



الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية
République Algérienne Démocratique et Populaire
وزارة التعليم العالي والبحث العلمي
Ministère de l'Enseignement Supérieure et de la Recherche Scientifique

جامعة وهران 2 محمد بن أحمد
Université d'Oran 2 Mohamed Ben Ahmed

معهد الصيانة و الأمن الصناعي
Institut de Maintenance et de Sécurité Industrielle

Département De Maintenance en Electromécanique

MÉMOIRE

Pour l'obtention du diplôme de Master

Filière : Génie industriel

Spécialité : Maintenance Fiabilité Qualité

Thème

Recyclage des Huiles usagées

Présenté et soutenu publiquement par :

Nom Prénom

Belabd Abdeslem et Belalia Aicha Nesrine

Devant le jury composé de :

Nom et Prénom	Grade	Etablissement	Qualité
M.Hebbar Chafika	Professeur	IMSI-Université D'Oran2	Président
M. belabbes abdellah	MCB	IMSI-Université D'Oran2	Encadreur
M. Bachir BOUIADJRA Bachir	MCB	IMSI-Université D'Oran2	Examineur

Année 2022/2023



Dédicace

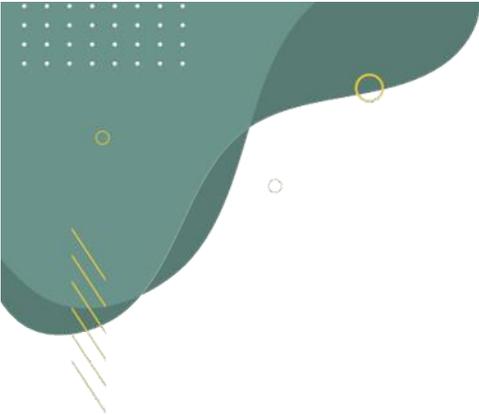
*C'est avec profond amour que je dédie cet humble
travail à : Mon Père et Ma Mère, spécialement Mon
Grand père*

*Et toutes ma famille en générale pour leurs soutiens et leurs encouragements,
Ma sœur. Mes Frères spécialement
*Abed elhafid * ALI **

*mes proches et toute ma promotion qui on était
toujours présent pour apporter leurs aides.
Amon binôme 'BELALIA Nessrine'.*

ABDESLEM





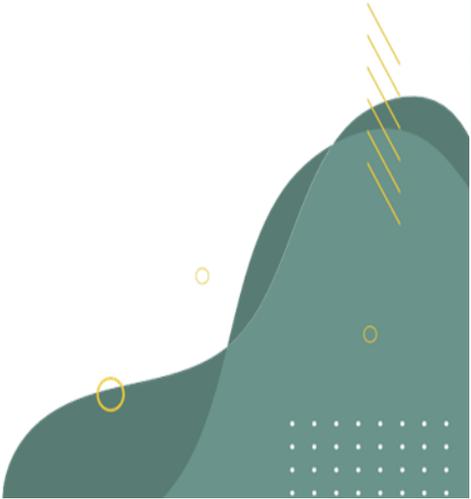
Dédicace

*C'est avec profond amour que je dédie cet humble
travail à :Mes chers parents adorés, spécialement Mon
Grand père*

*Et toutes mafamille en générale pour leurs soutiens et leurs encouragements, Ma
sœur. Mes Tantes spécialement
*Asma * Fatma * Fatiha**

*Mes amis proches *BEN ABDI Ahmed*et * Mrs
LAKHAL AAYT Abdeslam* et toute ma promotion
qui onétait toujours présent pour apporter leurs aides.
Amon binôme'BELABD Abdeslam'.*

Nessrine



Remerciements

Tout d'abord, nous remercions Dieu Tout-Puissant pour la grâce et le succès pour nous dans ce travail, et nous adressons également nos sincères remerciements au directeur de cette recherche, Mrs Belabbes Abdellah ,pour son aide et ses conseils tout au long de cette période de recherche,

Nous tenons à remercier également le président et les membres de jury d'avoir accepté de juger notre travail.

Nous remercions tous les professeurs de L'institut de maintenance et sécurité Industrielle Chnoufi Mohamed , en particulier le personnel enseignant du Département de Sécurité Industrielle . Tout comme nous ne pouvons oublier nos frères et collègues étudiants du département, que nous avons accompagnés pendant cinq ans avec son amertume et sa douceur.

SOMMAIRE

Dédicace.....	
Remerciement	
Sommaire	
Table des figures et tableaux.....	
Introduction générale	

Chapitre I :Les différents types des huiles usagées

I.1. Généralités sur les lubrifiants	06
I.2. Les huiles usagées	08
I.2.1. Définitions	09
I.2.1.1. Les huiles noires	10
I.2.1.2. Les huiles claires	11
I.3. Classification des huiles moteur	11
I.3.1. Classifications selon la SAE	12
I.3.2. Classifications selon l'API	13
I.3.3. Classifications selon l'ACEA	13
I.3.4. Classifications selon l'ILSAC	14
I.3.5. Classifications selon JASO	14
I.4. Contaminations des huiles usagées	15
I.4.1 Contamination liquide	15
I.4.2 Contamination solide	16
I.5. Le phénomène de dégradation	17
I.5.1. Le phénomène de contamination	16
I.6. Principaux contaminants Après utilisation, lorsque l'huile est considérée comme usagée, elle peut contenir les contaminants suivants :.....	19
I.6.1. Les halogènes	19

I.6.2. Les métaux	20
I.6.3. L'eau	22

Chapitre II : Les huiles usagées: statistiques et Impact sur l'environnement

II.1. Collecte des huiles usagées	24
II.2. Statistiques des huiles usagées	24
II.2.1. Huiles usagées en Algérie	24
II.2.2. Les huiles usagées. Union européenne	25
II.2.3. Les huiles usagées Asi.....	29
II. 3. Impacts des huiles usagées sur l'environnement	30
II.3.1. Impact négatif.....	31
II.3.1. Impact positif	31
II.4. Les conséquences de la non-récupération des huiles usagées	32
II .4.1 Sur le plan environnemental	32
II. 4. 2. Sur le plan santé	34
II.4.3. Le plan économique	36
II.5. Effets sur l'eau douce ainsi que sur les écosystèmes marins et terrestres..	36
II.5.1. Effets sur la pollution de l'air	38

Chapitre III : Traitement des huiles Usagées

III.1 .Partie expérimentale	40
III.2. les étapes de travail	40
III.2.1. La collecte des échantillons	40
III.2.2. Le processus de purification et de traitement primaire	40
III .3. Traitement chimique	41
III.3.1. Tests de qualité	42

III.3.1.1. Test infrarouge à transformée de Fourier (FTIR)	42
III.3.1.2. Tests physicochimiques	43
III.3.1.3 Test d'analyse par spectrométrie infrarouge à transformée de Fourier (IR FT).....	43
III.4. Poids spécifique	46
III.5. Le point d'éclair (Point Flash)	47
III.6. Point d'Aniline	48
III.7. La Pointe d'Écoulement	49
III.8. La viscosité	50
Conclusion	53
Références Bibliographiques	54

LISTE DES FIGURES :

Figure I.1: Futs des huiles usagées. [11]	08
Figure I.2: l'effet de température sur les huiles. [12]	12
Figure I.3: Relation entre la température et la viscosité des les huiles de moteur.[12].....	13
FigureII.1:le taux de collecte des huiles usagées dans quelques pays d'Europe	24
Figure II.2: Répartition du gisement 2011 d'huiles usagées moteurs par catégorie de détenteurs.....	27
Figure II.3: Evolution de la collecte des huiles usagées noires en métropole(en tonnes).....	29
Figure III.1. : d'échantillons A,B,C,D	42
FigureIII.2 : présente les spectres IR FT.....	44
Figure III. 3. Montre plusieurs oscillations dans la plage de 600-2000 cm-1 pour l'huile usagée.....	45
Figure III. 4. Le schéma représente les résultats des tests de poids spécifique pour les échantillons A, B, C et D.....	46
Figure III.5 : La présente un graphique des résultats du test de point d'éclair pour les échantillons (A, B, C, D).	48
Figure III.6 : Le schéma illustre graphiquement les résultats du test de la pointe d'aniline pour les échantillons (A, B, C, D).	49
Figure III.7: Graphique des résultats des tests de viscosité cinématique à 40°C pour les échantillons (A, B, C, D).	50
Figure III. 8: Graphique des résultats des tests de viscosité cinématique à 100°C pour les échantillons (A, B, C, D).....	51

LISTE DES TABLEAUX

Tableau I.1: Huiles générant des huiles usagées noires(3).....	10
Tableau I.2 : Huiles générant des huiles usagées claires.....	11
Tableau I. 3: Classifications selon l'ACEA. [12].....	14
Tableau I.4: Classifications selon l'ILSAC. [12]	14
Tableau I.5: Classifications selon JASO. [12]	15
Tableau I.6 : Teneurs en pourcentage en masse en contaminants solides et liquides d'huiles usagées de moteurs à essence et diesel.....	18
Tableau I.7 : teneur en hydrocarbure aromatiques	19
Tableau I.8 : Éléments provenant des additifs.....	21
Tableau I.9 : Métaux d'usure et pollution externe.....	22
Tableau II.1: Evolution de la collecte des huiles usagées en métropole (tonnes).....	28
Tableau.II.2 : résumant les impacts négatifs sur le milieu naturel	31
Tableau.II.3 : résumant les impacts positifs sur le milieu naturel	31
Tableau III.1. : les résultats de l'analyse des propriétés physicochimiques des différents échantillons d'huile.....	43
Tableau III.2 Les résultats de transmission.....	46

Introduction

Générale :

Introduction:

L'huile de lubrification, également appelée huile de graissage, est une huile utilisée pour lubrifier les moteurs à combustion interne. Son objectif principal est de lubrifier les pièces en mouvement et de faciliter le mouvement mécanique des moteurs et des différentes machines. Elle réduit les frottements, économise l'énergie et le carburant, améliore les performances et protège l'équipement de l'usure et de la détérioration. De plus, elle contribue au refroidissement du moteur pendant son fonctionnement en réduisant les températures de fonctionnement de ces équipements [1].

