quantité d'eau nécessaire pour qu'une émulsion se développe. Le niveau de saturation dépend du type d'huile de base, des additifs, de la température et de la pression. Une huile minérale hautement raffinée avec un niveau d'additif minimum à un niveau de saturation d'environ 100 parties par million (ppm) à 70 ° F, tandis que les fluides hydrauliques à base d'ester peuvent avoir des niveaux de saturation de plus de 3000 ppm à 70 ° C.

La figure II.3 Représente une courbe du niveau de saturation d'un lubrifiant de type turbine (concentration en eau (PPM)) en fonction de la température (F°).

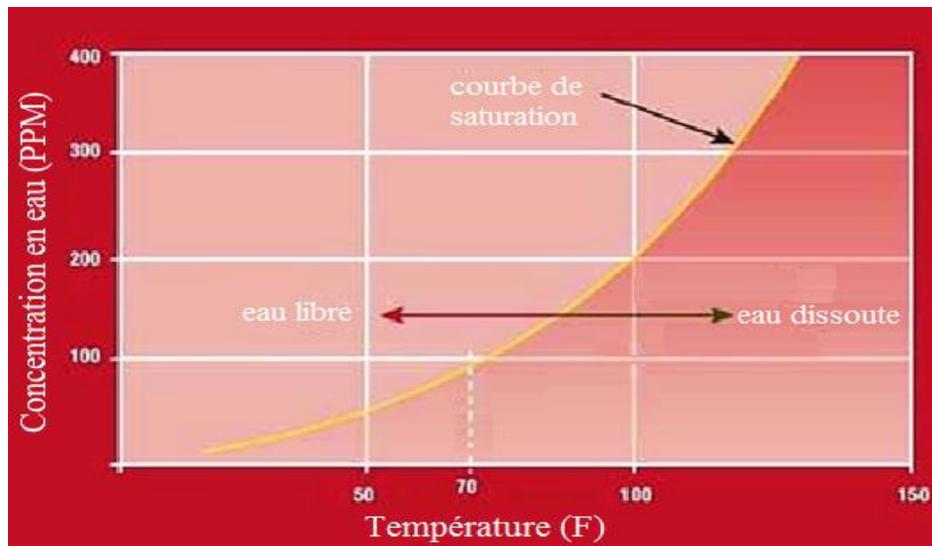


Figure II.3: Courbe de saturation pour une huile de lubrification d'une turbine type (graphe de Noria Corp) [26].

II.5.2 Les types de dommages causés par l'eau existante dans l'huile lubrifiante :

La présence de l'eau dans l'huile peut engendrer la destruction des propriétés physiques et chimiques bénéfiques et caractéristiques de l'huile ce qui peut aussi endommager les composants de la machine.

D'après une étude faite par Cantley en 1977 [26], il est estimé que la vie d'un roulement peut être étendue par un facteur de cinq si l'huile ne contenait que 25 ppm d'eau par rapport à 400 ppm, à proximité du niveau de saturation de l'huile à une température d'essai de 150 °F .

La figure II.4 montre l'adaptation des conclusions de Cantley et de la forte corrélation entre la teneur en eau(ppm) et la vie des organes (%).

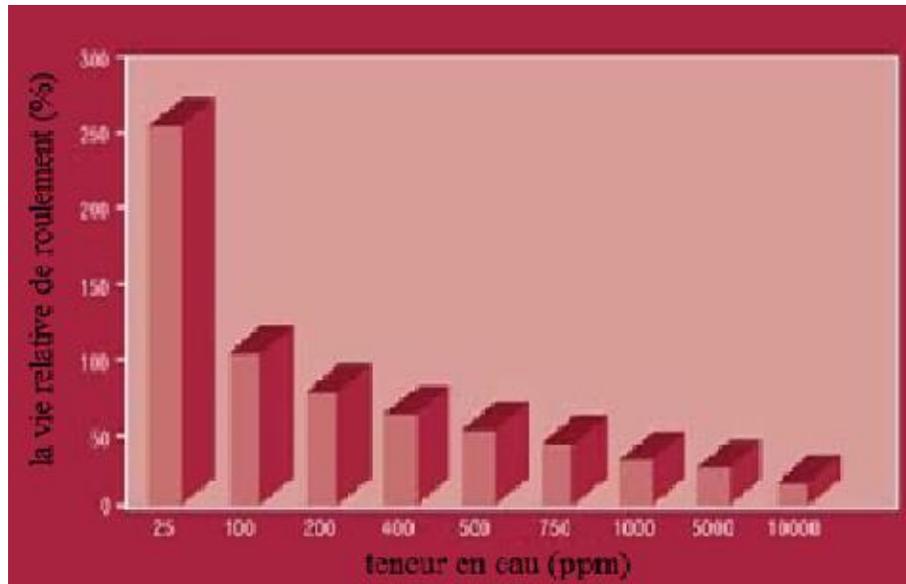


Figure II.4 : La relation entre la vie relative de roulement et la teneur en eau dans l'huile (graphique de Noria Corp) [26].

La figure II.5 illustre les taux d'usure relative des systèmes similaires fonctionnant avec différentes quantités d'eau dans l'huile. Il montre que le taux d'usure des composants est en corrélation directe avec la teneur en eau dans l'huile.

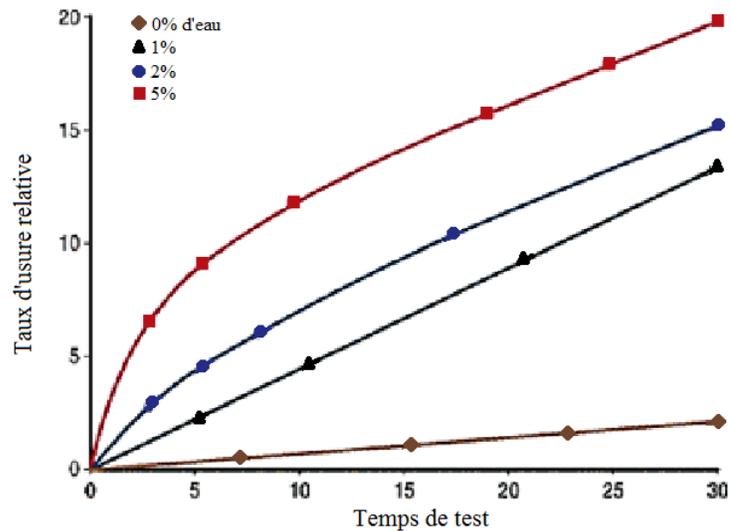


Figure II.5: Taux d'usure relative en fonction du temps(jours) de test pour le roulement (graphique de Noria Corp)

II.5.3 Les paramètres qui définissent la saturation de l'huile en eau :

La définition d'un niveau d'eau dangereux dans une huile est très importante pour la fiabilité de la machine. La mise en place de niveaux, combiné avec des tests à des intervalles appropriés, permettra à l'utilisateur final d'agir rapidement s'il détecte une augmentation soudaine de l'eau.

La meilleure pratique consiste à maintenir la quantité d'eau au même niveau ou en-dessous de la moitié du niveau de saturation de l'huile à sa température de fonctionnement. Par exemple, si le niveau de saturation est de 1000 ppm à 50 ° C, le niveau d'avertissement doit être réglé à 500 ppm, avec le niveau critique à 1000 ppm.

Le tableau 1 représente les niveaux d'eau dissoute, émulsionnée et libre dans l'huile qui sera prévu pour les différents types d'huiles. Il est important de connaître le type d'huile de base, les additifs, la température de fonctionnement et la pression avant d'établir le niveau d'alarme.

Tableau III.1: Niveau d'eau dissoute, émulsionnée et libre pour différents types d'huiles[26]

Pétrole	Dissoute (ppm)	Émulsionnée (ppm)	Libre (ppm)
Nouveau fluide hydraulique	0-200	200-1000	> 1000
Ancien fluide hydraulique	0-600	600-5000	> 5000
Nouvelle huile	0-150	150-500	> 500
Ancienne huile	0-500	500-1000	> 1000
Nouvelle huile de carter	0-2000	2000-5000	> 50000

II.6 Effets de la pollution des lubrifiants par l'eau :

La littérature permet de trouver une grande diversité des effets de la pollution par de l'eau sur les performances de mécanismes lubrifiés. La plupart de ces effets furent présentés dans les travaux d'Alain Eachus [27] en 2005. Afin d'établir un ordre de priorité parmi ces effets, nous les groupons selon deux catégories : effets à court terme et effets à long terme.

II.6.1 Effets à court terme :

II.6.1.1 Altération de la viscosité :

La viscosité de l'eau étant largement plus faible que celle des huiles de lubrification, un mélange huile/eau peut avoir une viscosité plus faible que celle de l'huile. Dans ce cas, une lubrification par ce mélange aboutira à des épaisseurs de film plus petites que celles obtenues avec de l'huile pure [27]. Cela augmente la probabilité d'aboutir au contact entre les pièces en mouvement ou au contact entre ces pièces et les particules transportées dans le film, dans le cas de l'existence de particules.

Pendant, dans le domaine de la lubrification élastohydrodynamique (EHD), la présence de l'eau n'est pas significativement nuisible à la hauteur du film. En effet, les pressions élevées et les vitesses assez faibles empêchent l'eau d'entrer dans l'entrefer lubrifié. Ainsi, comme l'ont montré Hamaguchi *et al.* [28] en 1977, une réserve d'huile propre est formée au niveau de l'entrefer, assurant une épaisseur de film invariante quelle que soit la concentration d'eau au départ, et ce jusqu'à au moins 40% d'eau. En 1988, Nakahara *et al.* [29] ont réalisé des mesures et observations optiques d'un contact **EHD** formé par un plan transparent et un rouleau en acier. Ils ont pu observer les trajectoires des gouttes d'eau et la formation de la réserve d'huile, au sein du contact, qui est devenue une évidence. En 1994, Zhu *et al.* [30] ont évalué la variation d'épaisseur du film d'huile en fonction de la vitesse pour une même concentration. Il a été montré que, pour les grandes vitesses, l'eau peut être entraînée avec l'huile au sein de l'entrefer, induisant ainsi une épaisseur de film plus mince que celle obtenue avec de l'huile pure.

II.6.1.2 Cavitation :

Eachus [31] décrit que la présence de l'eau dans l'huile améliore l'entraînement des bulles d'air par l'huile, favorisant ainsi les phénomènes de cavitation, surtout au niveau des surfaces de lubrification. De plus, l'auteur explique un phénomène spécifique de cavitation dû à la présence de la vapeur d'eau dans les circuits de lubrification : quand cette dernière arrive dans les zones de grande pression, elle subit une condensation brusque et passe à l'état liquide, créant ainsi une sorte d'implosion laissant des micro-piqûres au niveau des surfaces internes des paliers.

II.6.1.3 Paralysie des additifs :

Selon Eachus [31], l'eau peut changer les propriétés de l'huile, rendant certains additifs insolubles. Ces additifs, ajoutés à l'huile pour inhiber la corrosion et l'oxydation de l'huile ou pour éviter la formation de mousses, deviennent alors totalement inactifs.

II.6.2 Effets à long-terme :

II.6.2.1 Corrosion des revêtements internes :

En 1961, Bryce et Roehner [32] ont montré qu'en présence du sel de mer, l'eau peut provoquer la corrosion de l'étain qui constitue les revêtements internes des paliers (régule) bien que celui-ci soit connu comme un métal inoxydable. Ils ont montré qu'en présence d'eau salée, l'étain subit une ionisation qui déclenche son oxydation. L'oxyde d'étain forme alors une couche superficielle qui se caractérise par une dureté importante. Dans une première étape de corrosion, les surfaces du métal perdent leur brillance et présentent des taches grises ou noires. Ensuite, dans des étapes plus avancées, les surfaces du métal commencent à s'écailler, aboutissant à la défaillance des paliers.

II.6.2.2 Oxydation des métaux :

Les gouttes d'eau qui pénètrent les circuits d'huile peuvent se décanter dans des zones mortes où l'écoulement n'est pas assez fort pour les entraîner. La présence des antioxydants dans l'huile s'avère insuffisante et de petites oxydations se déclenchent, aboutissant à la formation de rouille. Ce phénomène est bien expliqué dans le travail présenté par McDonalds en 1965 [33], dans lequel il a ajouté que l'eau peut accélérer la dégradation des antioxydants. Il a également montré que les particules de rouille peuvent avoir différentes dimensions, dépendant des dimensions de la goutte d'eau immobile qui les a formées. Ainsi, les petites particules sont entraînées avec l'écoulement du lubrifiant formant avec lui un fluide extrêmement abrasif. Quant aux grandes particules de rouille, elles peuvent rester inertes et immobiles, mais elles peuvent aussi atteindre les pompes qui les écrasent et les transforment en des particules plus petites qui seront entraînées aussi. Dans les deux cas, l'usure des surfaces des paliers sera inévitable.

Eachus [31] a ajouté que les gouttes d'eau tendent à s'immobiliser au niveau des surfaces métalliques surtout lorsque ces dernières sont hydrophiles. Ainsi, ces surfaces seront localement dépourvues du contact avec la couche d'huile qui les protégeait avant.

II.6.2.3 Propagation de fissures :

La présence de l'eau à proximité des surfaces métalliques peut déclencher un phénomène nuisible à ces surfaces connu sous le nom de « Hydrogen Embrittlement » : les molécules d'eau pénètrent par capillarité dans les micro-fissures du métal, où elles seront cassées à cause de la grande pression et du contact direct avec le métal. Il en résulte des atomes d'hydrogène libres qui s'accumulent dans les fissures, augmentent davantage la pression dans ces dernières et contribuent finalement à leur propagation. En 1968, Schatzberg et Felsen [34] ont montré expérimentalement qu'une quantité d'eau inférieure au taux de saturation de l'huile (100 ppm par exemple) est suffisante pour provoquer ce phénomène.

II.6.2.4 Micro-piqûres par arcs électriques :

Une caractéristique importante de l'huile est altérée lorsque celle-ci est polluée par de l'eau: c'est la résistance au courant électrique. En 2000, Prashad [35] a montré que la présence d'eau dans l'huile fait diminuer le seuil critique de la tension qui autorise le passage du courant. En effet, les axes tournants des machines électriques sont souvent chargés par un certain potentiel électrique. Une fois que ce potentiel dépasse un certain seuil, qui dépend de la résistivité du film d'huile, il se décharge sous forme d'arcs électriques causant des piqûres au niveau des surfaces internes des paliers et des butées. Prashad [36] a également montré que le remplacement de l'huile contaminée empêche les arcs électriques et augmente la durée de vie des paliers.

Dans des travaux précédents [37], l'auteur avait expliqué les origines de ce potentiel électrique : les défauts d'enroulement des fils électriques ou leur mauvaise alimentation peuvent causer une non- symétrie magnétique qui induit, suite à la rotation, une tension électrique entre les axes et leurs supports statiques.

II.6.2.5 Oxydation de l'huile et attaque des additifs :

Selon Eachus[31], l'eau peut provoquer l'oxydation de l'huile ou réagir chimiquement avec certains de ses additifs produisant, dans les deux cas, des acides corrosifs qui attaquent les surfaces internes des paliers.

II.6.2.6 Dégradation biologique :

En outre, une concentration en eau de 500 ppm peut être suffisante pour assurer une ambiance favorable au développement de certaines bactéries qui se nourrissent des additifs et laissent des déchets acides qui vont altérer les surfaces [31].

La présence de l'eau dans les circuits de lubrification est donc nuisible au fonctionnement et peut aboutir à la défaillance des organes de guidage des machines tournantes. En 1976, Wilson [38] a montré que la présence d'eau peut bloquer le mouvement de certains organes mécaniques, comme les soupapes ou les pistons. De tels organes étant complémentaires au fonctionnement de grandes machines, leur blocage peut conduire à des défaillances catastrophiques de celles-ci. Wilson [38] souligne que les tests ou les essais de ces machines avant le fonctionnement n'éliminent pas le danger, l'eau étant susceptible de continuer à pénétrer le circuit d'huile lors du fonctionnement.

Cantley [39] aussi a évalué l'effet de la teneur en eau du lubrifiant sur la durée de vie des roulements à billes. Dans une expérience à l'échelle réelle, il a comparé l'influence de trois concentrations d'eau différentes (25 ppm, 100 ppm et 400 ppm) sur les performances d'un roulement à billes alimenté par une huile SAE 20. Il a conclu que la présence de l'eau diminue la durée de vie des roulements à billes.

Chapitre III

Partie expérimentale

III.1. Matériel et méthodes :

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 :**

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.

- **La contamination :**

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 [20]

III.1.1 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.

III.1.2 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 [40].

III.1.3 Contrôle et surveillance des huiles lubrifiantes

Dans cette partie, nous présentons les modes opératoires des essais qui ont été effectués sur les huiles du centre de recherche et de développement CRD de Boumerdes (la Division gisement) afin de déterminer leurs caractéristiques physico-chimiques.

Les modes opératoires pour la mesure de chaque propriété sont expliqués dans ce chapitre et les appareils utilisés sont présentés dans l'ANNEXE A. Les différents essais effectués sur les huiles lubrifiantes, sont décrit ci-dessous :

III.1.4 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 (voir ANNEXE A.2).