La plupart des huiles sont actuellement extraites du pétrole brut, auxquelles on ajoute des additifs pour améliorer leurs propriétés spécifiques. L'une des principales caractéristiques de l'huile utilisée pour la lubrification des pièces en mouvement est la viscosité, qui mesure le degré de variation de l'écoulement de l'huile en fonction de la température. La viscosité doit être suffisamment élevée pour assurer la lubrification des pièces en mouvement, tout en étant suffisamment faible pour permettre à l'huile de circuler entre les différentes parties du moteur [2].

La composition chimique de l'huile de base comprend des hydrocarbures paraffinés linéaires et ramifiés, des hydrocarbures naphthéniques, des composés aromatiques mono- et polycycliques, ainsi que des composés aromatiques naphthéniques avec des chaînes latérales paraffinées de différentes longueurs. Pendant la production des huiles de lubrification, les composés indésirables sont éliminés et les composés nécessaires sont préservés afin d'obtenir une huile de base possédant les propriétés physiques, chimiques et opérationnelles requises pour effectuer ses fonctions de manière optimale [3].

Les huiles moteur doivent avoir une excellente stabilité à l'oxydation pendant la combustion interne du moteur, ainsi qu'une capacité de pompage rapide à basse température pour assurer une lubrification complète des pièces du moteur au démarrage. C'est pourquoi des additifs supplémentaires sont ajoutés à l'huile moteur pour lui permettre de supporter des pressions élevées et des conditions de fonctionnement difficiles, tels que des additifs anti-oxydation pour prévenir l'oxydation de l'huile pendant le fonctionnement, ainsi que des additifs nettoyants et dispersants pour prévenir le dépôt de substances asphaltiques et résineuses sur les pièces du moteur [3].

Introduction

La formation de goudron ou la coloration sombre de l'huile après de longs trajets ne signifie pas nécessairement que l'huile a perdu son efficacité. En réalité, les huiles modernes de haute qualité contiennent des additifs nettoyants qui capturent les impuretés, les dépôts et les résidus de combustion, empêchant ainsi leur accumulation rapide sur les pistons après avoir parcouru plusieurs centaines de kilomètres. Ces impuretés sont ensuite éliminées avec l'huile lors de son remplacement, ce qui maintient le moteur propre et explique la coloration sombre de l'huile. En revanche, si l'huile reste propre et claire après avoir parcouru plusieurs milliers de kilomètres, cela indique que l'huile utilisée ne possède pas les propriétés nettoyantes nécessaires et il est alors nécessaire de la changer ou de la remplacer par un autre type d'huile [5].

Les additifs de viscosité sont également des additifs importants dans l'huile de lubrification, améliorant sa viscosité de manière significative pour obtenir des huiles pouvant fonctionner dans toutes les conditions climatiques. Des additifs spéciaux tels que des agents anti-mousse et des agents anti-rouille peuvent également être utilisés. Les additifs ajoutés à l'huile de base représentent généralement moins de 1 à 3% [4].

Les huiles de lubrification usagées sont considérées comme des déchets nuisibles pour la santé publique et l'environnement. Il est essentiel de les éliminer correctement en les déposant dans des endroits appropriés, et il ne faut en aucun cas les jeter dans l'environnement ou les déverser dans les égouts. En effet, un seul litre de ces déchets peut contaminer des millions de litres d'eau souterraine destinée à la consommation humaine ou aux besoins agricoles. Par conséquent, il est important de trouver des moyens de valoriser ces huiles usagées en les recyclant et en les réutilisant [4].

Le processus de recyclage de l'huile usagée est une opération qui vise à récupérer complètement ou partiellement l'huile utilisée et consommée, afin de la réutiliser ultérieurement. Le recyclage de l'huile moteur consiste à extraire les composants utiles de l'huile usagée et à les réutiliser après l'ajout de certains agents pour les rendre aptes à être réutilisés.

Le processus de recyclage nettoie l'huile usagée contenant des particules résultant de l'usure des pièces mobiles ainsi que des produits chimiques issus de la combustion, réduisant ainsi sa qualité de lubrification. Il permet également de récupérer les additifs qui y étaient ajoutés. L'huile obtenue à partir du processus de recyclage est appelée "huile de base" ou "huile stock", à laquelle on ajoute de l'huile de lubrification d'origine et d'autres substances pour la

Introduction

rendre utilisable à nouveau [5]. L'Agence de protection de l'environnement des États-Unis (EPA) définit les produits recyclés comme contenant au moins 25% d'"huile de base", bien que certains États, tels que la Californie, aient des définitions avec une proportion d'au moins 70% d'huile de base [5].

Au cours des deux dernières décennies, la question du recyclage des déchets a suscité un intérêt croissant à l'échelle mondiale. Par exemple, en 2010, la Commission européenne a lancé une stratégie appelée "Europe 2020" visant à orienter le développement économique de l'Europe d'ici 2020, avec des objectifs liés à la gestion des déchets : prévention, recyclage et élimination finale des déchets [6]. Sur le plan de la recherche et de la pratique, il existe de nombreuses méthodes de traitement des huiles usagées, telles que la raffinerie, la craquage thermique, la gazéification et la combustion [8,7]. La méthode de raffinage connaît une augmentation considérable dans les pays développés, où elle peut représenter jusqu'à 50% de la demande nationale en huiles de lubrification [11-9]. Parmi les techniques de raffinage, on trouve le traitement par acide/argile, la distillation/argile, le traitement chimique/distillation et l'extraction par solvant [12,13,7]. La méthode la plus couramment utilisée et la moins coûteuse est le traitement par acide/argile, qui représente environ 90% des autres méthodes [16,15,14].

Cette recherche se concentre sur le traitement de l'huile moteur usagée afin de la réutiliser en tant qu'huile de base, réduisant ainsi la pollution environnementale. La méthode utilisée est le traitement par acide/argile. Dans cette étude, deux acides différents (acide acétique et acide sulfurique) ont été utilisés pour le traitement des déchets d'huile moteur, suivi du traitement à l'argile. Il a été observé que l'acide acétique est moins nocif pour la sécurité, la santé publique et l'environnement par rapport à des acides forts tels que l'acide sulfurique, tout en étant efficace [18].

Chapitre I :

Les différents types
des huiles usagées

I.1. Généralités sur les lubrifiants

Les lubrifiants sont des substances utilisées pour réduire le frottement entre deux pièces en mouvement qui sont en contact. Les lubrifiants naturels peuvent se présenter sous différentes formes :

- Liquides ou fluides, tels que les huiles organiques et minérales.
- Consistants, tels que les graisses.
- Solides, tels que le graphite.

Un bon lubrifiant doit avoir une consistance ou une compacité adéquate, une résistance aux acides corrosifs, une fluidité appropriée, ainsi qu'un minimum de frottement ou de résistance au mouvement. Il doit également avoir des points de combustion et d'inflammation élevés, ainsi qu'une absence d'oxydation et d'encrassement [7].

Depuis la découverte du pétrole, l'utilisation rationnelle de ses différentes fractions a eu une influence significative sur l'environnement. Les utilisations massives liées à la consommation croissante d'hydrocarbures ont contribué à la détérioration de l'environnement, notamment par les émissions gazeuses telles que le COx, le NOx et le SOx dans l'atmosphère, ainsi que par les huiles usagées et les déchets dans les océans.

Le mot "lubrifiant", dérivé du latin "lubucos" signifiant "glissement", désigne un hydrocarbure liquide de couleur claire. En interposant ce liquide entre les surfaces en contact, il réduit le frottement et contribue à la protection contre l'usure des pièces en mouvement. Les lubrifiants prennent la forme de substances onctueuses et sont composés d'huiles de base et d'additifs dont la composition varie en fonction du type d'huile utilisée et des conditions d'utilisation.

La lubrification vise à réduire les frottements entre deux surfaces en mouvement et remplit plusieurs fonctions principales, parmi lesquelles on peut citer :

- Protection des surfaces métalliques.
- Protection contre la corrosion.
- Protection contre l'usure et le frottement.

Transmettre de la chaleur à l'énergie.

- Élimination des résidus et des impuretés.

- Diminution des bruits.
- Amélioration de l'étanchéité vis-à-vis des gaz et des liquides.
- Assurer l'isolation électrique [1].

La lubrification des pièces mécaniques des moteurs automobiles est fondamentale. Sans lubrification, les pièces qui frottent entre elles s'échauffent, entraînant des températures élevées susceptibles de provoquer le grippage des surfaces en contact, ce qui conduirait directement à leur destruction. Les huiles lubrifiantes sont indispensables pour assurer le bon fonctionnement du moteur. Elles sont composées de 70 à 85% d'huile de base auxquels sont ajoutés de 15 à 25% d'additifs soigneusement choisis pour conférer au lubrifiant ses propriétés. Elles possèdent plusieurs propriétés physico-chimiques qui doivent être préservées autant que possible pendant leur utilisation.

Dans un moteur, l'huile, dont la fonction essentielle est d'assurer la lubrification, est soumise à de nombreuses contraintes de plus en plus sévères, en lien avec le développement actuel des moteurs aux performances améliorées. Ces contraintes ont un impact néfaste sur la structure de l'huile. Une fois altérées, ses propriétés ne lui permettent plus de remplir correctement sa fonction et elle finit par perdre sa capacité lubrifiante.

Les huiles usées sont classées comme des déchets spéciaux dangereux. Elles peuvent causer une détérioration importante de l'environnement, se traduisant par une pollution de l'eau, du sol et de l'atmosphère.

Sur le plan national, le marché algérien des lubrifiants représente environ 180 000 tonnes par an, réparties comme suit : 75% pour les huiles moteurs, 19% pour les huiles industrielles, 3% pour les graisses et 3% pour les huiles d'aviation et marines. La quantité moyenne d'huiles usées récupérées par NAFTAL est de 90 000 tonnes par an, ce qui correspond à 50% du volume total des lubrifiants [2].

Les huiles lubrifiantes possèdent plusieurs propriétés physico-chimiques qui doivent être préservées autant que possible pendant leur utilisation

Dans un moteur, l'huile, dont la fonction essentielle est d'assurer la lubrification, se voit soumise à de nombreuses contraintes de plus en plus sévères, en rapport avec le développement actuel des moteurs aux performances améliorées. Ces contraintes agissent de manière néfaste sur la structure de l'huile. Une fois ses propriétés altérées, elle ne peut continuer à remplir sa tâche convenablement et finit par perdre sa qualité lubrifiante.

Les huiles usagées sont classées dans la catégorie des déchets spéciaux dangereux et peuvent engendrer une détérioration importante du milieu naturel. Cela se traduit par une pollution de l'eau, du sol et de l'atmosphère. La présente étude a pour objectif de représenter et d'étudier la meilleure technique parmi les différentes techniques disponibles pouvant convertir les huiles usagées en combustible propre qui répond aux exigences énergétiques et environnementales. Elle vise également à étudier les caractéristiques de ce combustible [3].

I.2. Les huiles usagées



Figure I.1: Futs des huiles usagées. [11]

D'une manière générale, toutes les huiles ayant été utilisées dans un processus de transformation et destinées à être abandonnées en raison de la perte de leurs propriétés physico-chimiques de base sont désignées par le terme "huiles usées". On distingue :

- Les huiles usées domestiques, qui sont des huiles alimentaires d'origine végétale ayant été utilisées pour la cuisson.
- Et les huiles usées industrielles, provenant des moteurs, des industries, des transformateurs, des circuits hydrauliques et des turbines. Les huiles étudiées dans notre étude appartiennent à cette deuxième catégorie.

Selon la législation béninoise en la matière, elles sont désignées comme des "huiles usagées". Le décret "N° 2003-330 du 27 août 2003" porte sur la gestion des huiles usagées en Algérie et les définit comme suit : "Toutes les huiles, issues du raffinage du pétrole brut ou synthétique, destinées à la lubrification ou à d'autres fins, et qui sont devenues impropres à leur usage original en raison de la présence d'impuretés ou de la perte de leurs propriétés initiales ; elles incluent les huiles lubrifiantes, les huiles hydrauliques, les huiles pour le travail des métaux et

les liquides isolants ou caloporteurs." Tout comme en Algérie, la réglementation française utilise le terme "huiles usagées", tandis que la réglementation canadienne utilise le terme "huiles usées". Dans ce document, la terminologie issue de la réglementation béninoise sera utilisée [4]

I.2.1. Définitions

Une huile usagée est une huile d'origine industrielle ou non, destinée à la lubrification et à d'autres applications, qui, après utilisation, devient contaminée. Une fois ses propriétés altérées, elle ne peut plus remplir efficacement sa fonction.

Cela s'applique aux lubrifiants moteur, aux liquides hydrauliques, aux liquides utilisés pour travailler les métaux, aux fluides isolants et aux liquides de refroidissement.

La composition d'une huile usagée, comme celle des huiles de moteur par exemple, est donc très variable et difficile à définir. Elle dépend, entre autres, du temps d'utilisation de l'huile, des additifs qu'elle contenait et du type de moteur utilisé.

De plus, lors de la collecte, les différentes sortes d'huiles usagées sont souvent mélangées, ce qui rend encore plus complexe leur composition et nécessite l'attention des recycleurs [1].

Les huiles de vidange sont des huiles usagées de moteur générées lors des opérations de vidange et d'entretien des véhicules. Les huiles usagées sont produites par l'utilisation de lubrifiants "moteurs", hydrauliques ou lors de la préparation de métaux. Les lubrifiants dits "industriels", utilisés dans divers secteurs d'activité tels que l'industrie, l'agriculture, les transports et les services techniques des collectivités, ont cinq applications principales :

- Le circuit hydraulique
- La turbine
- L'isolation
- Le traitement thermique des métaux
- Les fluides caloporteur

Deux principales catégories d'huiles usagées peuvent être distinguées [6]

I.2.1.1. Les huiles noires

Les huiles noires comprennent les huiles de moteurs et certaines huiles industrielles (huiles de trempe, de laminage, de tréfilage et autres huiles utilisées dans le processus d'usinage des métaux : ces huiles sont fortement dégradées et contaminées).

Ces huiles proviennent généralement de la lubrification automobile et représentent une part importante de l'ensemble des huiles usagées. Elles sont obtenues par un mélange de résidus lourds.

Le traitement de ces huiles noires est plus difficile et complexe en raison de leur forte dégradation et de la présence de contaminants. Les huiles noires sont collectées par des prestataires spécialisés dans des installations dédiées. Elles peuvent être utilisées pour produire de l'huile de base destinée à la lubrification des moteurs ou être incinérées dans des cimenteries et d'autres procédés [5].

Origine	Spécificité
Automobile	<ul style="list-style-type: none"> • Toutes les huiles finies pour moteurs essence, y compris les huiles dites mixtes. • Les huiles pour moteurs Diesel utilisées dans les voitures de tourisme. • Les huiles pour moteurs Diesel utilisées dans les véhicules utilitaires, y compris les applications marines. • Les huiles multifonctionnelles. • Les huiles pour transmissions automatiques. • Les huiles pour engrenages automobiles.
Industrielle	<ul style="list-style-type: none"> • Tous les fluides caloporteurs. • Les huiles pour le traitement thermique. • Les huiles pour compresseurs frigorifiques. • Les huiles pour compresseurs d'air à gaz. • Les huiles pour engrenages industriels.
Aviation	Huiles pour moteurs d'avions

Tableau I.1: Huiles générant des huiles usagées noires[3]:

I.2.1.2. Les huiles claires

Les huiles claires se composent des types suivants :

- Les huiles provenant des transformateurs, des circuits hydrauliques et des turbines. Elles sont généralement peu contaminées mais peuvent contenir de l'eau et des particules.
- Les huiles industrielles qui sont généralement moins dégradées, ce qui les rend faciles à valoriser en tant que matière première ou à récupérer sous forme d'huile de base [5]

Origine	Spécificité
Industrielle	<ul style="list-style-type: none"> • Les huiles pour mouvements. • Les huiles pour turbines. • Les huiles pour transmissions hydrauliques. • Les huiles isolantes pour transformateurs. • Les huiles non solubles pour le travail des métaux.
Industrielle / Automobile	Huile pour amortisseurs

Tableau I.2 : Huiles générant des huiles usagées claires

I.3. Classification des huiles moteur:

Pour choisir l'huile moteur adéquate, deux sortes de données sont requises. Il faut d'une part de la viscosité, et d'autre part de la qualité. Pour cette classification, plusieurs organisations ont vu le jour au cours des dernières décennies :

- **SAE** (Society of Automotive Engineers),
- **API** (American Petrol Institute);
- **ACEA** (Association des Constructeurs Européens d'Automobiles);
- **ILSAC** (International Lubricant Standardization and Approval Committee),
- **JASO** (Japanese Automotive Standards Organization)

Les principaux constructeurs automobiles européens (Mercedes-Benz, BMW, V...) se réfèrent à la SAE pour les données relatives à la viscosité et à l'ACEA pour les données relatives à la qualité. Les huiles moteur à utiliser pour les véhicules impor- tés

qui ont été développés en dehors de l'Europe (Toyota, Mitsubishi, Chrysler, etc.) sont basées principalement sur les normes API ou ILSAC et SAE et, dans le cas des véhicules diesel avec FAP, elles suivent de plus en plus la norme ACEA[16].

I.3.1. Classifications selon la SAE:

La viscosité donne uniquement des informations sur la viscosité (friction interne) d'une huile moteur ou de boîte de vitesses et ne définit pas de propriétés qualitatives. Cela signifie qu'une huile moteur présentant une viscosité selon la SAE possède une viscoélasticité imposée à différentes températures. La viscosité est divisée selon le démarrage à froid (par ex. 0W) et le fonctionnement à chaud (par ex. 30). Plus le nombre indiqué est élevé, plus l'huile moteur de boîte de vitesses est liquide dans la plage de températures correspondante. La lettre « W » représente les performances de l'huile en hiver (huile polyvalente). Si cet additif manque, l'huile peut uniquement être utilisée en été.