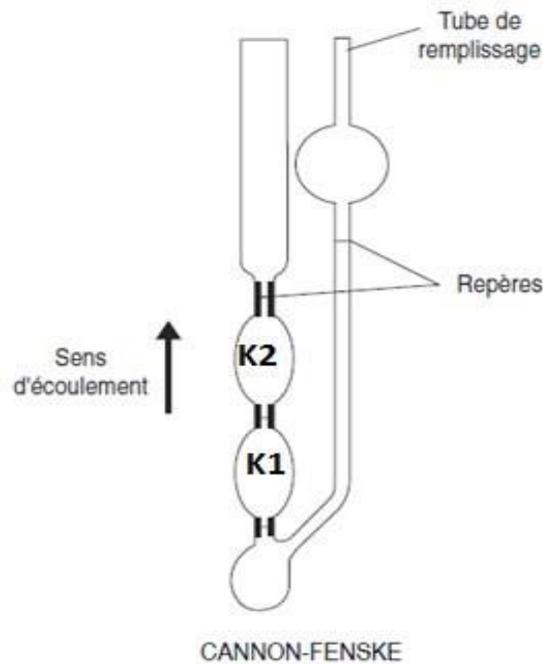
- **Principe :**

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 constantes. 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 à examiner :

- 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.



FigureIII-1 : viscosimètre Cannon FENSKE

- **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 on laisse l'échantillon se fixer tout en prenant la température du bain.

Une fois l'équilibre atteint, on enlève le bouchon et on laisse l'huile monter jusqu'au premier trait de repère.

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, 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 :

$$\vartheta = \frac{(k1 \times T1 + k2 \times T2)}{2}$$

ϑ : la viscosité cinématique (cst)

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.

III.1.5 Point d'éclair :

La détermination de cette propriété est basée sur la norme **ASTM D 93 (voir ANNEXE A.3)**

Principe :

La prise d'essai est placée dans le vase d'un appareil automatique 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.

Mode opératoire :

- On remplit 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.

III.1.6 Point d'écoulement

La détermination de cette propriété est basée sur la norme **ASTM D97/ ISO 3016**.
(Voir ANNEXE A.4)

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.

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 du 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 du 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 supérieure 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.

III.1.7 Indice d'acidité :

La détermination de la teneur est régie par la norme **ASTM 974/ ISO 6618**(voir **ANNEXE A.6**)

Principe :

La prise d'essai est dissoute dans 100 ml du solvant de titrage (5ml eau distillé , 495ml Ethanol , 500ml Toluène) . La solution obtenue est titrée avec une solution d'hydroxyde de Potassium (KOH) alcoolique en présence d'un indicateur coloré (Bleu alcalin) 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)

$$\text{Indice d'acidité} = \frac{(V1 - V0) \times N_{KOH} \times 56.1}{M}$$

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.

III.1.8 Teneur en eau et sédiments (BSW) :

Cette propriété a été déterminée selon la norme **ASTM 1796, ISO 3734 (Voir ANNEXE A.5)**

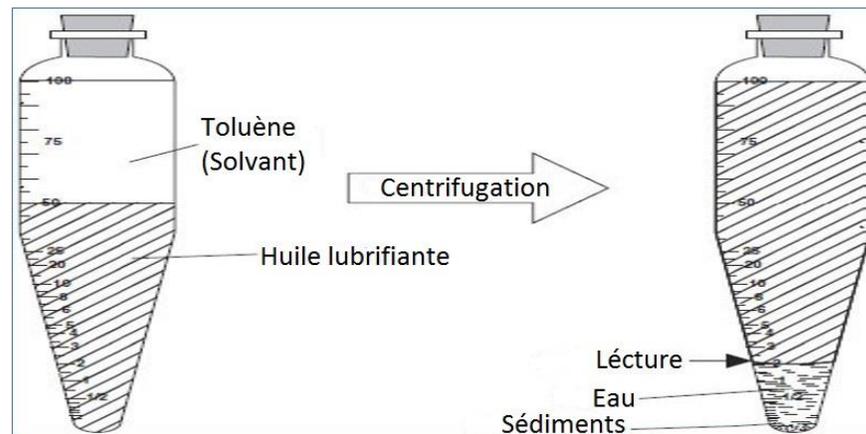


Figure III.2 : Les tubes de centrifugation

Principe :

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

Mode opératoire :

- La prise d'essai utilisée doit être représentative de l'échantillon ce qui 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 on lit la graduation correspondante au dépôt : eau +sédiments.
- On refait la centrifugation jusqu'à ce que le niveau lu reste constant.

III.1.9 Couleur :

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

Principe :

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

Mode opératoire :

- On remplit le tube à essai avec une prise d'essai et on compare 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.

III.1.10 La Masse volumique :

Il existe plusieurs appareillages pour 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 suivie la norme **ASTM D 4052/ISO 12185. (Voir ANNEXE A.1)**

Principe :

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

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 celles-ci faussent 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) 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 vers le silicagel placé à l'entrée de la cellule jusqu'à la stabilisation de l'écran d'affichage à 0.0012 g/cc

III.1.11 Teneur en eau par Karl Fisher :**Principe :**

Le principe de cette méthode consiste à déterminer la quantité d'eau contenue dans les huiles en ppm (Volume). (**Voir ANNEXE A.7**)

La détermination de la quantité d'eau se fait par neutralisation de l'eau présente par le I₂ selon la réaction suivante :



L'eau présente dans l'échantillon réagit par oxydo-réduction avec le I₂ présent dans notre solvant de titrage, et en connaissant la normalité du I₂, l'appareil tire automatiquement la quantité d'eau.

Mode opératoire :

- On prend une quantité de notre échantillon à analyser avec une seringue
- On pèse la seringue pleine (seringue + échantillon)
- On injecte l'échantillon dans l'appareil puis on pèse une autre fois la seringue pour tirer la masse de l'échantillon injectée.
- On introduit cette valeur dans l'appareil à travers l'écran digital
- On attend que le résultat s'affiche automatiquement.

III.2. Résultats et discussions

III.2.1. Suivi des huiles de machine au CRD :

Durant ce travail on a suivi l'évolution des paramètres physico-chimiques des huiles lubrifiantes sur une période de 4 ans (entre décembre 2016 et juin 2019). A un moment donné, et cela dépend de la machine, et de l'état de l'huile (paramètres physico-chimiques), il est nécessaire de faire un appoint (changement ou rajout d'huile lubrifiante).

Pour cette partie du travail on a effectué un stage au laboratoire de la division gisement au niveau du CRD SONATRACH, ou on a étudié trois types d'huiles lubrifiantes de machines (Turbocompresseur et compresseur d'air).

Notre but était de suivre la variation de la viscosité à 40°C et à 100°C, l'indice de viscosité, l'acidité, la masse volumique à 15°C, qui sont des paramètres liés directement à la contamination des huiles par l'eau.

Les huiles en question sont [TORBA 46(CD-601, CD-603) ; FODDA 68 (PT401-03) destinés aux turbocompresseurs et l'huile TEXACO 46 (CD-301B) destinés aux compresseurs, dont les caractéristiques physico-chimiques sont représentées sur les fiches techniques, voir l'annexe B.

III.2.1.1. Suivi de l'huile TORBA 46 pour turbo compresseur CD-601 :

❖ Effet sur la viscosité à 40°C et 100°C :

Les analyses de la viscosité à la température de 40°C puis à 100°C ont été effectuées sur un viscosimètre de type Cannon FENSKE, on a pu faire l'analyse à partir de décembre 2016 jusqu'à juin 2019. Les valeurs des périodes précédentes ces dates nous ont été transmises par le laboratoire. Les résultats de l'analyse sont regroupés sous forme de courbe sur la **figure III-3** Pour la viscosité à 40°C et la **figure III-4** pour la viscosité à 100°C.

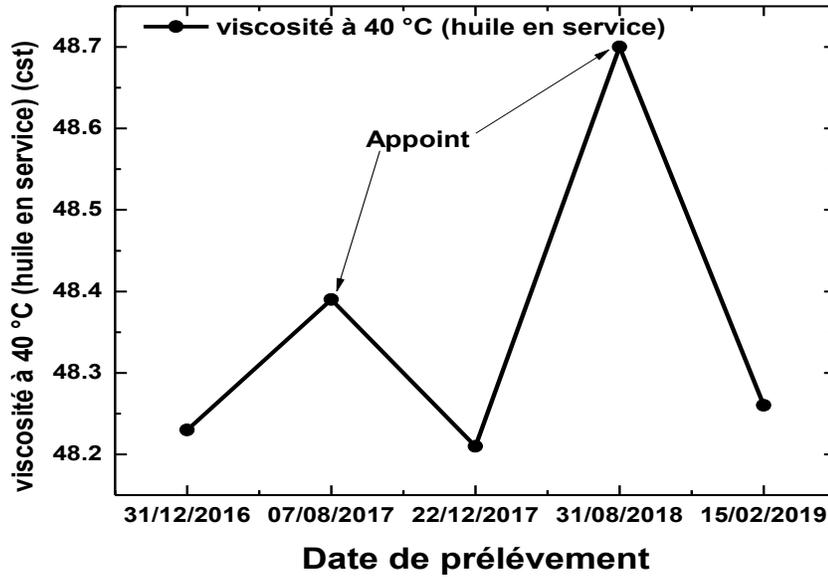


Figure III-3 : Suivi de l'évolution de la viscosité de l'huile en service (TORBA 46 dans un turbo compresseur) à 40°C en fonction de temps.

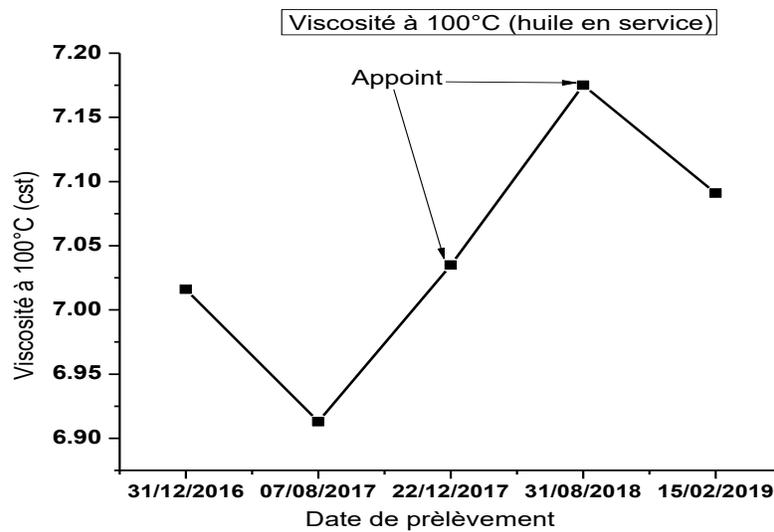


Figure III-4 : Suivi de l'évolution de la viscosité de l'huile en service (TORBA 46 dans un turbo compresseur) à 100°C en fonction de temps

Sur le graphe de la **figure III-3** ; on a suivi l'évolution de la viscosité de l'huile en service (TORBA46 pour le turbocompresseur CD-601) à 40°C, les deux valeurs minimales et maximales (41.1 cSt – 50.6 cSt) qui sont fixées par les spécifications sont prises comme référence.

On remarque à partir de ce graphe que la viscosité de l'huile en service est supérieure à celle de l'huile neuve qui est de 45.2 cSt, tout en restant dans la fourchette des spécifications. On remarque aussi que la viscosité augmente fréquemment et se voit diminuer après chaque appoint d'huile.

La viscosité de l'huile en service exprimé sur la **figure III.4** est supérieure à celle de l'huile neuve tout en restant presque fixe mis à part une légère diminution en août 2017 et une légère augmentation en août 2018.

❖ L'indice de viscosité :

Durant notre travail on a pu suivre l'évolution de l'indice de viscosité d'une huile en service (TORBA 46 pour le turbocompresseur CD-601) en fonction du temps. La valeur minimale (93) fixée par les spécifications est prise comme référence. Les résultats sont représentés sur la **figureIII-5**

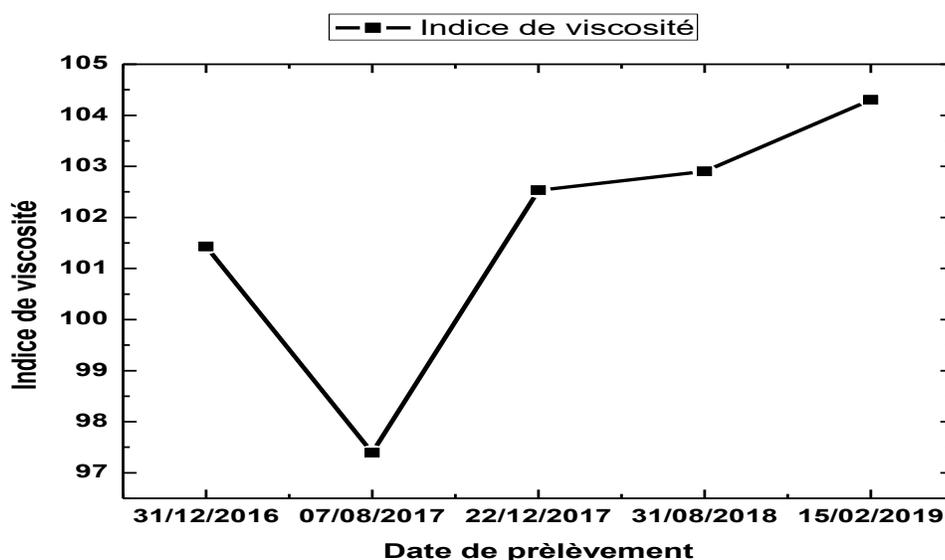


Figure III-5 : suivi de l'évolution de l'indice de viscosité pour l'huile en service (TORBA 46 pour le turbocompresseur CD-601) en fonction du temps.

On remarque à partir du graphe de la **figure III-5** que l'indice de viscosité de l'huile en service est légèrement supérieur à celui de l'huile neuve en décembre 2016, puis il a commencé à diminuer pour atteindre une valeur minimale de (97.39) en août 2017, puis elle augmentera juste après pour atteindre une valeur maximale de 104.3 en février 2019.

❖ L'indice d'acidité :

L'évolution de l'indice d'acidité (Total Acid number TAN) de l'huile en service (TORBA 46 pour le turbocompresseur CD-601) en fonction du temps. La valeur maximale (0.14 mgKOH/g) fixée par les spécifications est prise comme référence. Le graphe de la **figure III-6** regroupe sous forme tracé les résultats de l'indice d'acide aux différentes périodes.

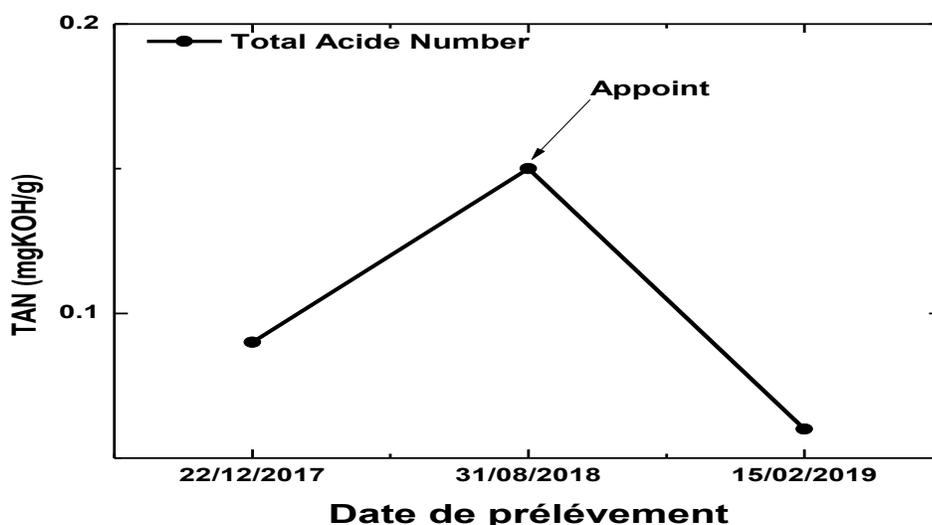


Figure III-6: suivi de l'évolution de l'indice d'acidité pour l'huile en service (TORBA 46 pour le turbocompresseur CD-601) en fonction du temps.

On remarque à partir du graphe de la **figure III-6** que l'indice d'acidité de l'huile en service est inférieur à celui de l'huile neuve en décembre 2017, puis il a commencé à augmenter pour atteindre une valeur maximale de (0.15 mgKOH/g) en août 2018 en dépassant la spécification maximale, puis elle baissera juste après jusqu'à une valeur minimale de <<0.06 mgKOH/g>> en février 2019.

❖ La masse volumique à 15°C :

Un des paramètres à suivre durant notre travail était l'évolution de la masse volumique de l'huile en service (TORBA 46 pour le turbocompresseur CD-601) en fonction du temps. Les valeurs minimales et maximales (0.860 kg/l – 0.875 kg/l) fixées par les spécifications sont prises comme référence. Le graphe de la **figure III-7** présente les résultats du suivi.