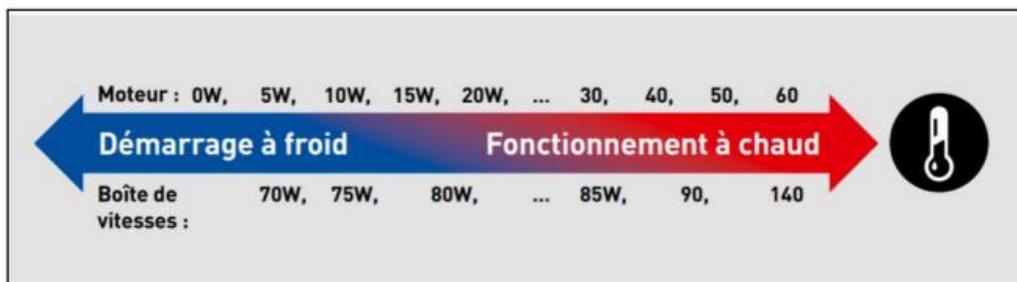


Figure I.2: l'effet de température sur les huiles. [12]

La température limite à laquelle une huile moteur / de boîte de vitesses peut être utilisée dépend de la fluidité dans la plage de température limite. Plus la température visée est basse, plus l'huile doit être fluide.

 Température limite pour l'huile moteur		 Viscosité à basse température (max. 150.000 mPa*s)	
SAE 0W	- 40 °C	SAE 70W	- 55 °C
SAE 5W	- 35 °C	SAE 75W	- 40 °C
SAE 10W	- 30 °C	SAE 80W	- 26 °C
SAE 15W	- 25 °C	SAE 85W	- 12 °C
SAE 20W	- 20 °C		
SAE 25W	- 15 °C		

Figure I.3: Relation entre la température et la viscosité des les huiles de moteur. [12]

I.3.2. Classification selon l'API:

La classification selon l'API (American Petroleum Institute) est basée sur les performances et la qualité de l'huile moteur. L'API divise les huiles en différentes catégories, telles que API SN, API CJ-4, API CI-4, etc. Chaque catégorie correspond à des exigences spécifiques en matière de performances et de protection du moteur. Ces classifications permettent aux consommateurs de choisir l'huile moteur appropriée en fonction des recommandations du fabricant du véhicule et des exigences spécifiques du moteur.

I.3.3. Classification selon l'ACEA:

L'Association des Constructeurs Européens d'Automobiles (ACEA) établit les normes relatives aux huiles pour les constructeurs automobiles européens. Tout comme l'API, l'ACEA distingue entre les huiles pour moteurs essence (catégorie A) et les moteurs diesel légers (catégorie B). Cependant, contrairement à l'API, chaque catégorie de l'ACEA possède sa propre signification et n'est pas rétro compatible. Cela signifie que chaque catégorie d'huile ACEA est spécifiquement conçue pour répondre aux exigences particulières des moteurs essence ou diesel légers, et elles ne peuvent pas être utilisées de manière interchangeable. (12)

5.3.1	Moteurs essence et diesel de voiture
A1/B1	Huile moteur haute performance pour les moteur essence et diesel ,appelée huile Moteur à économie de carburant avec viscosité High-Tempe-Rature-High-Shear-Particulièrement basse (2 ,9 – 3,5 Mpa*s)
A3/B4	L’huile moteur haute performance pour les moteurs essence et diesel sur passe et remplace les huiles moteur conventionnelles telles que ACEA A2/B2 ou A3/B3 et peut etre employée pour des intervalles de vidange prolongés .
A5/B5	Huile moteur haute performance pour les moteur à essence et diesel ,appelée huile moteur à économie denergie avec viscosité High-Tempe-Rature-High-Shear-Particulièrement basse (2 ,9 – 3,5 Mpa*s) .convient au grade de viscosité xW-30

Tableau I. 3: Classifications selon l’ACEA. [12]

I.3.4. Classifications selon l’ILSAC:

Dans le domaine de la classification des huiles moteur, le Comité international de normalisation et d’homologation des lubrifiants (ILSAC) se base largement sur la classification de l’API. Il en résulte cinq catégories pour les moteurs essence. Toutefois, la norme ILSAC ne prend pas en compte les moteurs diesel. [12].

ILSAC	
GF-1	Année d’introduction 1996, comparable à API SH, Catégorie non actuelk
GF-2	Année d’introduction 1997, comparable à API SJ
GF-3	Année d’introduction 2001, comparable à API SL
GF-4	Année d’introduction 2004, comparable à API SM
GF-5	Année d’introduction 2010, comparable à API SN

TableauI.4: Classifications selon l’ILSAC. [12]

I.3.5. Classifications selon JASO:

L’Organisation japonaise des normes automobiles (JASO) définit les critères pour les huiles utilisées dans les deux-roues. Des exigences supérieures sont nécessaires en termes de comportement de friction (pour les embrayages à bain d’huile), de stabilité au cisaillement et

de comportement lors de la combustion. Les classifications de la JASO et de l'API sont toujours utilisées conjointement dans le domaine des deux-roues. [12].

JASO	
MA	Moteurs 4 temps - coefficient de friction élevé pour motos avec embrayage à bain d'huile
MA 2	Moteurs à 4 temps - coefficient de frottement élevé pour tes motos équipées d'une boîte de vitesses à embrayage humide
MB	Moteurs 4 temps - faible coefficient de friction pour moto sans embrayage à bain d'huile
FB	Moteurs 2 temps - faible nettoyage, combustion incomplète
FC	Moteurs 2 temps - nettoyage élevé, combustion pratiquement complet
FD	Moteurs 2 temps - nettoyage optimal, combustion complète

Tableau I.5: Classifications selon JASO. [12]

I .4.Contaminations des huiles usagées

Les huiles usagées sont toutes les huiles à base de pétrole ou les huiles synthétiques qui ont déjà été utilisées. Pendant leur utilisation, les huiles peuvent se contaminer avec de l'eau, des produits chimiques, des particules métalliques et des impuretés, ce qui entraîne une dégradation de leurs propriétés et la nécessité de les remplacer par de l'huile neuve.

Les huiles neuves sont des mélanges composés d'une huile de base (minérale ou synthétique) et d'additifs (entre 15 et 25%). La nature de l'huile de base et des additifs détermine la possibilité de régénération et la possibilité de former des PCDD/PCDF (dioxines et furannes polychlorés) dans les raffineries d'huiles usagées.

I.4.1 Contamination liquide

La contamination liquide la plus couramment observée dans l'huile est l'eau, qui est également la plus destructrice. L'eau peut se retrouver dans l'huile en raison d'une augmentation de la température. Sa présence peut provoquer l'oxydation, réduire la viscosité de l'huile et entraîner

la corrosion des surfaces métalliques. De plus, elle peut favoriser la condensation à l'intérieur du moteur à basse température. Une dilution sévère de l'huile entraîne une baisse de la concentration des additifs et de leur efficacité, ce qui entraîne une diminution de la viscosité au fur et à mesure de l'utilisation de l'huile [5].

I.4.2 Contamination solide

Les huiles usagées peuvent être contaminées par des particules solides provenant de différentes sources :

- Les frottements des éléments mobiles qui génèrent des particules d'usure.
- Une étanchéité insuffisante peut entraîner l'entrée de particules externes.
- Lors de l'ouverture du réservoir pendant la vidange ou lors de la vérification du niveau d'huile, des poussières atmosphériques peuvent contaminer l'huile.
- Les résidus de combustion peuvent provoquer de l'usure et l'influence des suies peut également contribuer à la contamination [5].

I.5.Le phénomène de dégradation

La dégradation des huiles usagées est causée par l'oxydation du lubrifiant sous l'effet de la température et de l'oxygène de l'air. Les particules métalliques provenant de l'usure du moteur ou des installations électriques agissent comme des catalyseurs lors de la lubrification.

I.5.1. Le phénomène de contamination

L'utilisation des huiles lubrifiantes peut entraîner des phénomènes de contamination d'autres éléments en contact avec les pièces en mouvement de la machine.

L'eau de refroidissement peut contenir des éléments chimiques indésirables, ce qui la rend impure [7].

Les effets de la contamination se manifestent par les faits suivants :

- Les particules solides non miscibles avec les lubrifiants peuvent provoquer de l'usure par abrasion.
- Les contaminants solubles tels que les solvants organiques et les hydrocarbures, ainsi que les contaminants non solubles tels que l'eau, altèrent les propriétés physiques de l'huile.

- Des impuretés et des poussières de l'atmosphère. Elles peuvent pénétrer dans le moteur lors de l'admission d'air, notamment en cas de filtre à air inefficace ou inexistant.
- Les reniflards, la jauge d'huile, les joints de collecteur d'admission non étanches peuvent également permettre l'introduction de contaminants dans le moteur.
- L'huile et le carburant peuvent être source de souillure avant leur utilisation, notamment en raison d'un manque de précaution lors de la manipulation ou du stockage.

Les différents éléments de la phénomène de contamination :

a) De l'eau : elle peut provenir de la condensation à l'intérieur des moteurs en raison d'une température insuffisante, de la respiration des carters, notamment dans des conditions atmosphériques humides (en raison des variations de pression pendant le fonctionnement et des influx d'air à l'arrêt), de fuites au niveau des joints de culasse, des joints de chemises humides ou des blocs cylindriques (ces fuites peuvent parfois être très faibles et difficiles à détecter). Les fuites de mélange eau et antigel sont encore plus préjudiciables que l'eau seule.

Des abrasifs divers, comprenant :

- Le sable de fonderie qui peut rester dans les pièces depuis la coulée.
- Les produits de rodage des soupapes, utilisés sous forme de pâtes ou de suspensions solides.
- Les poussières et copeaux métalliques provenant des opérations d'usinage.
- Les produits utilisés pour le sablage des bougies.
- Les particules utilisées pour le grenailage après le démoulage des pièces de fonderie.

b) Le carbone : il provient de la combustion des produits de carburant dans l'huile du carter. Cette forme de pollution peut atteindre des niveaux très élevés, notamment dans le cas des moteurs Diesel fonctionnant en surcharge, avec des filtres à air encrassés (réduisant la qualité de l'air nécessaire à la combustion), des injecteurs et des systèmes d'injection déréglés ou usés, etc. Le carbone ou la suie est responsable de la formation de dépôts dans les moteurs.

c) Les sels de plomb: ils proviennent de la combustion des essences au plomb.

d) Les carburants et les combustibles : ils peuvent se mélanger à l'huile en raison de la dilution (défaut du circuit d'alimentation, mauvaise combustion, fonctionnement du moteur à froid, etc.).

e) **Divers produits** : peinture ou revêtements internes des moteurs, débris de chiffons de nettoyage, pâte à joint, produits chimiques de nettoyage, etc.

Un autre groupe de contaminants est constitué par les produits d'usure des moteurs, qui peuvent être :

- Du fer, provenant des pièces en fonte et en acier.
- Du cuivre, de l'étain et du plomb, résultant généralement de l'usure des coussinets et des paliers.
- Du chrome, dans le cas de l'utilisation de segments et de surfaces de contact chromés, ou d'une eau de refroidissement contenant du bichromate de soude.
- De l'aluminium, causé par l'usure des pistons.
- Et d'autres métaux divers.

Selon de nombreuses analyses réalisées lors de la surveillance de la lubrification des moteurs en service, les concentrations en carburants solides et liquides dans les huiles détergentes usagées des moteurs essence et diesel de type automobile évoluent dans les limites indiquées dans le tableau suivant

consommation	Essence(%)	Diesel(%)
carburant	1 à 5	0.5 à 0.2
Abrasifs	0.05 à 0.20	0.05 à 0.20
Composés de plomb	Néant	0.05 à 0.20
Eau	0.2 à 0.5	0.2 à 0.5
Produis d'altération	Traces à 0.5	Traces à 0.5
Produis d'altération	De 1 à 5	De 1 à plus de 10

Tableau I.6 : Teneurs en pourcentage en masse en contaminants solides et liquides d'huiles usagées de moteurs à essence et diesel

A l'exclusion du carburant et de l'eau, éléments malheureusement peu "filtrables", les autres contaminants à éliminer d'une huile usagée représentent généralement entre 2% et 10% du poids total de l'huile. En l'absence d'un système de filtration d'huile, une valeur moyenne de pollution pour des huiles usagées de moteurs à essence est d'environ 8 à 10 g/l pour les divers contaminants, dont la combustion produit environ 2 à 2,5 g/l de cendres composées de produits métalliques.

Les dimensions des contaminants solides présents dans les huiles varient considérablement. La majorité d'entre eux ont une taille d'environ 5 µm. En ce qui concerne les particules de carbone ou de suie, leurs dimensions restent généralement dans des limites étroites, variant de 0,1 à 2 µm, tant que ces produits demeurent dispersés dans l'huile.

I.6.Principaux contaminants Après utilisation, lorsque l'huile est considérée comme usagée, elle peut contenir les contaminants suivants : [6]

PCB (Biphényles polychlorés) Les biphényles polychlorés, ou PCB, sont des composés synthétiques formés de deux noyaux "benzéniques" liés par l'un de leurs sommets, avec la possibilité de substitution de jusqu'à dix atomes d'hydrogène par des atomes de chlore. Ils se caractérisent par leur grande stabilité thermique, chimique et biologique. Les PCB sont peu solubles dans l'eau, mais très solubles dans les graisses, les huiles et les liquides non polaires. Les PCB étaient utilisés comme plastifiants, dans les fluides hydrauliques, les lubrifiants, les composés d'étanchéité, ainsi que comme isolants dans les transformateurs et les condensateurs électriques. Ils étaient largement utilisés comme fluides diélectriques dans les transformateurs et les condensateurs. Les PCB sont présents dans de nombreux produits courants tels que les plastiques, les papiers d'emballage, les papiers carbone, les encres d'imprimerie, les peintures et les pneumatiques.

Selon les réglementations sur les substances dangereuses, la concentration maximale autorisée en PCB dans une huile usagée utilisée à des fins énergétiques, dans des chaudières ou des fours industriels, ne doit pas dépasser 50 mg/kg, et 3 mg/kg pour toute autre installation.

Poluant	Exmple	source
Hydrocarbure aromatique	polynucléaires	Pétrole base lubrifiante
Hydrocarbures mononucléaires	Alkylbenzènes	Pétrole base lubrifiante
ydrocarbures di-nucléaires	Naphtalènes	Pétrole base lubrifiante

Tableau I.7 : teneur en hydrocarbure aromatiques

I.6.1.Les halogènes:

Les halogènes Les halogènes font partie d'une famille d'éléments comprenant le fluor, le chlore, le brome, l'iode et l'astate. Parmi eux, le chlore, le brome et le fluor sont largement utilisés dans la synthèse de produits organiques. Les composés organiques halogénés sont employés dans presque tous les secteurs de l'industrie, et le soufre se retrouve dans les produits dérivés du pétrole.

Les halogènes et le soufre font partie des contaminants visés par les réglementations sur les substances dangereuses, car lors de la combustion des produits pétroliers, des acides (comme l'HCl ou l'HBr) et des oxydes de soufre sont libérés, pouvant oxyder et former de l'acide sulfurique.

Selon les réglementations sur les substances dangereuses, la concentration maximale autorisée en halogènes totaux dans les huiles usagées utilisées à des fins énergétiques dans des équipements de combustion d'une puissance supérieure à 10 MW ne doit pas dépasser 1500 mg/kg, et la concentration maximale autorisée dans les autres équipements de combustion ne doit pas dépasser 1000 mg/kg.

Également, les réglementations interdisent l'utilisation à des fins énergétiques des huiles usagées dont la teneur en soufre dépasse 1,5 % (masse/masse) en poids, ainsi que toute matière dangereuse résiduelle autre que des huiles usagées dont la teneur en soufre dépasse 2,0 % (masse/masse) en poids.

I.6.2. Les métaux:

Les métaux Les métaux sont principalement émis dans l'environnement par l'industrie minière et métallurgique. L'ingestion de métaux par l'homme peut entraîner des empoisonnements aigus ou chroniques. Le système gastro-intestinal, le système nerveux, le système cardiovasculaire, le système respiratoire et la peau sont les principaux systèmes affectés par une exposition chronique à certains métaux. La présence de métaux sur les particules présentes dans l'air peut être liée à l'industrialisation. Les principales sources de métaux dans l'environnement sont les émissions de l'industrie sidérurgique et des industries connexes, les émissions des véhicules automobiles et les centrales produisant de l'énergie à partir de la combustion du charbon. L'ingestion d'une grande quantité de métaux tels que le cadmium, le chrome, le cobalt, le cuivre, le fer, le magnésium, le manganèse, le nickel, le plomb, le vanadium et le zinc peut causer des troubles du système nerveux, du système respiratoire et du système sanguin, et peut même être mortelle pour certains animaux.

Eléments	Concentrations habituelles totales ppm	Composés d'origines	Additifs d'origine
ai	5a30	Stéarates ou hydroxystéarates	Graisse
ca	2000a3000	sulfonâtes, phénates, salicylates, savons de calcium	Additifs détergents et antioxydants inhibiteurs de corrosion, graisse
ci	300 à 600	Paraffines chlorées, PCB	Agents anti usure, fluides hydrauliques isolants, caloporteurs, huiles extrêmes Pression
b	47 a 100	Borax ou esters, borates, acide borique	Additifs anti usure, extrême pression antioxydant dispersant, réducteur de frottement
cu	25a 24	Dithiophosphates, naphthénates	Additifs antioxydants, anti usure
mg	100a 300	Sulfonâtes, phénates, salicylates	Additifs détergents, inhibiteurs
N	700a 900	Succin imides, amines, polyurie	Additifs dispersants, antioxydants, graisse
Na	50a 100	Sulfonâtes, stéarates	Additifs antirouille, savon de graisse
P	800a 1200	Phosphates, phosphonates, phosphites, Dithiophosphates	Additifs anti usure, antioxydants, anticorrosion
Pb		Dithiophosphates, naphthénates	Additifs extrême pression, savon de graisse
S%	0.7a 0.9	Phénates sulfure, sulfonâtes, Dithiophosphates thiophosphonates, dithiocarbamates,	Additifs détergents, anti usure, additifs, extrême pression, antioxydants

Tableau I.8 : Éléments provenant des additifs

Eléments	Ppm	Provenance
Ai		Usure piston et coussinets Al-Sb
Ca		Poussières atmosphériques, eau dure du circuit de Refroidissement
Fe	10 à 100	Usure et corrosion des aciers et des fontes
B		Inhibiteurs de corrosion provenant de l'eau de Refroidissement
Cu		Usure et corrosion des coussinets et des métaux cuivreux
Mg		Usures et corrosion des alliages légers au Mg
Ni	3 à 5	Usure et corrosion de certaines fontes et aciers alliés
Na		Présence sous forme Na Cl
P		Usure et corrosion des fontes à chemises et à segments
Pb		Dilution par le carburant, usure et corrosion de revêtements de coussinets
Si		Poussières atmosphériques, usure et corrosion de saciers sillicités, anticorrosifs de l'eau de refroidissement.