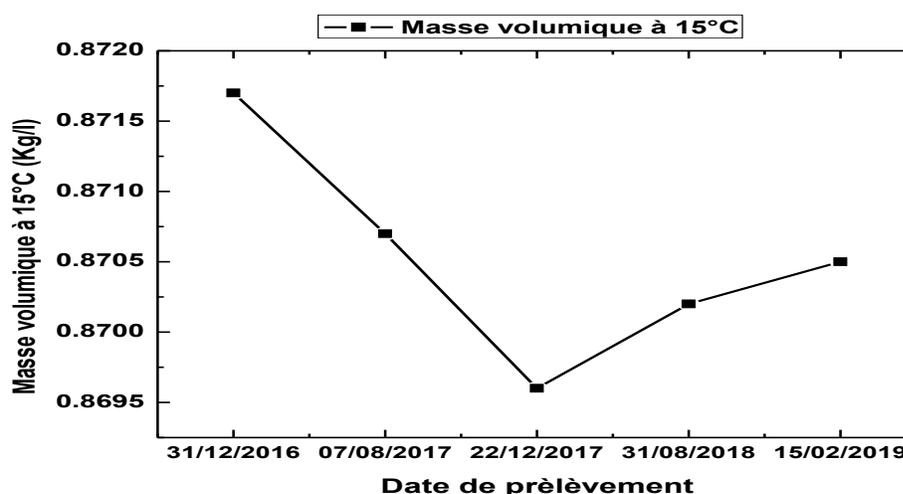


Figure III-7 : Suivi de la masse volumique à 15°C pour l'huile en service (TORBA 46 pour le turbocompresseur CD-601) en fonction du temps.

Il est à remarquer sur le graphe de la **figure III-7** que la masse volumique de l'huile en service dépassait légèrement celle de l'huile neuve en décembre 2016, puis elle commence à diminuer après une période de service de six mois pour atteindre une valeur égale à celle de l'huile neuve (0.8703 Kg/l) en décembre 2017 pour ensuite augmenter une autre fois et atteindre une valeur de (0.8705 Kg/l).

III.2.1.2. Suivi de l'huile TORBA46 pour turbo compresseur CD-603:

❖ Effet sur la viscosité à 40°C et 100°C :

L'évolution de la viscosité de l'huile en service (TORBA46 pour le turbocompresseur CD-603) à 40°C et à 100°C en fonction du temps nous a permis de tracer la courbe exprimée

sur la **figureIII-8** et la **figureIII-9**, Les deux valeurs minimale et maximale (41.4 cSt – 50.6 cSt) qui sont fixées par les spécifications sont prises comme référence.

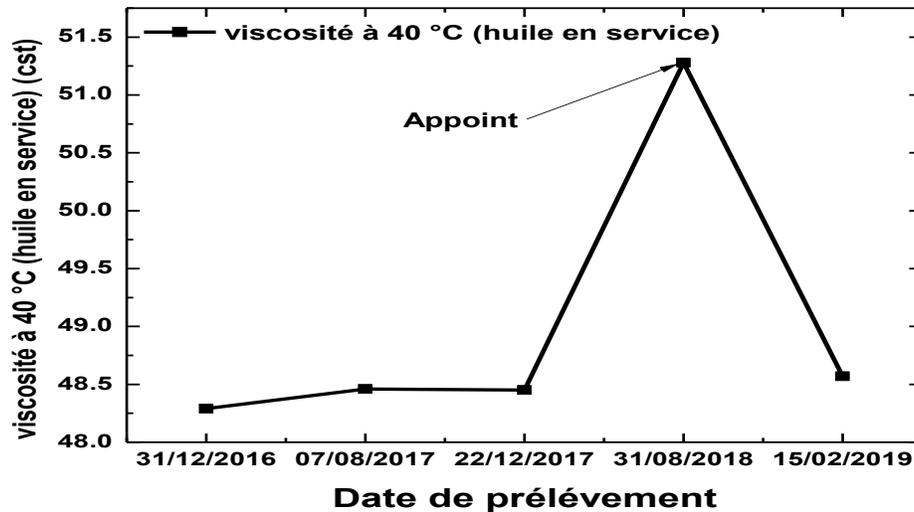


Figure III-8 : Suivi de l'évolution de la viscosité de l'huile en service (TORBA 46 dans un turbo compresseur) à 40°C en fonction du temps

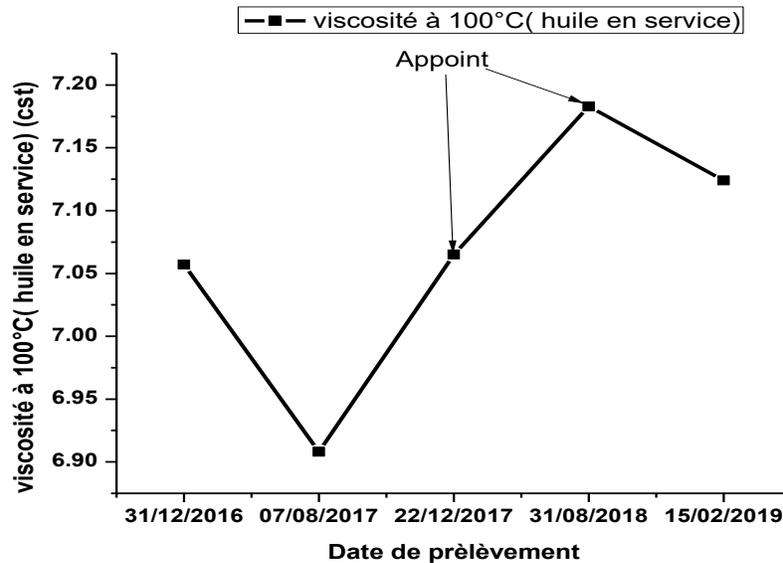


Figure III-9 : Suivi de l'évolution de la viscosité de l'huile en service (TORBA 46 dans un turbo compresseur) à 100°C en fonction du temps

On observe sur le graphe de la **figure III-8** que la viscosité à 40°C de l'huile en service est un peu supérieure à celle de l'huile neuve, on remarque aussi que la viscosité de l'huile en service est restée presque stable entre décembre 2016 et décembre 2017, puis on remarque une augmentation de la viscosité pour atteindre une valeur maximale de (51.28 cSt) en août 2018 dépassant la spécification maximale. Puis baisse juste après l'appoint d'huile pour retrouver une valeur qui correspond aux spécifications.

Le graphe de la **figure III-9** Nous a permis de constater que la viscosité à 100°C de l'huile en service est supérieure à celle de l'huile neuve, elle était de (7cST) en décembre 2016, puis une diminution de cette valeur entre décembre 2016 et août 2017 pour atteindre une valeur minimale de (6.908 cST). Ensuite on remarque une augmentation pour atteindre une valeur maximale de (7.183 cST) en août 2018 pour ensuite diminuer une autre fois en février 2019.

❖ L'indice de viscosité :

Le suivi de l'évolution de l'indice de viscosité d'une huile en service (TORBA46 pour le turbocompresseur CD-603) en fonction du temps. La valeur minimale (93) fixée par les spécifications est prise comme référence. Sur le graphe de la **figureIII-10** sont exprimés les résultats aux différentes périodes de l'étude.

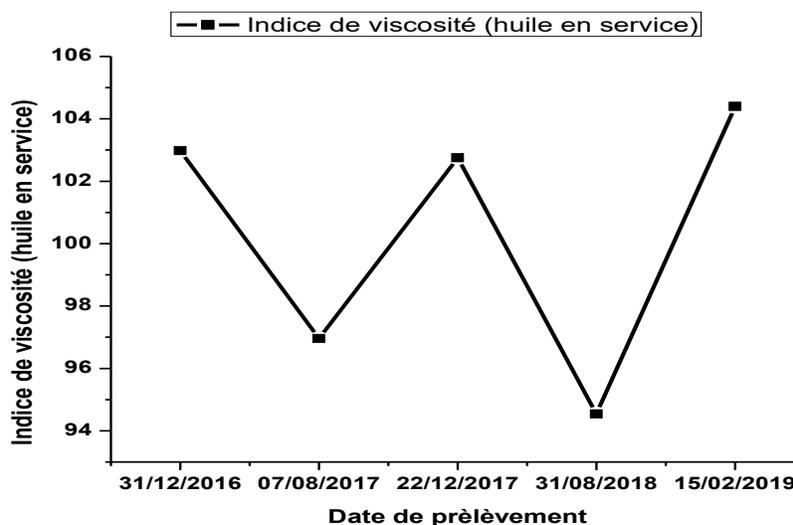


Figure III-10 : Suivi de l'évolution de l'indice de viscosité de l'huile en service (TORBA 46 dans un turbo compresseur) en fonction du temps.

D'après le graph de la **figure III-10** on constate que l'indice de viscosité est en variation permanente. En décembre 2016, l'indice était d'une valeur de (103), puis on remarque une diminution en août 2017 pour ensuite augmenter une autre fois en décembre 2017. Ensuite, on remarque une diminution de l'indice en août 2018 pour atteindre une valeur minimale de (94.54) qui sera suivie d'une augmentation en février 2019 pour atteindre une valeur maximale de (104.4).

❖ L'indice d'acidité :

Dans ce travail on a suivi l'évolution de l'indice d'acidité (Total Acid number TAN) d'une huile en service (TORBA 46 pour le turbocompresseur CD-603) en fonction du temps. La valeur maximale (0.14 mgKOH/g) fixée par les spécifications est prise comme référence. Les résultats du suivi ont permis de tracer le graphe de la **figure III-11**

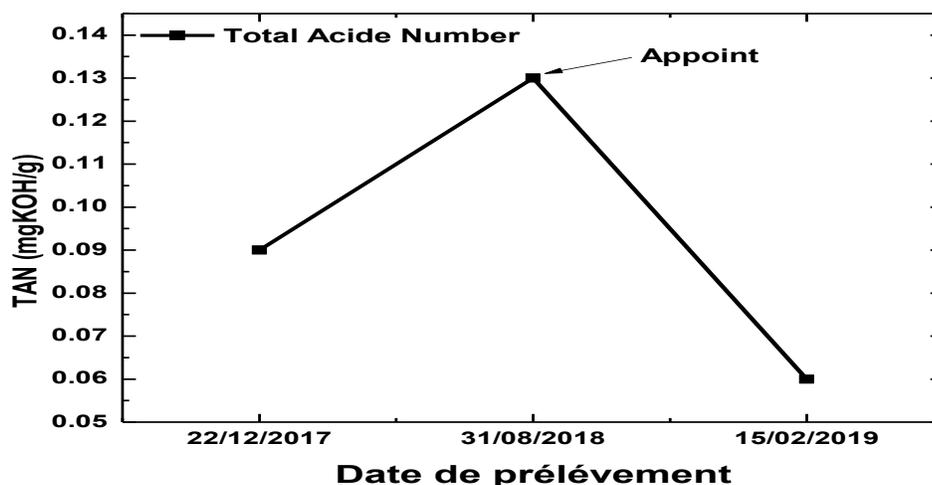


Figure III-11 : suivi de l'évolution de l'indice d'acidité pour l'huile en service (TORBA 46 pour le turbocompresseur CD-603) en fonction du temps.

On remarque à partir du graphe de la **figure III-11** que l'indice d'acidité de l'huile en service est inférieur à celui de l'huile neuve qui est de (0.1 mgKOH/g) en décembre 2017, puis il a commencé à augmenter pour atteindre une valeur maximale de (0.13 mgKOH/g) en août 2018 sans dépasser la spécification maximale, puis elle baissera juste après l'appoint d'huile pour atteindre une valeur minimale de (0.06 mgKOH/g) en février 2019.

❖ La masse volumique à 15°C :

Le suivi de l'évolution de la masse volumique d'une huile en service (TORBA 46 pour le turbocompresseur CD-603) en fonction du temps a permis de tracer la courbe exprimée sur la **figure III-12** Les valeurs minimale et maximale (0.860 kg/l – 0.875 kg/l) fixées par les spécifications sont prises comme référence.

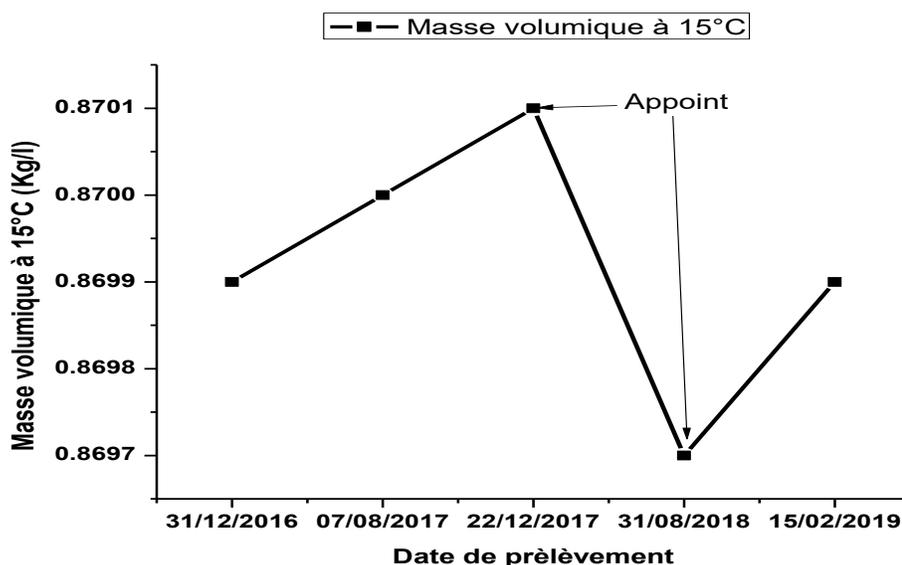


Figure III-12 : Suivi de la masse volumique pour l'huile en service (TORBA 46 pour le turbocompresseur CD-603) en fonction du temps.

On observe à partir du graphe que la masse volumique de l'huile en service est supérieure à celle de l'huile neuve de décembre 2016 à décembre 2017, pour ensuite diminuer à une valeur égale à celle de l'huile neuve.

III.2.1.3. Suivi de l'huile FODDA 68 pour le turbocompresseur PT-401-03 :

❖ Effet sur la viscosité à 40°C et à 100°C :

Dans ce graphe on suit l'évolution de la viscosité d'une huile en service (FODDA 68 pour le turbocompresseur PT-401-03) à 40°C puis à 100°C en fonction du temps. Les valeurs minimale et maximale (61.2 cSt – 74.8 cSt) fixées par les spécifications sont prises comme référence.

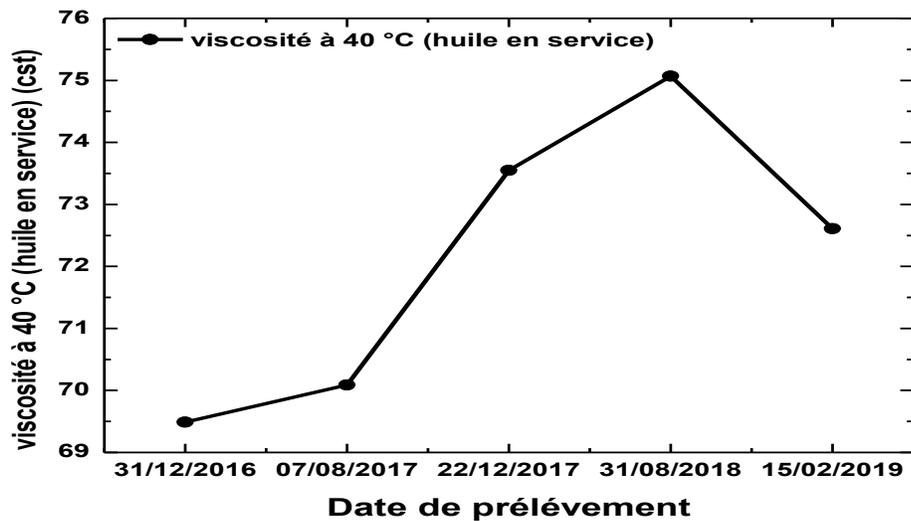


Figure III-13 : Suivi de l'évolution de la viscosité de l'huile en service (FODDA68 pour un compresseur à air PT-401-03) à 40°C en fonction de temps.

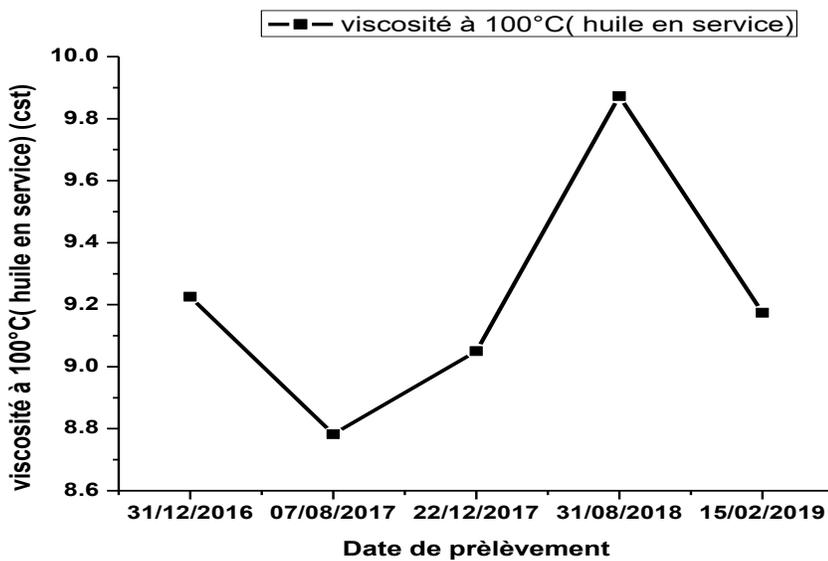


Figure III-14 : Suivi de la variation de la viscosité de l'huile en service (FODDA 68 pour un compresseur a air PT-401-03) à 100°C en fonction de temps.