Tableau I.9: Métaux d'usure et pollution externe

I.6.3. L'eau :

L'eau doit être absente de l'huile usagée. L'eau favorise l'oxydation et la corrosion et peut générer des risques d'émulsion. Sa présence peut signifier : - L'existence d'un phénomène de condensation qui peut être dû à un prélèvement réalisé à froid, ou sur un moteur ayant subi un arrêt prolongé. - Il est à relever que dans le cas d'une infiltration de liquide de refroidissement, il y a évaporation de l'eau due à la température de fonctionnement.

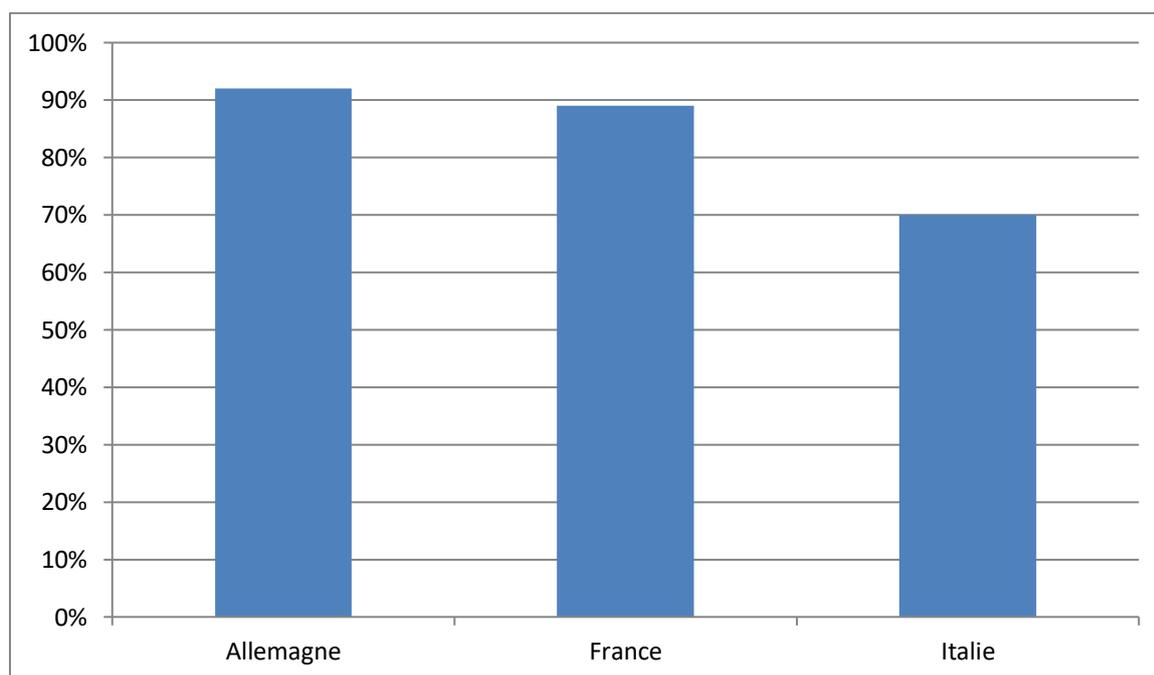
Chapitre II

Les huiles usagées: statistiques et Impact sur l'environnement

II.1. Collecte des huiles usagées :

Après utilisation, les lubrifiants deviennent toxiques pour le sol, l'eau et les écosystèmes. En 2005, environ 37,9 millions de tonnes d'huile de lubrification ont été utilisées dans le monde et l'augmentation de sa consommation était estimée à 1,2% par an [15].

La collecte, le regroupement et le transport des huiles usagées provenant de plusieurs détenteurs sont assurés par des collecteurs d'huiles usagées. Les États européens ont mis en place des systèmes performants de collecte qui sont contrôlés et financés selon des règles propres à chaque pays [1].



Histogramme II.1:le taux de collecte des huiles usagées dans quelques pays d'Europe

II.2. Statistiques des huiles usagées:

II.2.1. Les Huiles usagées en Algérie :

Le recyclage des huiles industrielles usagées est encore une activité inexploitée en Algérie, en l'absence d'unités spécialisées pour traiter ces déchets. Les 180 000 tonnes d'huiles lubrifiantes utilisées chaque année dans les secteurs des transports et de l'industrie ont généré près de 90 000 tonnes d'huiles usagées, soit 50 % du total des huiles lubrifiantes, selon le ministère de l'Environnement. Parmi ces déchets, 72 000 tonnes correspondent aux huiles moteur (huiles noires), tandis que les 18 000 tonnes restantes sont des huiles synthétiques (huiles pures) [16].

En Algérie, la gestion des huiles usagées se limite principalement à l'activité de collecte, assurée par une dizaine de collecteurs agréés par le ministère de l'Environnement. Cependant, ces collecteurs ne parviennent même pas à ramasser tous les déchets générés.

Parmi ces collecteurs, on trouve des petites et moyennes entreprises (PME) privées qui disposent de moyens limités, ainsi que le groupe Naftal, engagé dans cette activité depuis 1986. Depuis cette date, Naftal a réussi à collecter plus de 250 000 tonnes de lubrifiants usagés, ce qui représente environ 20% à 25% de la quantité générée annuellement.

Bien que la quantité collectée par Naftal dans toutes les wilayas du pays soit importante, elle reste insuffisante par rapport aux quantités de lubrifiants usagés générées chaque année.

II.2.2. Les Huiles Usagées dans Union européenne:

Les données sur les huiles usagées générées dans certains pays européens (les parties récupérables et les huiles lubrifiantes collectées dans l'UE) ont été rapportées par le département américain de l'Énergie. Selon les sources de la Commission européenne, environ 5 millions de tonnes d'huiles de base sont consommées chaque année en Europe, avec les secteurs automobile et industriel représentant respectivement 65 % et 35 % de cette consommation. Des informations plus détaillées sur les huiles usagées sont les suivantes :

- 50 % de l'huile consommée est perdue lors de son utilisation (par combustion, évaporation ou résidus laissés dans les contenants).
- 50 % des huiles usagées sont récupérables.
- Les huiles moteur représentent plus de 70 % des huiles usagées récupérables (soit 1,75 million de tonnes).
- Les huiles industrielles constituent le reste, soit 30 %.
- Le taux moyen de collecte des huiles usagées atteignait 70 à 75 % dans l'UE en 2000 (soit 1,25 million de tonnes).
- Les 25 à 30 % restants sont supposés être brûlés ou déversés illégalement dans l'environnement.
- Ces phénomènes varient considérablement d'un pays à l'autre.
- L'efficacité des systèmes de collecte est souvent élevée pour les huiles moteur (> 80 %) et faible pour les huiles industrielles usagées (< 10 %).

- En 1999, en moyenne, 25 % des huiles usagées collectables (soit 33 % des huiles usagées collectées) étaient envoyées dans les usines de régénération, tandis qu'environ 50 % des huiles usagées étaient utilisées à des fins énergétiques dans l'UE en 1999.
- Les fours rotatifs des cimenteries jouent un rôle important dans l'utilisation énergétique des huiles usagées [17].

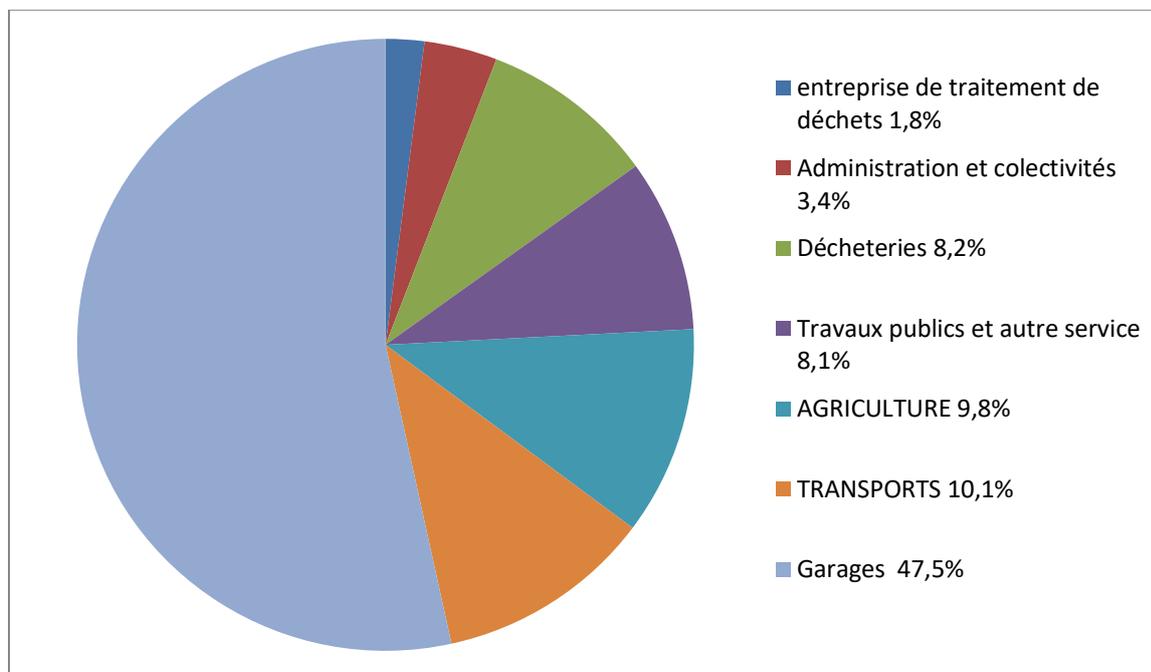
Le volume des huiles usagées collectées en France dépasse les 200 000 tonnes par an. Ces huiles sont principalement collectées auprès des garages, des fabricants et des transporteurs par une cinquantaine d'entreprises agréées par le gouverneur du département. Le traitement de ces huiles est en grande partie assuré par des installations de régénération qui recyclent les lubrifiants, ainsi que par les cimenteries, les fours à chaux, et autres.