On remarque sur les graphes de **figure III-13** et de la **figure III-14** que la viscosité à 40°C de l'huile en service est inférieure à celle de l'huile neuve qui est de (70.76 cSt) de décembre 2016 jusqu'à août 2017, puis elle a commencé à augmenter pour atteindre une valeur maximale de (75.07 cSt) en août 2018 et en dépassant la spécification maximale, puis elle baissera juste après sans appoint d'huile. La viscosité à 100°C de l'huile en service est supérieure à celle de l'huile neuve au début. On remarque d'abord que la viscosité de l'huile en service diminue pour atteindre une valeur minimale de 8.8 cSt, puis elle augmente pour atteindre une valeur maximale de 9.88 cSt en août 2018 pour ensuite diminuer une autre fois.

❖ L'indice de viscosité :

L'indice de viscosité de l'huile en service par rapport à son huile neuve (FODDA 68 pour le turbocompresseur PT-401-03) en fonction du temps a permis de tracer le graphe de la **figure III-15** La valeur minimale (93) fixée par les spécifications est prise comme référence.

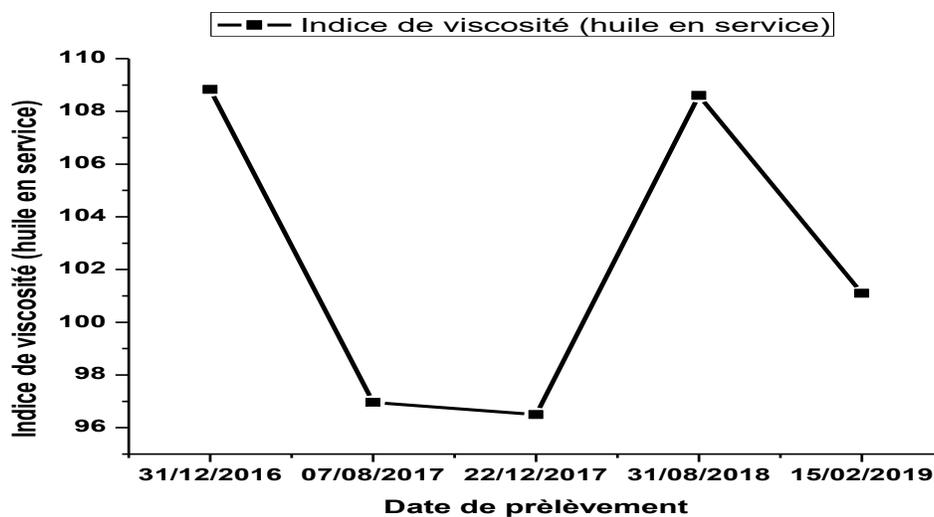


Figure III-15 : suivi de la variation de l'indice de viscosité d'une huile en service (FODDA 68 Pour compresseur a air PT-401-03) en fonction du temps.

On constate que l'indice de viscosité de l'huile en service est supérieur à celui de l'huile neuve qui est de (94.22) en décembre 2016, pour ensuite diminuer et atteindre une valeur minimale de (96.5) en décembre 2017.

La valeur de l'indice se verra par la suite augmenter et atteindre une valeur maximale de (108.83) presque égale à la valeur initiale en août 2018, pour enfin diminuer une autre fois, et tout cela sans dépasser la spécification minimale.

❖ L'indice d'acidité :

On a suivi l'évolution de l'indice d'acidité (Total Acid number TAN) d'une huile en service (FODDA 68 pour le turbocompresseur PT-401-03) en fonction du temps. La valeur maximale (0.1 mgKOH/g) fixée par les spécifications est prise comme référence. Les résultats du suivi sont représentés sur la **figure III-16**

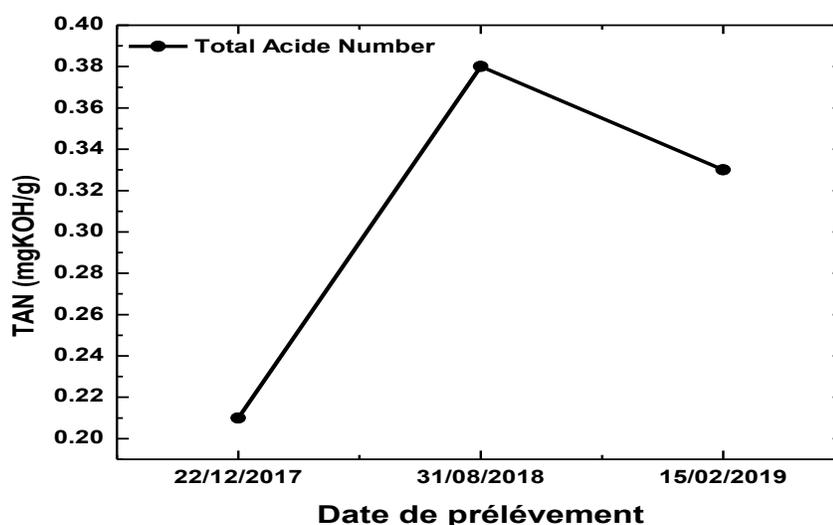


Figure III-16 : suivi de l'évolution de l'indice d'acidité pour l'huile en service (FODDA 68 pour le compresseur a air PT-401-03) en fonction du temps.

On observe à partir du graphe de la **figure III-16** que l'indice d'acidité de l'huile en service dépassait celui de l'huile neuve en décembre 2017, puis il a commencé à augmenter encore plus pour atteindre une valeur maximale de (0.38mgKOH/g) en août 2018 en dépassant la spécification maximale, puis il a diminué pour atteindre une valeur de (0.33 mgKOH/g) en février 2019 tout en restant au-dessus des spécifications maximales.

❖ La masse volumique à 15°C :

La masse volumique d'une huile en service (FODDA 68 pour le turbocompresseur PT-401-03) en fonction du temps a été suivie durant ce travail permettant de tracer la courbe exprimée sur la **figure III-17**, les valeurs minimale et maximale (0.870 kg/l – 0.885 kg/l) fixées par les spécifications sont prises comme référence.

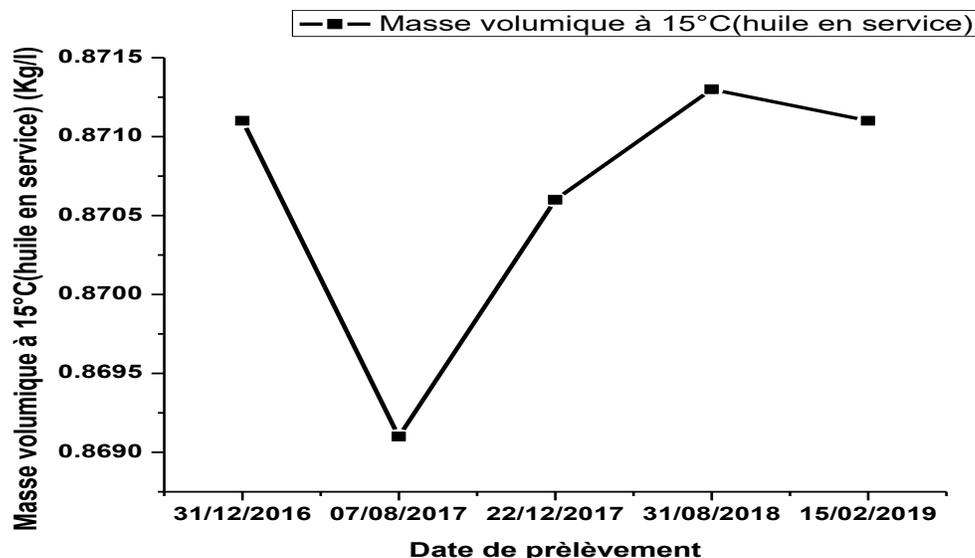


Figure III.17 : Suivi de la masse volumique pour l'huile en service (FODDA 68 pour le compresseur a air PT-401-03) en fonction du temps.

On observe à partir du graphe de la **figure III.17** que la masse volumique de l'huile en service est inférieure à celle de l'huile neuve qui est de (0.8727 kg/l) de décembre 2016 jusqu'à février 2019, tout en dépassant la valeur minimale prise dans les spécifications en août 2017 (0.8691 kg/l).

III.2.1.4. Suivi de l'huile TEXACO EP 46 pour le turbocompresseur CD-301B

❖ Effet sur la viscosité à 40°C et 100°C :

Le suivi de l'évolution de la viscosité d'une huile en service (TEXACO EP 46 pour le turbocompresseur CD-301B) a 40°C et 100°C en fonction du temps. La valeur maximale (46 cSt) et (7.4 cSt) fixée par les spécifications est prise comme référence pour la viscosité à 40°C et 100°C respectivement.

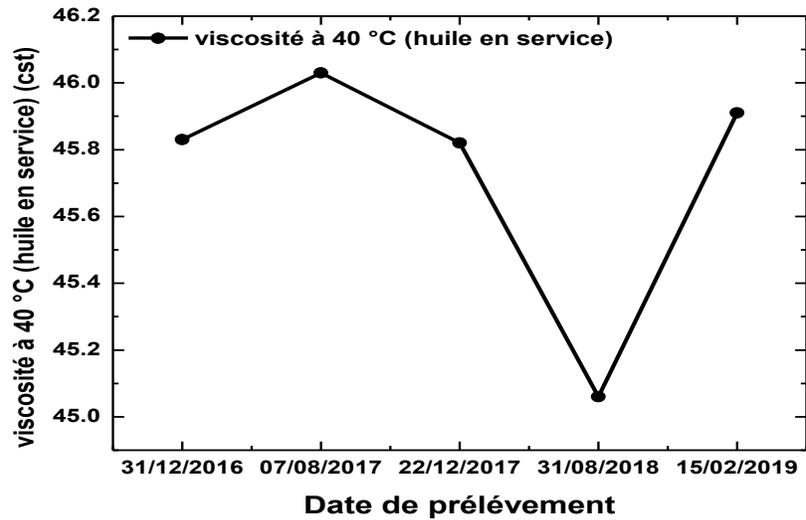


Figure III-18 : Suivi de l'évolution de la viscosité de l'huile en service (TEXACO EP 46 dans un turbo compresseur) à 40°C en fonction du temps.

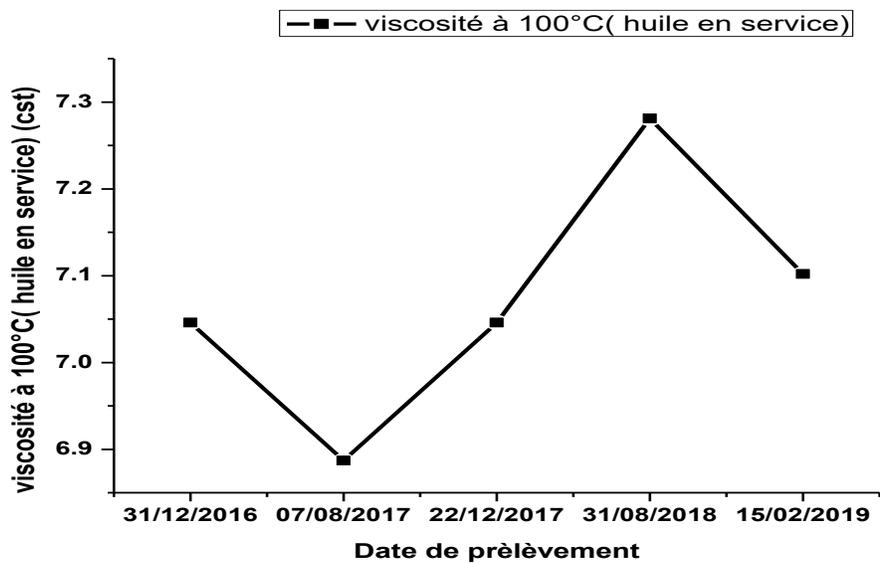


Figure III-19 : Suivi de la variation de la viscosité de l'huile en service (TEXACO EP 46 dans un turbo compresseur) à 100°C en fonction de temps.

On observe sur le graphe de la **figure III-18** qu'au début la viscosité de l'huile en service était inférieure à celle de l'huile neuve, puis elle a commencé à augmenter pour atteindre une valeur maximale de (46.03 cSt) en août 2017 et en dépassant la spécification maximale, puis elle a commencé à baisser jusqu'à atteindre une valeur minimale de (45.06 cSt) en août 2018 pour ensuite augmenter une autre fois en février 2019.

Sur le graphe de la **figure III-19** on remarque que la viscosité à 100°C de l'huile en service est supérieure à celle de l'huile neuve en décembre 2016, puis elle diminue pour atteindre une valeur minimale de 6.887cSt égale à celle de l'huile neuve, puis elle augmente pour atteindre une valeur maximale de 7.281 cSt en août 2018 sans dépasser la limite supérieure, pour ensuite diminuer une autre fois en février 2019.

❖ L'indice de viscosité :

L'évolution de l'indice de viscosité d'une huile en service (TEXACO EP 46 pour le turbocompresseur CD-301B) en fonction du temps est représentée par le graphe de la **figure III-20** La valeur maximale (122) fixée par les spécifications est prise comme référence.

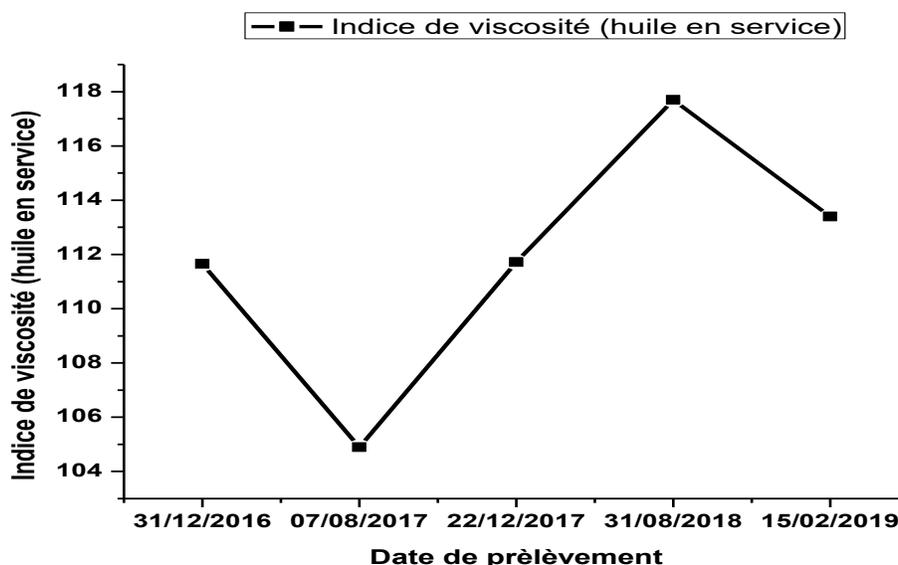


Figure III-20 : suivi de la variation de l'indice de viscosité d'une huile en service (Pour turbocompresseur CD-301B) en fonction du temps

On constate sur le graphe de la **figure III-20** que l'indice de viscosité pour cette huile est supérieur à celui de l'huile neuve qui était de (104.78) en décembre 2016, pour

ensuite diminuer et atteindre une valeur minimale de (104.9) en août 2017. La valeur de l'indice se verra par la suite augmenter et atteindre une valeur maximale de (117.7) en août 2018 sans dépasser la limite maximale, pour enfin diminuer une autre fois en février 2019.

❖ L'indice d'acidité :

Le suivi de l'évolution de l'indice d'acidité (Total Acid number TAN) de l'huile en service (TEXACO EP 46 pour le turbocompresseur CD-301B) en fonction du temps a permis de tracer la courbe de la **figure III-21**, la valeur maximale (0.27 mgKOH/g) fixée par les spécifications est prise comme référence.

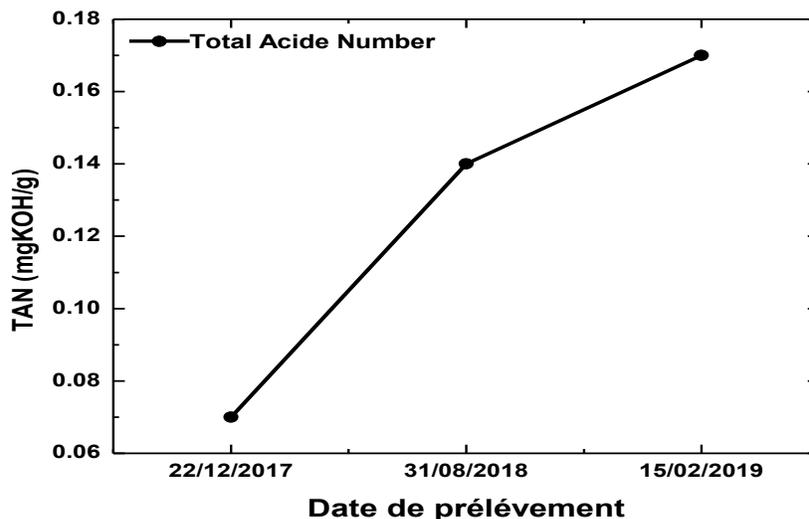


Figure III-21 : suivi de l'évolution de l'indice d'acidité pour l'huile en service (TEXACO EP 46 pour le turbocompresseur CD-301B) en fonction du temps.

On constate à partir du graphe de la **figure III-21** que l'indice d'acidité était de (0.07 mgKOH/g) en décembre 2017, puis il a commencé à augmenter atteignant un valeur de (0.14 mgKOH/g) en août 2018 pour ensuite atteindre une valeur maximale de (0.17 mgKOH/g) en février 2019.

❖ La masse volumique :

La masse volumique de l'huile en service (TEXACO EP 46 pour le turbocompresseur CD-301B) en fonction du temps, les résultats sont exprimés sur la **figure III-22** La valeur minimale (0.865 kg/l) fixée par les spécifications est prise comme référence.

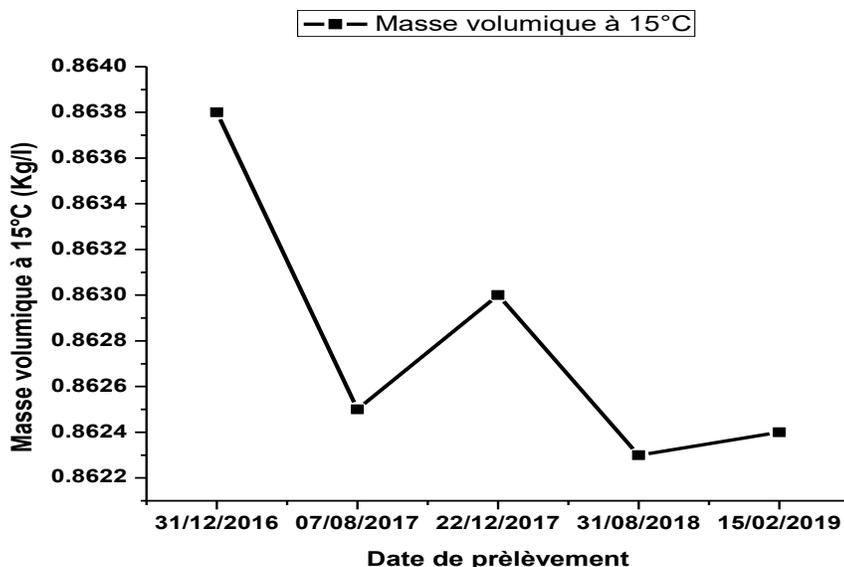


Figure III-22 : Suivi de la masse volumique pour l'huile en service (TEXACO EP 46 pour le turbocompresseur CD-301B) en fonction du temps

On observe à partir du graphe que la masse volumique de l'huile en service était légèrement supérieure à celle de l'huile neuve qui était de (0.8633 kg/l) en décembre 2016, puis elle a commencé à diminuer vers une valeur inférieure à celle de l'huile neuve mais sans dépasser la limite inférieure. On remarque après une augmentation vers décembre 2017 qui se verra diminuer encore une fois en 2018 et qui restera constante jusqu'en 2019.

III.2.2. Suivi de la teneur en eau des quatre huiles lubrifiantes :

Lors de l'étude des paramètres physico-chimique des huiles aux différentes périodes, il a été constaté que les paramètres varient considérablement selon les périodes et les appoints, et cela selon l'huile utilisée et la machine dans laquelle elle se trouve. Ces variations sont directement liées à la variation de la teneur en eau dans ces huiles. Pour cela des mesures

de la variation de cette teneur ont été effectuées à différentes périodes afin de confirmer nos hypothèses. Les résultats sont exprimés sur le graphe de la figure III-23 ;

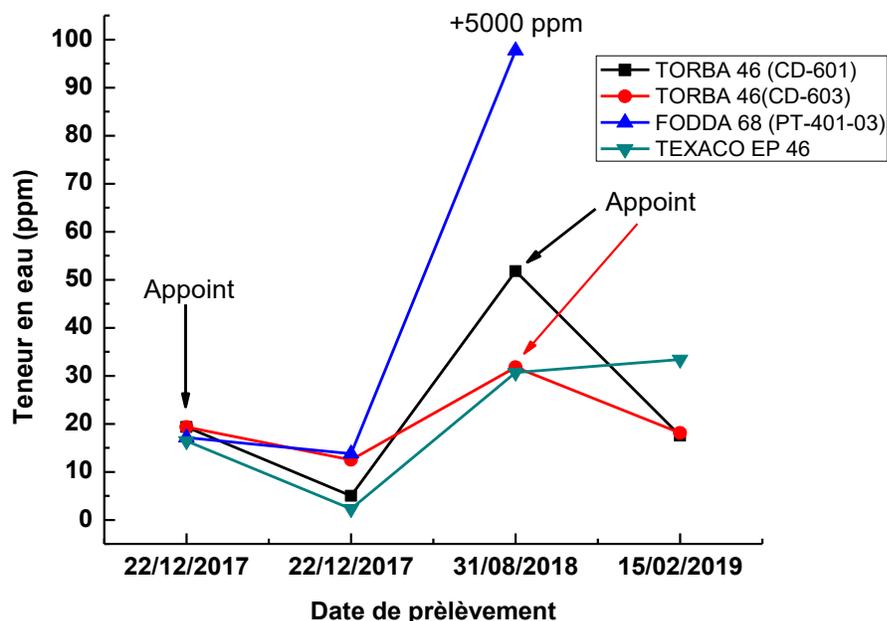


Figure III-23 : suivi de la variation de la teneur en eau des quatre huiles en service [TORBA 46 (CD-601 et CD-603), TEXACO EP 46 (CD-301B), FODDA 68 (PT-401-03)] en fonction du temps.

D'après la **figure III-23** on remarque qu'au départ juste après l'appoint de l'huile, il y'a eu une diminution de la teneur en eau pour les quatre huiles, et qui se verra augmenter après huit (8) mois de service. Pour ce qui est des deux huiles TORBA 46, il y'a une diminution de la teneur en eau après un 2^{ème} appoint d'huile en août 2018. Sinon pour ce qui est de l'huile TEXACO, on remarque une légère augmentation entre août 2018 et février 2019 de fait qu'ils ne lui ont pas fait d'appoint d'huile. Enfin pour l'huile FODDA 68, on remarque qu'il y'a une grande augmentation de la teneur en eau en 8 mois de service pour atteindre une valeur de 5016.5 ppm en février 2019.

III.2.3. Interprétation des résultats :

Dans cette partie du travail, on a interprété les résultats des quatre huiles fournies par le CRD. On parle dans un premier temps des causes de diminution et d'augmentation de la teneur en eau, pour ensuite voir son impact sur les différents paramètres.

III.2.3.1. Teneur en eau pour tous les types d'huile :

La diminution de la teneur en eau lors du 1^{er} appoint en décembre 2017 est dû aux faits que l'huile neuve est mise dans un réservoir, puis elle traverse tout le circuit de lubrification qui est à 120°C, et en revenant vers le réservoir elle transporte avec elle du gaz traité par le turbocompresseur. Dans le réservoir, du vide est créé par l'extracteur qui a pour rôle de libérer les gaz présents avec l'huile. L'extraction des vapeurs consiste à appliquer des pressions négatives dans le réservoir de façon à avoir la température d'ébullition de l'eau à environ 56°C. De cette manière, l'eau s'évapore à de faibles températures qui ne favorisent pas l'oxydation de l'huile et c'est ce qui a fait qu'il y'a une diminution de la teneur en eau.

On remarque aussi qu'il y'a une différence de diminution de la teneur en eau entre les différentes huiles, et cela est dû au fait que l'huile d'alimentation n'est pas la même, plus on alimente avec une huile moins contaminée, plus on a une valeur de teneur en eau plus faible dans la machine. On a aussi constaté que plus que l'on a une huile avec une plus faible teneur en eau au démarrage, plus la durée de vie de cette huile augmente.

Pour ce qui est de l'augmentation de la teneur en eau, elle est dûe à la condensation des vapeurs d'eau présentes dans le réservoir à cause de la différence de température. Les vapeurs d'eau venant du circuit de lubrification sont à 120°C tandis que la température dans le réservoir est de 56°C. Vu que la variation entre les deux températures dépasse les 10°C, y'aura une condensation des vapeurs d'eau ce qui augmente la teneur en eau dans les huiles en service.

Enfin, on parlera de la diminution de la teneur en eau par appoint d'huile en février 2019, cette diminution se verra différente de la première car l'huile d'alimentation a subi une contamination durant les deux années de stockage, donc si sa teneur en eau était de 19.3 ppm en 2017, elle serait plus importante en 2019 et cela se caractérise par une valeur de teneur en eau plus importante dans la machine.

III.2.4. Impacte de la variation de la teneur en eau sur les différents paramètres :

❖ -Pour l'huile TORBA 46 :

✓ CD-601 :

Une augmentation de la viscosité à 40°C est constatée mais sans dépasser la limite maximale, cette augmentation de la viscosité est due à l'oxydation de l'huile qui se confirme par l'augmentation de l'indice d'acidité toujours dans la même période.

✓ CD-603 :

Pour cette machine, la viscosité à 40°C augmente et dépasse la limite maximale. La cause principale de cette augmentation reste l'oxydation de l'huile ou bien la diminution de la quantité de l'additif améliorant l'indice de viscosité.

Cette augmentation de la viscosité pour les deux huiles peut indiquer une dégradation excessive de l'huile.

❖ l'huile FODDA 68 :

✓ PT-401-03 :

Pour cette machine, on remarque une augmentation de la viscosité à 40°C de décembre 2017 à août 2018, tandis qu'il y'a une diminution d'août 2018 à février 2019.

Les causes de l'augmentation et de la diminution sont :

- Causes de l'augmentation :

- l'oxydation de l'huile
- Diminution de l'additif améliorant l'indice de viscosité

- Causes de la diminution :

- fuites.
- Contact gaz huile (contamination par gaz)
- Diminution de la viscosité par cisaillement de polymères accompagnée d'une diminution de l'indice de viscosité.
- Diminution de l'additif améliorant l'indice de viscosité.

❖ L'huile TEXACO EP 46 :

Pour ce type d'huile, nous sommes en train d'étudier une huile émulsionnée ce qui fait que nous faisons face à deux cas de figure, nous avons dans un premier temps une diminution de la viscosité et cela est montré dans la **Figure III-18**, de 2017 à 2018, la

viscosité était de (45.82 cSt) en 2017 puis elle est passée a (45.06cSt) en 2018. Cette diminution serait traduite par l'influence de l'effet thermique durant cette période, cela s'explique par le fait que malgré l'augmentation de la teneur en eau qui était de 2.3ppm en 2017 et qui est passée à 30.7ppm en 2018, la viscosité avait diminué alors qu'une augmentation de la teneur en eau aurait augmenter la viscosité. Donc dans ce cas de figure, c'est l'effet thermique qui contrôle la viscosité.

Dans un second temps on remarque une augmentation de la viscosité qui était de (45.06 cSt) en 2018 et qui est passée à (45.91 cSt) en 2019, cette augmentation est dû à une grande contamination par l'eau, ce qui a augmenté la viscosité de l'huile malgré l'augmentation de la température qui devrais la diminuer. Dans ce cas de figure, la teneur en eau dans l'huile a atteint un seuil ou c'est elle qui contrôle la viscosité et non pas l'effet thermique.

Ce qui veut dire que le l'effet de la température est négligé suite à une teneur élevée en eau, ou bien suite à la diminution de la conductivité thermique pour l'huile contaminé ce qui rend l'effet thermique moins important face à l'augmentation de la teneur en eau.

La cause principale de cette augmentation c'est l'oxydation de l'huile qui se confirme par l'augmentation de l'indice d'acidité, ou bien la diminution de la quantité de l'additif améliorant l'indice de viscosité.

III.3. Constatons des problèmes de la contamination des huiles lubrifiantes sur site :

Les constatations de cette étude nous ont conduit à se déplacer sur les lieux pour confirmer les résultats obtenus ainsi que nos hypothèses. Un stage de courte durée a été effectué à une des bases de l'entreprise pétrolière algérienne de SONATRACH et plus exactement au site de Guellala à Hassi Messaoud. Nos investigations se sont portées sur les lieux de stockage des huiles et le contrôle des huiles en service dans des turbocompresseurs.

III.3.1.Présentation du Site :

Durant notre période de stage, on est allé voir les machines tournantes sur place au niveau du centre de production de Haoud Berkaoui et plus précisément à Guellala. Découvert en 1969, le champ de Guellala s'étend sur une superficie de 35 Km² et se compose d'une unité de

séparation d'huile d'une capacité de 5000 m³/Jour, une unité de stockage de 15000 m³/jour, et d'une unité de boosting gaz de 762000 m³/Jour.

Cette station est également dotée d'une unité de traitement de gaz d'environ 2,4 million m³/Jour, sa capacité de récupération est estimée à 500 Tonne/Jour pour le GPL et 90 Tonne/Jour pour le condensa.

Cette unité de traitement contient une station de compression de gaz à 75 bars d'une capacité de 1,66 million m³/Jour dont 65000 m³/Jour sont comprimés à 140 bars pour le gaz lift des puits de la région, les volumes restants étant expédiés vers Hassi R'mel auquel s'ajoutent 429000 tonnes de GPL.

III.3.2. Présentation et mode de fonctionnement du circuit de lubrification :

Durant notre stage à Hassi Messaoud, nous avons travaillé sur le turbocompresseur type K-501 de Guellala, le schéma ci-dessous représente le circuit de lubrification de ce turbocompresseur.

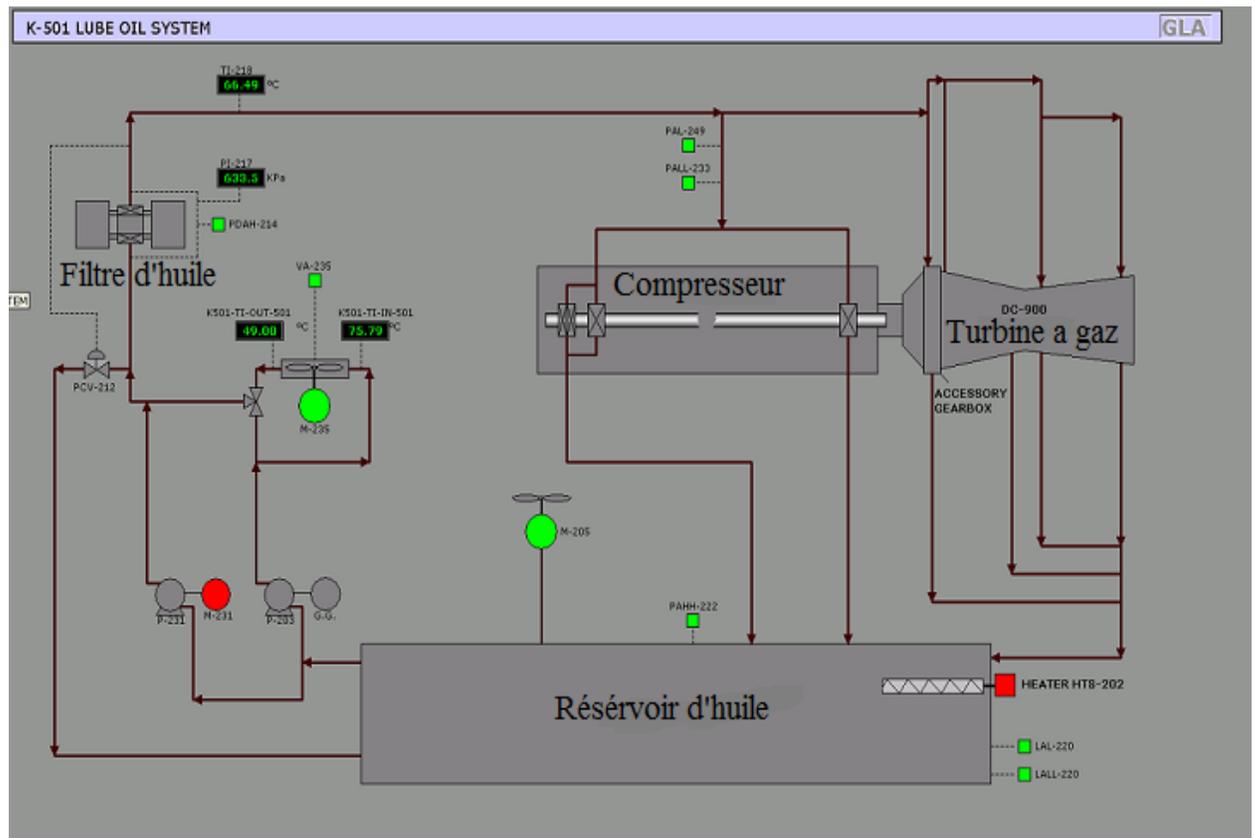


Figure III-24 : Circuit de lubrification du turbocompresseur K-501.

- ❖ Le circuit de lubrification de ce turbocompresseur se compose de plusieurs organes, que ça soit de stockage, chauffage, refroidissement ou de filtration, ainsi que plusieurs alarmes.
- ❖ L'huile est tout d'abord envoyée vers le réservoir d'huile, ensuite, elle est injectée dans le circuit de lubrification grâce à une pompe mécanique.
- ❖ Elle est ensuite refroidie par un aéroréfrigérant qui est suivi d'une vanne TCV (température control valve) qui est une vanne autorégulatrice à trois voies, et qui a 2 entrées, l'une chaude et l'autre qui est froide, et une sortie.
- ❖ Si on est en hiver et que l'huile qui sort de la vanne TCV est supérieure à la valeur souhaitée, une résistance (HEATER HTS-202) s'allume pour chauffer l'huile du réservoir et ainsi avoir une température optimale.
- ❖ L'huile se dirige ensuite vers le filtre d'huile, dans cet appareillage on constate qu'il y'a 2 filtres, l'un en service et l'autre en attente (Standby).
- ❖ Enfin, l'huile sortante du filtre se dirige directement vers le compresseur et la turbine pour lubrifier les différents organes. **(Voir les ANNEXE C.2 et C.3)**
- ❖ L'huile qui sort des machines se dirige ensuite vers le réservoir, dans lequel on y trouve un extracteur de gazes qui dégage toutes les vapeurs et gazes vers l'extérieur. **(Voir ANNEXE C.1)**

Pour ce qui est des alarmes, on distingue plusieurs :

- Niveau d'huile (LAL-220, LALL-220)
- Pression de gaz dans le réservoir (PAHH-222)
- Vibration de l'aéroréfrigérant (VA-235)
- Pression d'huile (PAL-249, PALL-233)

III.3.3.Suivi des huiles lubrifiantes sur le lieu de stockage et lors de la mise en service :

Afin de confirmer nos hypothèses sur la contamination de l'huile par l'eau lors du stockage, deux lieux de stockage ont été étudiés, il s'agit des huiles :

- Une huile neuve stockée dans un fut à Guellala.
- Une autre huile neuve stockée dans un autre fut à Berkaoui.