Au niveau européen, la collecte et l'élimination des huiles usagées sont régies par l'article 21 de la directive 2008/98/CE relative aux déchets, récemment modifiée par la directive 2018/851 du 30 mai 2018.

En 2011, les quantités d'huiles usagées produites s'élevaient à 315 696 tonnes en France. Cela représentait une augmentation de 2,2 % par rapport à 2010, et les dépôts d'huiles usagées de l'industrie automobile ont augmenté de 1,5 %, soit 3 489 tonnes supplémentaires, équivalentes à la quantité annuelle déposée par une section démographique moyenne.

Cette augmentation est principalement due à une hausse des dépôts d'huiles moteur usagées pour voitures particulières (+2,2 %), tandis que les charges d'huiles moteur usagées pour véhicules industriels sont restées quasiment stables entre les deux années. En revanche, les gisements d'huiles usagées provenant d'avions et d'autres moteurs ont connu une forte diminution de 7,5 % entre 2010 et 2011.

Les applications automobiles représentaient, comme en 2010, environ 73 % des gisements de pétrole traités en 2011, soit 114 229 tonnes. Malgré la baisse du marché des lubrifiants industriels, la production d'huiles usagées d'origine industrielle a augmenté de 4 % en 2011 par rapport à 2010 (+3 323 tonnes), grâce à une augmentation du tonnage net d'huiles usagées [18].



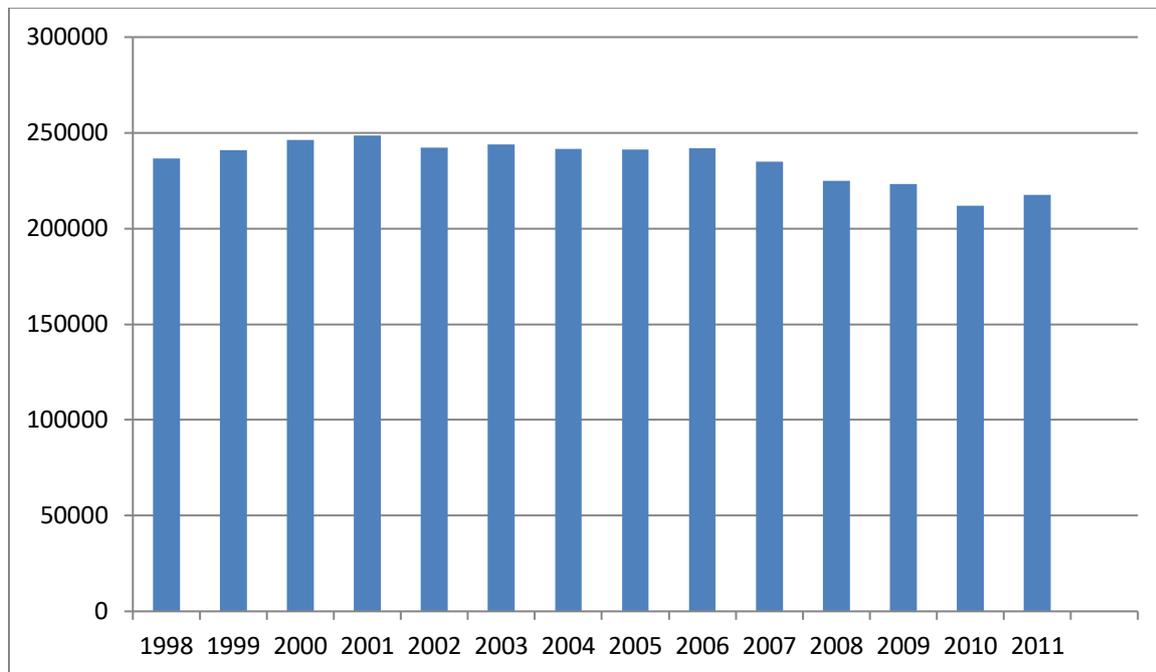
Histogramme II.2: Répartition du gisement 2011 d'huiles usagées moteurs par catégorie de détenteurs

Après plusieurs années de réductions successives, la gamme d'huiles usagées a été élargie jusqu'en 2011 pour inclure les catégories d'huiles moteur usagées, d'huiles synthétiques noires et d'huiles synthétiques légères. Ainsi, le total des huiles noires usagées s'élève à 215 345 tonnes contre 210 198 tonnes en 2010, soit une augmentation de 2,4 %. La collecte des huiles noires industrielles est restée relativement stable, tandis que la collecte nette des huiles industrielles a fortement augmenté. Pour la première fois, la quantité nette d'huiles usagées collectées a dépassé le seuil des 2 000 tonnes.

Cette évolution du groupe des huiles noires usagées s'explique en partie par l'augmentation de 1,1 % des dépôts d'huiles moteur usagées constatée entre les deux années. La collecte des huiles moteur usagées dépasse à nouveau le seuil des 200 000 tonnes

Années	Huile moteur usagées	Huile industrielle Noire usagées	Huile industrielle Claires usagées	total
1998	224240	10965	1486	236691
1999	223996	15689	1247	240932
2000	228419	16764	1118	246301
2001	235582	12096	969	248647
2002	229054	12247	966	242267
2003	231674	11381	886	243941
2004	230268	10455	786	241509
2005	230265	10536	476	241277
2006	229867	11317	614	241798
2007	223753	10694	398	234845
2008	214861	9030	868	224795
2009	214864	7553	994	223411
2010	197805	12393	1671	211869
2011	202752	12593	2318	217663

Tableau II.1: Evolution de la collecte des huiles usagées en métropole (entonnes^o)



**Histogramme II.3: Evolution de la collecte des huiles usagées noires en métropole
(en tonnes)**

II.2. 3. Les huiles Usagées en Asie :

La région asiatique est le plus grand marché mondial pour les huiles lubrifiantes, représentant 30 % de la demande mondiale, avec les qualités automobiles constituant le segment le plus important. Selon l'EPA, les huiles moteur usagées représentent à elles seules 0,67 million de tonnes d'huiles usagées par an. De plus, il est noté qu'il faut moins d'énergie pour produire un gallon d'huile de base re-raffinée que pour produire un gallon d'huile de base à partir de pétrole brut.

Le potentiel de croissance des huiles lubrifiantes dans divers pays asiatiques devrait varier de 0,5 % à 4,8 % par an pour la période de 2005 à 2010. Le Japon présente le taux de croissance le plus bas à 0,5 %, tandis que la Chine affiche le taux le plus élevé à 4,8 %, suivie de près par l'Inde avec 4,6 %. De plus, en ce qui concerne les huiles de base de groupe II, l'Asie est en train de passer aux groupes II/II+. La demande croissante en huiles lubrifiantes en Asie est principalement portée par la Chine. Les projections pour 2010 prévoyaient une demande de 5,5 millions de tonnes de lubrifiants en Chine, ce qui représente près de 40 % du marché asiatique des lubrifiants.

La croissance économique a conduit à des investissements dans le raffinage de bases en Asie. De nombreux mélangeurs en Chine ont initialement utilisé des huiles de base des groupes II/III en raison de leur meilleure disponibilité régionale. Les fabricants automobiles japonais,

américains et européens imposent des exigences de qualité plus élevées pour les lubrifiants automobiles sur ces marchés. L'Inde est également un marché important pour les huiles de base, mais avec des caractéristiques légèrement différentes de celles du marché chinois. Près d'un tiers de la demande indienne en huile de base concerne les huiles de spécialité telles que les huiles blanches, les huiles pour transformateurs et la vaseline. Cela fait de l'Inde un grand marché pour les huiles des groupes II/III, notamment d'origine sud-coréenne.

La Chine continue d'être le moteur de la croissance du marché asiatique des huiles de base. La demande croissante d'huile de base pour les lubrifiants automobiles en Chine, alimentée par l'essor des ventes de voitures chinoises qui dépassent désormais les ventes aux États-Unis, devrait représenter plus de 50 % de la consommation d'huile de base. De plus, la reprise vigoureuse de la production industrielle en Chine en 2009 explique la croissance solide et continue des lubrifiants industriels. En ce qui concerne l'Inde, les applications automobiles et marines sont moins importantes qu'en Chine. Cependant, les ventes régionales de lubrifiants automobiles représentent environ 40 % de la demande totale d'huile de base. Cela signifie qu'il existe de nombreuses opportunités pour l'implantation d'installations de recyclage des huiles usagées en Asie.