Un suivi de la contamination par l'eau de l'huile de Guellala mise en service dans un turbocompresseur type K-501. Les résultats des analyses sont regroupés sur le **tableau III-1**.

Tableau III-1 : teneur en eau paramètres et physico-chimique des huiles lubrifiantes.

Huiles	Teneur en eau par Karl Fisher (ppm)	Viscosité à 40°C (cSt)	Couleur	L'acidité (mgKOH/g)
Huile neuve guellala	37.2	32.387	1.8	0.08
Huiles neuve berkaoui	116	34.180	1.8	0.11
Huiles en service	45	34.370	5.3	0.0859

On remarque qu'il y'a une grande différence de teneur en eau entre les 2 huiles neuves, et cela est due à la différence du lieu ainsi que la qualité de stockage.

Une teneur importante en eau a été constatée dans l'huile en service qui dépasse les 40 ppm tout en sachant que la contamination d'une huile par 25 ppm seulement peut diminuer la durée de vie des organes de la machine de 16.67% (voir la **figure II.4**)

Pour ce qui est de la couleur, on constate qu'il n'ya pas de variation entre les deux huiles neuves, tandis que l'huile en service a changé de couleur et cela est due à l'oxydation de l'huile.

Pour l'acidité, on remarque que les deux huiles de Guellala (neuve et en service) ne dépassent pas la norme requise qui est de 0.1 mgKOH/g, tout en remarquant que l'acidité de l'huile en service dépasse un peu celle de l'huile neuve, tandis que l'huile neuve de Berkaoui qui a une forte teneur en eau dépasse les 0.1 mgKOH/g.

Enfin pour la viscosité, on remarque qu'il y'a une différence pour les deux huiles neuves.

III.3.4. Confirmation de la contamination de l'huile lubrifiante par effet thermique :

III.3.4.1. Vieillessement thermique simulé au laboratoire :

Pour se faire, on fait un vieillissement thermique par simulation au laboratoire. Pour cela on met les huiles stockées et celle mise en service de Guellala pendant quatre (4) jours. Les résultats des analyses sont regroupés sur le **tableau III-2** et le **tableau III-3**.

Tableau III-2 : résultats du vieillissement sur l'huile neuve de Guellala

Date de prélèvement	17/06/2019 1 ^{er} jour	18/06/2019 2 ^{ème} jour	19/06/2019 3 ^{ème} jour	20/06/2019 4 ^{ème} jour
Teneur en eau par Karl Fisher (ppm)	163	91.1	127.9	162
Viscosité cinématique à 40°C (m ² /s)	36.891	33.135	32.548	33.237
Indice d'acidité (mgKOH/g)	0.097	0.1	0.099	0.09

On remarque que l'effet thermique sur l'huile neuve de Guellala l'a poussé à libérer de l'eau à partir du 2^{ème} jour, ce qui entraîne l'intervention de l'additif émulsifiant qui va essayer d'absorber l'eau libérée ce qui verra la teneur en eau augmenter une autre fois pour à la fin tomber sur une valeur proche de la valeur initiale de la teneur en eau.

Pour ce qui est de la viscosité, elle passe de 36.891 le 1^{er} jour à 33.237 le 4^{ème} jour du fait qu'il y'a une augmentation de la température.

Sinon pour ce qui est de l'indice d'acidité, on constate qu'il varie peu durant toute l'étude tout en atteignant la valeur maximale requise le 2^{ème} jour.

Tableau III-3 : résultats du vieillissement sur l'huile en service de Guellala

Date de prélèvement	17/06/2019	18/06/2019	19/06/2019	20/06/2019
Teneur en eau par Karl Fisher (ppm)	122.3	106.1	69.1	95.65
Viscosité cinématique à 40°C (m ² /s)	35.831	33.16	32.685	32.827
Indice d'acidité (mgKOH/g)	0.11	0.082	0.066	0.0904

Pour l'huile en service, on remarque une diminution de la teneur en eau dans les trois premiers jours suivie d'une diminution de la viscosité et de l'indice d'acidité. Quant au dernier jour, on remarque une augmentation de la teneur en eau suivie d'une légère augmentation de la viscosité et de l'indice d'acidité.

La cause de cette diminution de la teneur en eau reste l'effet thermique qui pousse l'huile à libérer de l'eau, pour ce qui est du dernier jour, l'augmentation est causée par le fait que l'huile a commencé à absorber l'eau libre car l'additif émulsifiant intervient pour essayer d'absorber l'eau une autre fois, cela indique que le vieillissement thermique favorise la désémulsification et la libération de l'eau qui en contact de la machine peut causer d'énormes dégâts.

On remarque aussi que l'huile en service absorbe moins d'eau que l'huile neuve, et cela est dû au fait qu'elle a perdu certaines caractéristiques.

III.3.4.2. Les constatations tirées du vieillissement :

Pour ce type d'huile, si on a une faible teneur en eau, et une température élevée, on a remarqué une diminution de la viscosité.

Si on a une teneur en eau élevée, et une température élevée, on aura une augmentation de la viscosité. On déduit que c'est la teneur en eau qui contrôle la viscosité.

L'augmentation de la teneur en eau provoque l'augmentation de l'indice d'acidité qui engendre l'oxydation de l'huile.

III.4. Détermination des sources de contamination et les solutions proposées :

Le but de notre étude était de cerner les sources de contamination par l'eau vu que c'est un problème majeur qui affecte toutes les machines tournantes de l'entreprise pétrolière Sonatrach, et de voir quel effet aurait cette contamination sur la qualité des huiles ainsi que sur l'état des machines. Pour ce qui est des sources de contaminations nous avons pu trouver quelques-unes que l'on site ci-dessous :

- L'interférence entre le chaud et le froid (jour et nuit) qui peut engendrer la condensation des vapeurs d'eau présentes dans le réservoir.
- Faire un appoint d'huile avec une huile déjà contaminée, car une petite infiltration d'air est susceptible de provoquer une contamination de l'huile à l'intérieur du fut de stockage.
- Fuites au niveau du circuit de refroidissement ce qui permet le contact huile-air ou carrément huiles-eau si on utilise l'eau comme liquide de refroidissement.
- Contamination de l'huile par le gaz traité, car au niveau du compresseur il y'a un contact entre l'huile lubrifiante et le gaz, donc s'il y'a une défaillance au niveau de la déshydratation du gaz dans le prétraitement, il se peut que des traces d'eau soient transportés par le gaz et qui seront par la suite transférés vers l'huile.

Pour ce qui est des solutions proposées, on site quelque unes qui pourraient éliminer les sources probables de contamination ou du moins les limiter :

- Il est nécessaire de faire des analyses sur l'huile neuve avant de faire l'appoint.
- Suivi des huiles en service en permanence pour éviter des teneurs élevés en eau.
- Installer des détecteurs d'humidité dans le réservoir d'huile.
- Installer un filtre d'eau dans le circuit de lubrification pour assurer que l'huile qui entre dans les machines contient le minimum de traces d'eau possible.
- S'assurer que le gaz arrivant vers le compresseur soit bien déshydraté.

Présentation du lieu de stage :

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

Division de technologies et développement :

La division technologies et développement DTD (ex CRD) est constitué 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.

Organigramme de la DTD (CRD) :

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 structurées 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.

Direction gisements :

La direction gisements 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

Liste des tableaux :

Tableau	Titre de tableau	Page
Tableau III.1	Niveau d'eau dissoute, émulsionnée et libre pour différents types d'huiles	24
TableauIII-1	Teneur en eau paramètres et physico-chimique des huiles lubrifiantes	62
TableauIII-2	Résultats du vieillissement sur l'huile neuve de Guellala	63
TableauIII-3	Résultats du vieillissement sur l'huile en service de Guellala	63

Résumé

La contamination par l'eau est un grand problème qui affecte les huiles lubrifiantes, qui à leurs tour risquent de causer des dommages parfois irréversibles des machines tournantes.

C'est le cas pour les machines de Sonatrach, de grands problèmes sont causés par cette contamination, que ça soit le vieillissement prématuré des huiles de lubrification ce qui nécessite des appoints fréquents ou dans certains cas le changement total de l'huile, ou bien les arrêts soudains et imprévus des machines ce qui nécessite tout un démontage et un transfert chez le fabricant pour des pannes que l'on juge évitables.

Dans notre étude, on a travaillé sur différents types d'huiles pour différentes machines tournantes, on a d'abord fait des analyses sur des huiles en service pour connaître le degré de présence de notre contaminant, puis on a essayé de voir quel serait l'impact de la présence d'eau dans une huile en service sur l'huile d'abord puis sur la machine, pour faire des constatations et cerner les sources probables de la contamination des huiles.

Ainsi, on pourra proposer des solutions qui peuvent garantir une durée de vie plus longue aux huiles de lubrification ce qui garantira par la suite une durée de vie plus longue aux machines tournantes.

ABSTRACT

Water contaminations is a big problem that affects lubricating oils, which in turn can cause sometimes irreversible damage to rotating machinery.

This is the case for Sonatrash's machines, major problems are caused by this contamination, that cause the premature aging of the lubricating oils which necessitates frequent additions or in some cases the total change of the oil, or cause sudden and unexpected stops of the machines which requires a whole disassembly and transfer to the manufacturer for failures that are judged avoidable.

In our study, we worked on different types of oil for different rotating machines, we first made analyses on oils in service to know the degree of presence of our contaminant, then we tried to see what would be the impact of presence of water in an oil in service, to make findings and identify probable sources of oil contamination.

Thus, we can propose solutions that can guarantee a longer service life for lubricating oils, which will guarantee a longer service life for rotating machines.

ملخص

إن تلوث زيوت التشحيم بالماء هو من أكبر المشاكل التي تؤثر على خصائص الزيوت, و هو ما يؤدي إلى أضرار وخيمة على مستوى الآلات الدوارة.

و هذا ما وجدناه بالنسبة للآلات الخاصة بشركة سونا طراك حيث أن تلوث زيت التشحيم بالماء ينتج عنه فقدان هذا الأخير على قدرته لأداء دوره و هذا ما يستدعي إضافة زيت جديدة أو استبدالها كلياً في بعض الأحيان.

و يؤدي هذا أيضاً إلى إلحاق ضرر كبير بالآلات الدوارة و قد يصل هذا الضرر إلى خسائر مادية معتبرة لإعادة تأهيل هذه الآلات.

في دراستنا, عملنا على أنواع مختلفة من الزيوت للآلات دوارة مختلفة, و قمنا بمتابعة تطور كمية الماء داخل مختلف زيوت التشحيم بالنسبة للزمن و في نفس الوقت تأثر خصائص الزيت في نفس فترة تطور كمية الماء. كما قمنا بتحديد مصادر هذا التلوث و اقتراح حلول لتفادي هذه المشكلة, التي تضمن لنا حماية لزيت التشحيم و بالتالي حماية الآلات الدوارة و يمنحها عمر أطول.

Introduction générale

Un moteur ou une machine tournante en mouvement est soumis à des frottements entre ces pièces mobiles ainsi qu'à une élévation de la température, ceci avec le temps conduit à une détérioration de ces pièces voire à l'endommagement de la machine.

Pendant très longtemps, des solutions ont été recherchées afin de résoudre cette problématique, l'utilisation des huiles lubrifiantes semble être la meilleure solution.

L'utilisation de ces huiles a pour but de lubrifier, refroidir, prévenir la corrosion, préserver la propreté et garantir l'étanchéité ce qui permet d'inhiber la dégradation des machines.

La dégradation des huiles par contamination d'une manière générale et par l'eau particulièrement pose problème.

Dans notre travail, on a suivi l'influence de la teneur en eau sur la qualité des huiles, on a réalisé des tests et des essais pour savoir aussi quels sont les paramètres qui influent sur les caractéristiques essentielles de ces huiles (viscosité, masse volumique, couleur...) il convient de suivre régulièrement l'évolution des caractéristiques de l'huile et de comparer les résultats obtenus à chaque analyse aux caractéristiques de l'huile neuve.

Le suivi sur site des huiles lubrifiantes stockées et en service nous a permis de faire des constatations sur l'origine de cette contamination.

Des essais de dégradation simulée par un vieillissement à la température pour confirmer l'effet thermique.

Ainsi notre manuscrit est composé de deux parties :

- Une partie théorique avec un premier chapitre sur les machines tournantes tandis que le chapitre deux donne un aperçu sur la contamination des huiles lubrifiantes par l'eau.
- La deuxième partie comprend une présentation du matériel et les méthodes ainsi que les résultats et la discussion.
- Et on termine par une conclusion.

Conclusion générale

Notre étude se portait sur le problème de contamination des huiles lubrifiantes par l'eau pour cela nous avons commencé par une étude des paramètres physico-chimiques des huiles en service afin de connaître le degré de leur contamination par l'eau et son influence sur ces autres paramètres. Un suivi des huiles en stockage et en service afin de constater les sources de la contamination a été effectué sur une des unités de traitement de Hassi Messaoud. Un essai par simulation au laboratoire a été effectué afin de mettre en cause le vieillissement thermique.

Les résultats obtenus montrent que la contamination des huiles par l'eau est l'un des principaux facteurs de leurs dégradations. On a aussi mis en évidence que la contamination par l'eau est à l'origine de la variation de plusieurs paramètres tels que la viscosité, la masse volumique, l'indice de viscosité et l'indice d'acidité.

Le suivi sur site des huiles de stockage et en service, nous permet de constater que

les huiles stockées subissent une augmentation de la quantité d'eau qui dépasse de loin les normes autorisées, cela est directement lié à la durée et au lieu de stockage.

Dans les machines la quantité d'eau diminue dans un premier temps cela est dû à l'émulsification de cette eau dans l'huile en présence de l'émulsifiant mais aussi les vapeurs d'eau sont dégagées avec les gaz de la machine. Dans un deuxième temps la quantité d'eau subit une brusque augmentation due à l'augmentation de la condensation de la vapeur d'eau dans la machine et à la dégradation de l'émulsifiant due à la température élevée dans les machines.

Enfin les résultats de la simulation de vieillissement ont permis de confirmer la dégradation des huiles par contamination à l'eau par effet thermique.

Abréviations :

CRD : direction de technologie et de recherche.

ASTM: American society for testing and materials

ISO: International organization of standardization

EP: extreme pressure.

HL : huile lubrifiante.

IV : indice de viscosité.

KOH : hydroxyde de potassium.

TAC : Turbine à combustion

TAN : Total Acide Number

TCV : **Température Control Valve**

PCV : **Pressure Control Valve**

LAL : **Level Alarm Low**

LALL : **Level Alarm Low Low**

PAL : **Pressure Alarm Low**

PALL : **Pressure Alarm Low Low**

- [1] Roland Bigret et Jacques-louis Féron. Diagnostic - maintenance - disponibilité des machines tournantes : modèles – mesurages - analyses des vibrations. Masson, paris, 1995.
- [2] LAKEHAL.A, Prédiction d’avaries et maîtrise du comportement dynamique des machines tournantes. Thèse de doctorat, Université Badji Mokhtar- Annaba, 2013.
- [3] J.FRÊNE, Butées et paliers hydrodynamiques. Techniques de l’ingénieur, article B 5320,1995.
- [4] I.KHELF, Diagnostic des machines tournantes par les techniques de l’intelligence artificielle. Thèse de doctorat, Université Badji Mokhtar- Annaba, 2013.
- [5] les turbocompresseurs .odt, version du 15 avr.2012.
- [6] Manuel de formation, cours EXP-PR-EQ140 révision 0.1.
- [7] A Stodola (1927) steam and gas turbine.
- [8] AyeJ, Born. M, 1998, « lubrifiants et fluide pour l’automobile», édition technipe P107.
- [9] Anonyme Les lubrifiants synthétiques 1992: évolution de la lubrification. Pet TECH. 371: 5-10.
- [10] Mortier. R.M, Orszulik. S.T. 1993, «Chemistry and technology of lubricants». Blackie academic and professionnal.
- [11] Linda Cizaire. 2003, « Lubrification limite par les nanoparticules», thèse de doctorat en génie des matériaux, école central de LYON.
- [12] «Transformer oil handbook », edition Nynas Naphtenics AB, Sweden, 2004
- [13] Christophe. Perrier, 2005, «Etude des huiles et des mélanges à base d’huile minérale pour transformateur de puissance. Recherche d’un mélange optimal», thèse doctorat en génie électrique, école central de LYON.
- [14] Wauquier, J-P, « le raffinage du pétrole», édition technip, PARIS, 1994.
- [15] Florient Guilley, «l’emploi des huiles biodégradables dans les Ecosystèmes forestiers en remplacement des huiles minérales polluantes» Rapport de stage-ENSTIB 3 – université Henri Poincaré, NANCY1, 2003/2004
- [16] Bartz. W.J, 1993, « comparaison of synthetic fluids, in synthetic lubricants and high Performance functional fluids ». (Ed.r.l,shubkin),Marcel Decker,New York, PP319-

336.

- [17] Bartz. W.J, « comparaison of synthetic fluids», *lubrication Engineering*, PP 765- 774, 1992.
- [18] Mahan, B.H, « chimie » University of California, Berkeley, 2^{ème} edition, inter edition; Paris, SA1977.
- [19] **Merck and CO.ine**, «the merck index an encyclopedia of chemicals Drugs and biologicals» eleventh edition, Rahway,N.J.USA. 1989,
- [20] **Analyses des huiles ISET Siliana. CHOUCHE Mohamed.**
- [21] Lazizi khadidja et Bouzerkoune nadjet, « Contribution a la mise en place d'une démarche pour le suivre la qualité des huiles lubrifiantes en service » **Mémoire de. quoi université année**
- [22] **Lubrification et graissage, Nader Bensalem.**
- [23] Elias Harika « Impact d'une pollution des lubrifiants par de l'eau sur le fonctionnement des organes de guidage des machines tournantes » **Thèse de. quoi université année**
- [24] H P Bloch, "Criteria for water removal from mechanical drive steam turbine lube oils". *Lubrication Engineering*, Vol 36, pp. 699-707,(1980)..
- [25] J B Bryce, T G Roehner, "Corrosion of tin base babbitt bearings in marine steam turbines". *Trans. Inst. Marine Engrs*, Vol 73, pp.377-392(1961).
- [26] **Parker KITTIWAKE**
- [27] A C Eachus. "Water, water everywhere nor any drop to drink". *Tribology & Lubrication Technology*, pp. 33-39, October 2005.
- [28] H Hamagushi, H A Spikes, A Cameron, "Elastohydrodynamic properties of water in oil emulsions". *Wear*, Vol 43, pp. 17-24, (1977).
- [29] T Nakahara, T Makino, K Kyogoku "Observation of liquid droplet behavior and oil film formation in o/w type emulsion lubrication". *Transactions of the ASME*, Vol 110, pp. 348-353, (1988).
- [30] D Zhu, G Biresaw, S J Clark, T J Kasun, "Elastohydrodynamic lubrication with o/w emulsions". *Transactions of the ASME*, Vol 116, pp. 310- 320, (1994). .
- [31] A C Eachus. "Water, water everywhere nor any drop to drink". *Tribology & Lubrication Technology*, pp. 33-39, October 2005.

- [32] J B Bryce, T G Roehner, "Corrosion of tin base babbitt bearings in marine steam turbines". *Trans. Inst. Marine Engrs*, Vol 73, pp.377-392, (1961).
- [33] J W MacDonald, "Marine turbine oil system maintenance". *Journal of ASLE*, Vol 21, pp. 429-432, (1965).
- [34] P Schatzberg, I M Felsen, "Effects of water and oxygen during rolling contact lubrication". *Wear*, Vol 12, pp. 331-342,(1968).
- [35] H Prashad, "A study of electrical pitting of journal bearings with water- contaminated lubricant". *Tribo Test Journal*, Vol 7, pp. 115-124,(2000)..
- [36] H Prashad, "Effect of operating parameters in the threshold voltages and impedance response of non-insulated rolling element bearings under the action of electrical currents". *Wear*, Vol 117, pp. 223-240, (1987).
- [37] H Prashad, "Analysis of capacitive effect and life estimation of hydrodynamic journal bearings on repeated starts and stops of a machine operating under the influence of shaft voltage". *Tribology transactions*, Vol 37, pp. 641-645, (1994).
- [38] Quoi **Wilson** "Problems encountered with turbine lubricants and associated systems". *Lubrication Engineering*, Vol 32, pp. 59-65, (1976).
- [39] R E Cantley, "The effect of water in lubricating oil on bearing fatigue life". *ASLE TRANSACTIONS*, Vol 20, pp. 244-248, (1976).
- [40]: **TPM Attitude Christian COUDRE 1 Août 2011**

Liste des figures :

Figure	Titre de la figure	Page
Figure I.1	Eléments constitutifs d'une machine tournante	2
Figure I.2	Eléments d'un palier lisse	4
Figure I.3	Système d'engrenage	5
Figure I.4	Eléments du roulement.	6
Figure II.1a	Evaluation de l'absorption de la vapeur d'eau par l'huile en fonction de l'humidité relative à 38°C	19
Figure II.1b	Evaluation de l'absorption de la vapeur d'eau par l'huile en fonction de la température pour une humidité relative égale à 40%	19
Figure II.2	Eau dissoute, Eau émulsionnée et Eau libre	21
Figure II.3	Courbe de saturation pour une huile de lubrification d'une turbine type	22
Figure II.4	La relation entre la vie relative de roulement et la teneur en eau dans l'huile	23
Figure II.5	Taux d'usure relative en fonction du temps de test	23
FigureIII-1	Viscosimètre Cannon FENSKE	32
FigureIII-2	Les tubes de centrifugation	36
FigureIII-3	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.	40
FigureIII-4	Suivi de l'évolution de la viscosité de l'huile en service (TORBA 46 dans un turbo compresseur) à 100°C en fonction de temps	40
FigureIII-5	Suivi de l'évolution de l'indice de viscosité pour l'huile en service (TORBA 46 pour le turbocompresseur CD-601) en fonction du temps.	41
FigureIII-6	Suivi de l'évolution de l'indice d'acidité pour l'huile en service (TORBA 46 pour le turbocompresseur CD-601) en fonction du temps.	42
FigureIII-7	Suivi de la masse volumique à 15°C pour l'huile en service	43

	(TORBA 46 pour le turbocompresseur CD-601) en fonction du temps	
FigureIII-8	Suivi de l'évolution de la viscosité de l'huile en service (TORBA 46 dans un turbo compresseur) à 40°C en fonction du temps.	44
FigureIII-9	Suivi de l'évolution de la viscosité de l'huile en service (TORBA 46 dans un turbo compresseur) à 100°C en fonction du temps	44
FigureIII-10	Suivi de l'évolution de l'indice de viscosité de l'huile en service (TORBA 46 dans un turbo compresseur) en fonction du temps	45
FigureIII-11	Suivi de l'évolution de l'indice d'acidité pour l'huile en service (TORBA 46 pour le turbocompresseur CD-603) en fonction du temps.	46
FigureIII-12	Suivi de la masse volumique pour l'huile en service (TORBA 46 pour le turbocompresseur CD-603) en fonction du temps.	47
FigureIII-13	Suivi de l'évolution de la viscosité de l'huile en service (FODDA68 pour un compresseur à air PT-401-03) à 40°C en fonction de temps	48
FigureIII-14	Suivi de la variation de la viscosité de l'huile en service (FODDA 68 pour un compresseur a air PT-401-03) à 100°C en fonction de temps	48
FigureIII-15	Suivi de la variation de l'indice de viscosité d'une huile en service (FODDA 68 Pour compresseur a air PT-401-03) en fonction du temps.	49
FigureIII-16	Suivi de l'évolution de l'indice d'acidité pour l'huile en service (FODDA 68 pour le compresseur a air PT-401-03) en fonction du temps.	50
FigureIII-17	Suivi de la masse volumique pour l'huile en service (FODDA 68 pour le air compresseur PT-401-03) en fonction du temps	51
FigureIII-18	Suivi de l'évolution de la viscosité de l'huile en service (TEXACO EP 46 dans un turbo compresseur) à 40°C en fonction du temps.	52

FigureIII-19	Suivi de la variation de la viscosité de l'huile en service (TEXACO EP 46 dans un turbo compresseur) à 100°C en fonction de temps	52
FigureIII-20	Suivi de la variation de l'indice de viscosité d'une huile en service(Pour turbocompresseur CD-301B) en fonction du temps	53
FigureIII-21	Suivi de l'évolution de l'indice d'acidité pour l'huile en service (TEXACO EP 46 pour le turbocompresseur CD-301B) en fonction du temps.	54
FigureIII.22	Suivi de la masse volumique pour l'huile en service (TEXACO EP 46 pour le turbocompresseur CD-301B) en fonction du temps	55
FigureIII.23	Suivi de la variation de la teneur en eau des quatre huiles en service [TORBA 46 (CD-601 et CD-603), TEXACO EP 46 (CD-301B), FODDA 68 (PT-401-03)] en fonction du temps.	56
FigureIII.24	Circuit de lubrification du turbocompresseur K-501	60

ANNEXE A

(Appareillage)



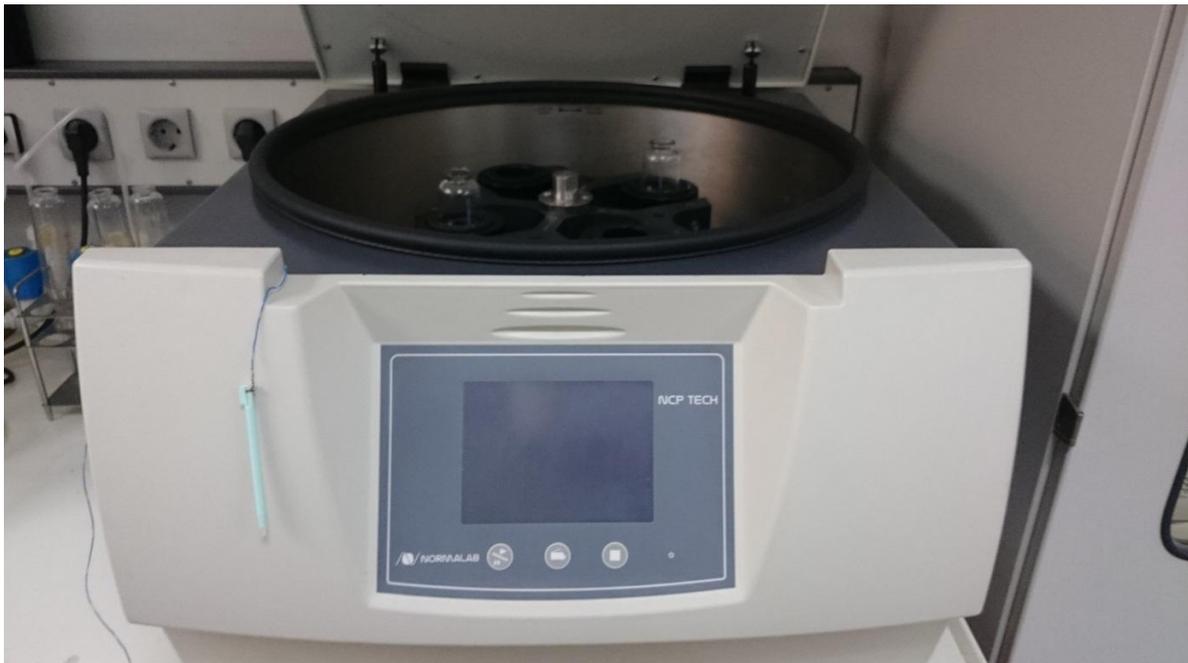
Annexe A-1 : Densimètre électronique à tube en U oscillant



Annexe A.2 : Bain thermostat pour la viscosité cinématique manuelle (type de capillaire : CANNONFENSKE).



Annexe A-3: Appareil de détermination de point d'éclair (vase fermé)

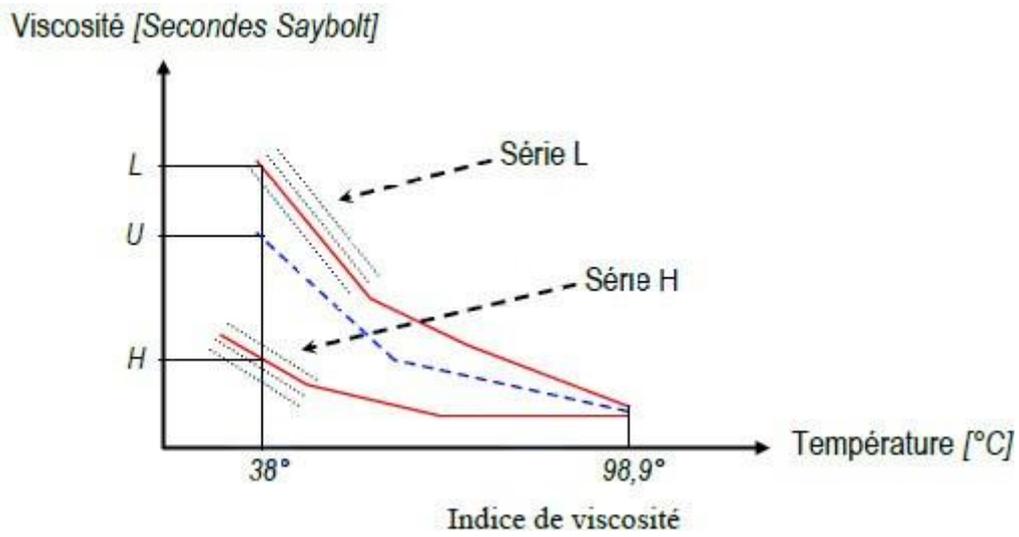


Annexe A-4 : Appareil de détermination de la teneur en eau et sédiments «BSW »



Annexe A-5 : Appareil de détermination de l'indice d'acidité « par titrage »

Index (ou indice) de viscosité :



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

ANNEXE B

**Résultats des analyses
d'huile**

Résultats d'analyses de l'échantillon d'huile neuve TORBA 46 prélevée :

Identification de l'échantillon		TORBA 46		Spécifications de l'huile lubrifiante TORBA 46
Observation		huile neuve locale fabrique en Algérie		
Date de prélèvement		22/12/2017		
Etat de l'huile		Satisfaisant		
Caractéristiques				
Masse volumique à 20°C Kg/L		0,8662		
Masse volumique à 15°C Kg/L		0,8696		0.860-0.875
Viscosité cinématique à 40°C cSt		45,20		41.4 – 50.6
Viscosité cinématique à 100°C cSt		6,703		
Indice de viscosité		100,65		93Min
Total Acid Number (TAN) mgKOH/g		0,10		0,14
Point d'éclair °C		208.0		
Point d'écoulement °C		-9		-9 Max
Point de congélation °C		-12		
Couleur ASTM		1,0		
Corrosion à la lame de cuivre Classe		1a		1b
contaminants				
Teneur en eau et sédiments % V/V		Nulle		
teneur en eau par karl Fisher ppm		19,3		
Teneur en soufre par RX % Poids		0,058		
Éléments métalliques				
Usure: ppm				
Fer(Fe)		0,2		
Chrome(Cr)		0,0		
Plomb(Pb)		0,0		
Cuivre(Cu)		0,0		
Etain(Sn)		0,2		
Aluminium(Al)		0,0		
Nickel(Ni)		0,0		
Argent(Ag)		0,0		
Molybdène(Mo)		0,0		
Titane(Ti)		0,0		
Vanadium(V)		0,1		
Cadmium (Cd)		0,0		
Manganèse (Mn)		0,0		
Antimoine (Sb)		0,0		
Dopage : ppm				
Bore(B)		0,0		
Magnésium(Mg)		0,0		
Calcium(Ca)		1,9		
Zinc(Zn)		2,0		
Baryum (Ba)		0,0		
Phosphore (P)		0,0		
Polluant : ppm				
Silicium(Si)		0,0		
Sodium(Na)		0,1		
Lithum (Li)		0,0		
Potassium (K)		0,0		

Résultats d'analyses de l'échantillon d'huile TORBA 46 en service :

Point de prélèvement :	Turbo-compresseur	Turbo-compresseur	Turbo-compresseur	Turbo-compresseur	Turbo-compresseur	Huile Neuve TORBA 46	
Type Machine	CD-601	CD-601	CD-601	CD-601	CD-601		
Tag Machine	CD-601	CD-601	CD-601	CD-601	CD-601		
Observation	En service Appoint d'huile	En service	En service appoint le 25/10/17	En service	enarrêt pour revision	locale fabrique en Algérie	
Date de prélèvement	15/02/2019	31/08/2018	22/12/2017	07/08/2017	31/12/2016	22/12/2017	
État de l'huile	A Suivre	-	-	-	-	-	
Caractéristiques							
Masse volumique à 20°C	Kg/L	0,8674	0,8672	0,8675	0,8672	0,8682	0,8662
Masse volumique à 15°C	Kg/L	0,8705	0,8702	0,8696	0,8707	0,8717	0,8696
Viscosité cinématique à 40°	cSt	48,26	48,70	48,21	48,39	48,23	45,20
Viscosité cinématique à 100°C	cSt	7,091	7,175	7,035	6,913	7,016	6,703
Indice de viscosité		104,3	102,9	102,53	97,39	101,43	100,65
Total Acid Number (TAN)	mgKOH/g	0,06	0,15	0,09	-	-	0,10
Point d'éclair	°C	233,5	232,0	224,0	226,0	-	208,0
Corrosion à la lame de cuivre	classe	1a	1b	1a	1a	1a	1a
Contaminants							
Teneur en eau et sédiments	%V/V	Nulle	Nulle	Nulle	Nulle	T.N.D	Nulle
teneur en eau par karl Fisher	ppm	17,5	51,8	5,0	-	-	19,3
Teneur en soufre par RX	%poids	0,18	0,19	0,193	0,2	0,17	0,058
Éléments métalliques							
Usure:	ppm						
Fer(Fe)		0,2	0,1	0,0	0,0	0,1	0,2
Chrome(Cr)		0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Plomb(Pb)		0,6	0,0	0,0	0,0	0,4	0,0
Cuivre(Cu)		0,1	0,1	0,1	0,0	0,1	0,0
Etain(Sn)		0,3	0,0	0,6	0,6	0,0	0,2
Aluminium(Al)		0,2	0,0	0,0	0,6	0,1	0,0
Nickel(Ni)		0,2	0,0	0,0	0,0	0,1	0,0
Argent(Ag)		0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Molybdène(Mo)		0,2	0,0	0,0	0,0	0,4	0,0
Titane(Ti)		0,4	0,3	0,0	0,0	0,1	0,0
Vanadium(V)		0,0	0,0	0,2	0,0	0,0	0,1
Cadmium (Cd)		-	-	0,1	0,2	-	0,0
Manganèse (Mn)		-	-	0,0	0,1	-	0,0
Antimoine (Sb)		-	-	0,6	0,2	-	0,0
Dopage :	ppm						
Bore(B)		0,1	0,1	0,0	0,1	0,0	0,0
Magnésium(Mg)		0,1	0,1	0,0	0,1	0,0	0,0
Calcium(Ca)		0,7	1,3	0,6	0,0	0,6	1,9
Zinc(Zn)		2,7	1,0	0,4	0,2	-	2,0
Baryum (Ba)		-	-	0,0	0,0	-	0,0
Phosphore (P)		-	-	0,0	5,8	-	0,0
Polluant :	ppm						
Silicium(Si)		3,0	1,5	0,6	0,0	2,3	0,0
Sodium(Na)		1,5	2,7	0,6	0,0	1,2	0,1
Lithium (Li)		-	-	0,0	0,0	-	0,0
Potassium (K)		-	-	0,0	0,3	-	0,0

Résultats d'analyses de l'échantillon de l'huile TORBA 46 en service :

Point de prélèvement : Type Machine	Turbo- compresseur CD-603	Turbo- compresseur CD-603	Turbo- compresseur CD-603	Turbo- compresseur CD-603	Turbo- compresseur CD-603	Huile Neuve TORBA 46	
Tag Machine							
Observation	En service Appoint d'huile	Standby	En service appoint le 25/10/17	Appoint de 06 futs en Janvier 2017	En stand by	locale fabrique en Algérie	
Date de prélèvement	15/02/2019	31/08/2018	22/12/2017	07/08/2017	31/12/2016	22/12/2017	
Etat de l'huile	A suivre	-	-	-	-		
Caractéristiques							
Masse volumique à 20°C	Kg/L	0,8668	0,8667	0,8667	0,8665	0,8664	0,8662
Masse volumique à 15°C	Kg/L	0,8699	0,8697	0,8701	0,8700	0,8699	0,8696
Viscosité cinématique à 40°	cSt	48,57	51,28	48,45	48,46	48,29	45,20
Viscosité cinématique à 100°C	cSt	7,124	7,183	7,065	6,908	7,057	6,703
Indice de viscosité		104,4	94,54	102,75	96,96	102,98	100,65
Total Acid Number (TAN)	mgKOH/g	0,06	0,13	0,09	-	-	0,10
Point d'éclair	°C	234,0	234,0	226,0	228	-	208,0
Corrosion à la lame de cuivre	classe	1a	1b	1a	1a	1a	1a
Contaminants							
Teneur en eau et sédiments	%V/V	TND	Nulle	Nulle	Nulle	Nulle	Nulle
teneur en eau par karl Fisher	ppm	18,1	31,8	12,5	-	-	19,3
Teneur en soufre par RX	%poids	0,167	0,17	0,177	0,17	0,12	0,058
Éléments métalliques							
Usure:	ppm						
Fer(Fe)		0,4	0,1	0,0	0,0	0,2	0,2
Chrome(Cr)		0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Plomb(Pb)		1,2	0,0	0,8	0,0	0,5	0,0
Cuivre(Cu)		0,2	0,1	0,1	0,0	0,1	0,0
Etain(Sn)		0,3	0,0	0,1	0,5	0,0	0,2
Aluminium(Al)		0,1	0,0	0,1	0,8	0,0	0,0
Nickel(Ni)		0,4	0,0	0,1	0,0	0,1	0,0
Argent(Ag)		0,1	0,0	0,0	0,0	0,1	0,0
Molybdène(Mo)		0,3	0,0	0,1	0,0	0,5	0,0
Titane(Ti)		0,4	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0
Vanadium(V)		0,3	0,0	0,2	0,1	0,0	0,1
Cadmium (Cd)		-	-	0,0	0,0	-	0,0
Manganèse (Mn)		-	-	0,0	0,2	-	0,0
Antimoine (Sb)		-	-	0,4	0,4	-	0,0
Dopage :	ppm						
Bore(B)		0,2	0,1	0,0	0,0	0,1	0,0
Magnésium(Mg)		0,1	0,1	0,2	0,0	0,1	0,0
Calcium(Ca)		1,1	1,3	1,2	0,0	1,2	1,9
Zinc(Zn)		1,3	1,1	2,0	0,3	-	2,0
Baryum (Ba)		-	-	0,0	0,0	-	0,0
Phosphore (P)		-	-	0,0	1,5	-	0,0
Polluant :	ppm						
Silicium(Si)		2,2	1,3	0,5	0,0	3,3	0,0
Sodium(Na)		1,8	2,3	0,8	0,0	1,5	0,1
Lithum (Li)		-	-	0,0	0,0	-	0,0
Potassium (K)		-	-	0,1	0,0	-	0,0

Résultats d'analyses de l'échantillon d'huile de l'huile en service TEXACO EP 46 :

Identification de l'échantillon :	Huile Neuve TEXACO EP 46	Huile Neuve TEXACO EP 46	Spécifications de l'huile lubrifiante TEXACO EP 46
Date de prélèvement	07/08/2017	31/12/2016	
Etat de l'huile	Satisfaisant	-	-
Caractéristiques			
Masse volumique à 20°C	Kg/L	0.8598	0.8607
Masse volumique à 15°C	Kg/L	0.8633	0.8642
Viscosité cinématique à 40°	cSt	45.95	46.22
Viscosité cinématique à 100°C	cSt	6.877	6.845
Indice de viscosité		104.78	102.53
Total Acid Number (TAN)	mgKOH/g	-	-
Point d'éclair	°C	224.0	-
Point d'écoulement	°C	-15	-15
Point de congélation	°C	-18	-18
Couleur ASTM		L 0,5	L 0,5
Corrosion à la lame de cuivre	classe	1a	1b
Contaminants			
Teneur en eau et sédiments	%V/V	T.N.D	T.N.D
teneur en eau par karl Fisher	ppm	-	-
Teneur en soufre par RX	%poids	0.004	0,017
Éléments métalliques			
Usure:	ppm		
Fer(Fe)		0.0	0.0
Chrome(Cr)		0.0	0.0
Plomb(Pb)		0.0	0.2
Cuivre(Cu)		0.0	0.0
Etain(Sn)		0.2	0.0
Aluminium(Al)		0.8	0.0
Nickel(Ni)		0.0	0.1
Argent(Ag)		0.0	0.1
Molybdène(Mo)		0.0	0.6
Titane(Ti)		0.0	0.0
Vanadium(V)		0.2	0.2
Cadmium (Cd)		0.0	-
Manganèse (Mn)		0.0	-
Antimoine (Sb)		3.1	-
Dopage :	ppm		
Bore(B)		0.0	0.1
Magnésium(Mg)		0.0	0.0
Calcium(Ca)		0.0	0.1
Zinc(Zn)		0.0	4.1
Baryum (Ba)		0.0	-
Phosphore (P)		10.5	-
Polluant :	ppm		
Silicium(Si)		0.0	1.1
Sodium(Na)		0.0	0.6
Lithium (Li)		0.0	-
Potassium (K)		0.0	-

Point de prélèvement :		Turbo- compresseur CD-301B	Turbo- compresseur CD-301B	Turbo- compresseur CD-301B	Turbo- compresseur CD-301B	Turbo- compresseur CD-301B	Huile Neuve TEXACO EP 46
Type Machine							
Tag Machine							
Observation	En service	En service	En service	En service	En service	A l'arrêt depuis le 20/04/2014	-
Date de prélèvement	15/02/2019	01/09/2018	22/12/2017	07/08/2017	31/12/2016	07/08/2017	
Etat de l'huile	A suivre	-	-	-	-	-	-
Caractéristiques							
Masse volumique à 20°C	Kg/L	0,8593	0,8593	0,8596	0,8590	0,8603	0,8598
Masse volumique à 15°C	Kg/L	0,8624	0,8623	0,8630	0,8625	0,8638	0,8633
Viscosité cinématique à 40°	cSt	45,91	45,06	45,82	46,03	45,83	45,95
Viscosité cinématique à 100°C	cSt	7,102	7,281	7,046	6,887	7,046	6,877
Indice de viscosité		113,4	117,7	111,72	104,90	111,65	104,78
Total Acid Number (TAN)	mgKOH/g	0,17	0,14	0,07	-	-	-
Point d'éclair	°C	228,0	232,0	222,0	222,0	-	224,0
Corrosion à la lame de cuivre	classe	1b	1b	1a	1a	1a	1a
Contaminants							
Teneur en eau et sédiments	%V/V	Nulle	0,1	T.N.D	Nulle	T.N.D	T.N.D
teneur en eau par karl Fisher	ppm	33,4	30,7	2,3	-	-	-
Teneur en soufre par RX	%poids	0,00241	0,002	0,003	0,006	0,015	0,004
Éléments métalliques							
Usure:	ppm						
Fer(Fe)		0,2	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Chrome(Cr)		0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Plomb(Pb)		0,0	0,0	0,0	0,1	0,1	0,0
Cuivre(Cu)		0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Etain(Sn)		0,1	0,0	0,3	0,0	0,0	0,2
Aluminium(Al)		0,0	0,0	0,0	1,6	0,0	0,8
Nickel(Ni)		0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Argent(Ag)		0,0	0,0	0,1	0,0	0,4	0,0
Molybdène(Mo)		0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Titane(Ti)		0,3	0,0	0,2	0,1	0,0	0,0
Vanadium(V)		0,0	0,0	0,0	0,0	-	0,2
Cadmium (Cd)		-	-	0,0	0,1	-	0,0
Manganèse (Mn)		-	-	0,0	0,1	-	0,0
Antimoine (Sb)		-	-	0,6	3,3	-	3,1
Dopage :	ppm						
Bore(B)		0,1	0,0	0,0	0,1	0,0	0,0
Magnésium(Mg)		0,1	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0
Calcium(Ca)		0,1	0,6	0,0	0,0	0,0	0,0
Zinc(Zn)		1,3	0,4	0,3	0,4	0,0	0,0
Baryum (Ba)		-	-	0,0	0,0	-	0,0
Phosphore (P)		-	-	0,0	12,1	-	10,5
Polluant :	ppm						
Silicium(Si)		1,1	1,4	0,5	0,0	1,3	0,0
Sodium(Na)		2,9	1,1	0,2	0,0	0,8	0,0
Lithium (Li)		-	-	0,0	0,0	-	0,0
Potassium (K)		-	-	0,0	0,0	-	0,0

Résultats d'analyses de l'échantillon d'huile en service FODDA 68 :

Identification de l'huile		FODDA 68		Spécifications de l'huile
Observation		Huile neuve		
Date de prélèvement		07/08/2017	31/12/2016	
Etat de l'huile		Satisfaisant	-	
Caractéristiques				
Masse volumique à 20°C	Kg/L	0.8692	0.8702	
Masse volumique à 15°C	Kg/L	0.8727	0.8737	0,870 - 0,885
Viscosité cinématique à 40°C	cSt	70.76	71.43	61.2 – 74.8
Viscosité cinématique à 100°C	cSt	8.726	8.768	
Indice de viscosité		94.22	93.90	≥ 93
Total Acid Number (TAN)	mgKOH/g	-	-	
Point d'éclair	°C	172	-	
Point d'écoulement	°C	-9	-12	≤ -9
Point de congélation	°C	-12	-15	
Couleur ASTM		L2,0	L1.5	
Corrosion à la lame de cuivre	classe	2e	2e	
Contaminants				
Teneur en eau et sédiments	%V/V	T.N.D	T.N.D	
Teneur en eau par karl Fisher	ppm	-	-	
Teneur en soufre par RX	%Poids	0,45	0,36	0.390 – 0.477
Éléments métalliques				
Usure:		ppm		
Fer(Fe)		0.0	0.1	
Chrome(Cr)		0.0	0.0	
Plomb(Pb)		0.0	0.2	
Cuivre(Cu)		0.0	0.0	
Etain(Sn)		0.3	0.0	
Aluminium(Al)		0.8	0.0	
Nickel(Ni)		0.0	0.2	
Argent(Ag)		0.0	0.1	
Molybdène(Mo)		0.0	0.3	
Titane(Ti)		0.0	0.0	
Vanadium(V)		0.1	0.1	
Cadmium (Cd)		0.1	-	
Manganèse (Mn)		0.0	-	
Antimoine (Sb)		5.3	-	
Dopage :		ppm		
Bore(B)		0.0	0.2	
Magnésium(Mg)		0.0	0.1	
Calcium(Ca)		0.0	1.3	
Zinc(Zn)		1,1	6.0	
Baryum (Ba)		0.0	-	
Phosphore (P)		140.7	-	170-210
Polluant :		ppm		
Silicium(Si)		0.0	1.4	
Sodium(Na)		0.0	1.3	
Lithium (Li)		0.0	-	
Potassium (K)		0.0	-	

Point de prélèvement :							
Type Machine	Air compresseur	Air compresseur	Air compresseur	Air compresseur	Air compresseur	Huile Neuve FODDA 68	
Tag Machine	PT-401-03	PT-401-03	PT-401-03	PT-401-03	PT-401-03		
Observation	En service	En service	En service	En service	En service (*)		
Date de prélèvement	15/02/2019	31/08/2018	22/12/2017	07/08/2017	31/12/2016	07/08/2017	
Etat de l'huile	Prendre des mesures		-	-	-	-	
Caractéristiques							
Masse volumique à 20°C	Kg/L	0,8680	0,8673	0,8672	0,8656	0,8676	0,8692
Masse volumique à 15°C	Kg/L	0,8711	0,8713	0,8706	0,8691	0,8711	0,8727
Viscosité cinématique à 40°	cSt	72,61	75,07	73,55	70,09	69,49	70,76
Viscosité cinématique à 100°C	cSt	9,174	9,873	9,05	8,782	9,226	8,726
Indice de viscosité		101,1	108,6	96,5	96,96	108,83	94,22
Total Acide Number (TAN)	mgKOH/g	0,33	0,38	0,21	-	-	-
Point d'éclair	°C	202,0	214,0	212	214	-	172
Corrosion à la lame de cuivre	classe	4b	2c	2c	1a	1b	2e
Contaminants							
Teneur en eau et sédiments	%V/V	0,3	T.N.D	T.N.D	< 0,1	T.N.D	T.N.D
teneur en eau par karl Fisher	ppm	5016,5	97,7	13,8	-	-	-
Teneur en soufre par RX	%poids	0,262	0,17	0,154	0,19	0,21	0,45
Éléments métalliques							
Usure:	ppm						
Fer(Fe)		2,4	2,5	1,0	0,1	0,1	0,0
Chrome(Cr)		0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Plomb(Pb)		0,6	0,0	0,6	0,0	0,8	0,0
Cuivre(Cu)		1,9	0,0	0,1	0,0	0,0	0,0
Etain(Sn)		0,3	0,0	0,1	0,0	0,0	0,3
Aluminium(Al)		0,7	1,1	0,2	0,0	0,0	0,8
Nickel(Ni)		0,6	0,0	0,0	0,0	0,1	0,0
Argent(Ag)		0,1	0,0	0,0	0,0	0,1	0,0
Molybdène(Mo)		0,3	0,0	0,0	0,0	0,5	0,0
Titane(Ti)		0,4	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0
Vanadium(V)		0,2	0,0	0,1	0,0	0,0	0,1
Cadmium (Cd)		-	-	0,0	0,0	-	0,1
Manganèse (Mn)		-	-	0,0	0,0	-	0,0
Antimoine (Sb)		-	-	0,0	0,7	-	5,3
Dopage :	ppm						
Bore(B)		0,2	0,2	0,0	0,0	0,2	0,0
Magnésium(Mg)		0,3	0,9	0,0	0,0	0,1	0,0
Calcium(Ca)		0,5	25,6	1,6	0,0	1,2	0,0
Zinc(Zn)		11,4	7,6	5,2	3,3	4,6	1,1
Baryum (Ba)		-	-	0,0	0,0	-	0,0
Phosphore (P)		-	-	96,2	101,7	-	140,7
Polluant :	ppm						
Silicium(Si)		0,9	4,9	0,5	0,0	0,9	0,0
Sodium(Na)		1,5	3,0	0,4	0,0	1,1	0,0
Lithium (Li)		-	-	0,0	0,1	-	0,0
Potassium (K)		-	-	0,2	0,0	-	0,0

ANNEXE C

Stage hassi messaoud



ANNEXE C.1 : Extracteur des gazes contenues dans le réservoir.



ANNEXE C.2 : Turbine à gaz.



ANNEXE C.3 : Compresseur lié a la turbine.