II. 3. Impacts des huiles usagées sur l'environnement :

Il est indéniable que de nombreuses industries et automobilistes rejettent dans la nature d'importantes quantités d'huiles usagées. Il est bien connu que de nombreux automobilistes effectuent eux-mêmes la vidange de leur voiture, se débarrassant souvent des huiles usagées dans la nature, les rivières ou les caniveaux. Tous ces rejets représentent probablement des dizaines de millions de tonnes chaque année. Ils engendrent une pollution importante et constituent un danger pour la santé [1].

Voici les tableaux résumant les impacts négatifs et positifs sur le milieu nature

II.3.1. Impact négatif :

MILIEU	ACTIONS	IMPACTS
Sol	<ul style="list-style-type: none"> - Rejet direct ; à des Pertes dues au stockages ; - Accidents (réservoir casser ; ...) 	<ul style="list-style-type: none"> - Pollution de sol ; Destruction de la couverture végétale ; - Pollution des eaux souterraines par infiltration.
Eau	<ul style="list-style-type: none"> - Rejet direct ; - Pertes dues à des stockages ; - Accidents (réservoir cassé; ...) 	<ul style="list-style-type: none"> - Réduction de l'oxygénation et présente un caractère toxique de la faune et de la flore ; - Pollution des eaux ; - Forte réduction de l'oxygénation des boues activées en cas d'épuration biologique
Atmosphère	<ul style="list-style-type: none"> - Gaz d'échappement ; - Fumée dégagée par la cheminée. 	<ul style="list-style-type: none"> - Emission de gaz polluants : CO₂, CO, SO₂, N_xO_z, ... - Dégagement de mauvaises odeurs.

Tableau.II.2 : résumant les impacts négatifs sur le milieu naturel

II.3.2. Impact positif :

ACTIONS	IMPACTS
<ul style="list-style-type: none"> - Récupération et traitement des huiles usagées ; - Traitement des huiles usagées comme combustible 	<ul style="list-style-type: none"> - Réduction de mauvaises odeurs ; - Dépollution ; - Réduction des émissions de gaz à effet de serre dans l'atmosphère ; - Source d'énergie ; - Réduction des importations des huiles de base et des bitumes ; - Exportation des huiles de base.

Tableau.II.3 : résumant les impacts positifs sur le milieu naturel

II.4. Les conséquences de la non-récupération des huiles usagées :

Les huiles usagées sont graves tant pour l'environnement que pour la santé humaine. En raison de leur utilisation généralisée dans le monde entier, ces huiles sont considérées comme des polluants [1]. Elles sont classées comme des déchets dangereux, et une gestion inadéquate peut entraîner des conséquences importantes pour la santé et l'environnement. Voici quelques-uns de ces effets [10]

II .4.1 Sur le plan environnemental :

Un impact sur l'environnement peut être défini comme l'effet d'une activité humaine sur une composante de l'environnement, par rapport à la situation qui aurait pu se produire en l'absence de cette activité. Cette définition nécessite des précisions sur certains points, notamment en ce qui concerne la terminologie.

Les termes "impact" et "effet" sont parfois utilisés de manière interchangeable. Nous définissons l'effet comme un événement qui résulte objectivement de l'action envisagée, par exemple l'émission de x kg de CO₂. L'impact est la traduction subjective de cet événement sur une échelle de valeurs : il résulte d'une comparaison entre un état envisagé et un état de référence. Ainsi, un impact est un effet considéré comme négatif.

Les effluents graisseux peuvent avoir des impacts différents en fonction de l'endroit où ils se trouvent, à savoir :

- Soit à l'intérieur d'un établissement privé (émission) .
- Soit dans les canalisations privées et publiques (transport) .
- Soit dans l'environnement naturel ou dans une station d'épuration collective (réception) (CNIDEP).

Certaines personnes se débarrassent de leurs huiles en les jetant dans les éviers, les toilettes ou les égouts. Ce geste entraîne trois conséquences négatives :

- Premièrement, la personne qui jette son huile risque de bloquer ses propres canalisations car les graisses se solidifient .
- Deuxièmement, les dépôts graisseux créent des zones sans oxygène, ce qui a des effets néfastes .

- Troisièmement, si les huiles parviennent jusqu'aux égouts, elles finiront par arriver dans une station d'épuration des eaux usées, perturbant son fonctionnement ou polluant les cours d'eau [8].

Il est donc crucial de sensibiliser les individus à l'importance d'une gestion appropriée des huiles usagées et de les encourager à les recycler ou à les éliminer de manière responsable, afin de prévenir ces conséquences négatives sur l'environnement et la santé publique.

D'une manière les huiles usagées sont peu biodégradables. Elles ont une densité plus faible que l'eau, ce qui signifie qu'un litre d'huile usagée peut couvrir une grande surface d'eau et réduire l'oxygénation de la faune et de la flore aquatiques. Les conséquences d'un rejet direct d'huile usagée dans l'environnement naturel sont donc évidentes.

De plus, bien que le pouvoir calorifique des huiles usagées soit d'environ 90 % de celui du fioul lourd, ce qui en fait un combustible potentiellement intéressant, l'impact lié à leur combustion dans de mauvaises conditions peut être significatif. La pollution des sols, des cours d'eau et des océans est due à leur faible biodégradabilité lorsqu'ils entrent en contact avec l'eau. Ils forment une pellicule qui empêche la circulation de l'oxygène, ce qui a des conséquences néfastes sur les écosystèmes. De plus, une combustion non contrôlée peut entraîner l'émission de gaz contenant du chlore, du plomb et d'autres éléments préjudiciables dans l'atmosphère [19].

L'élimination inadéquate des huiles motrices usagées peut nuire à l'environnement de plusieurs manières :

- La combustion non contrôlée ;
- La mise en décharge ;
- L'élimination dans le sol ;
- Les rejets dans les égouts ;
- L'épandage d'huile usagée sur les routes pour contrôler la poussière.

Il est donc essentiel de prendre des mesures adéquates pour collecter, recycler et éliminer les huiles usagées afin de minimiser leur impact néfaste sur l'environnement et de préserver la qualité de l'air, de l'eau et des sols.

II. 4. 2. Sur le plan santé :

L'exposition aux huiles usagées ou leur manipulation peut entraîner chez les individus divers problèmes de santé, tels que des allergies, des anémies, des bronchites, des cancers, des dermatoses, des convulsions, de l'asthme, des emphysèmes, des diarrhées, des céphalées et des troubles respiratoires. Cette exposition peut également provoquer des irritations des voies respiratoires en raison de la présence de gaz contenant des aldéhydes, des cétones, des composés aromatiques, etc. La présence d'éléments chimiques tels que le chlore (Cl), le dioxyde d'azote (NO₂), le sulfure d'hydrogène (H₂S), l'antimoine (Sb), le chrome (Cr), le nickel (Ni), le cadmium (Cd) et le cuivre (Cu) peut affecter les voies respiratoires supérieures et les tissus pulmonaires. De plus, la présence de monoxyde de carbone, de solvants halogénés, d'hydrogène sulfuré, etc., peut entraîner une production d'effets asphyxiants qui empêchent le transport d'oxygène. Les huiles usagées peuvent également avoir des effets cancérigènes sur la prostate et les poumons en raison de la présence de métaux tels que le plomb, le cadmium, le manganèse, etc. [3]

Il est donc crucial de prendre des mesures adéquates pour prévenir l'exposition aux huiles usagées, les manipuler de manière sûre et les éliminer de manière responsable afin de protéger la santé des individus et minimiser les risques associés à leur utilisation incorrecte.

Les huiles usagées contiennent différents composés polluants qui peuvent avoir un impact négatif sur l'environnement et la santé. Parmi ces composés figurent :

Une intoxication par inhalation ou ingestion massive d'huile, ainsi que la consommation d'animaux marins (poissons, crustacés, coquillages) en contact avec les huiles usagées, peut être dangereuse pour l'homme en raison des effets de la consommation. En effet :

- L'huile usagée est cancérigène car elle contient des métaux lourds et des dérivés chlorés, qui sont des substances potentiellement cancérogènes pour l'organisme humain.
- Les huiles usagées sont classées comme déchets dangereux, ce qui souligne leur potentiel nocif pour la santé et l'environnement.

Lorsque l'huile à moteur usagée est éliminée de manière inappropriée, elle présente des risques pour l'environnement, notamment :

- La combustion non contrôlée de l'huile usagée peut causer des problèmes environnementaux.

- La mise en décharge de l'huile usagée peut entraîner une contamination des sols et des eaux.
- L'élimination au sol de l'huile usagée peut avoir un impact négatif sur l'environnement.
- Le rejet des huiles usagées dans les égouts est également préjudiciable pour l'environnement.
- L'épandage d'huile usagée sur les routes pour contrôler la poussière est une pratique à éviter en raison de ses impacts environnementaux.

Outre la présence d'hydrocarbures et d'additifs tels que des métaux et des détergents, l'huile de carter moteur usagée contient des polluants accumulés pendant le fonctionnement du moteur. Parmi ces polluants, on trouve des produits de décomposition d'additifs tels que le baryum, le zinc, ainsi que des particules de métaux lourds provenant de l'usure des moteurs, tels que le plomb, l'arsenic, le nickel, le cadmium, le cuivre, le fer, le magnésium, le silicium et l'étain.

Il est essentiel de prêter une attention particulière aux métaux lourds présents dans les huiles usagées en raison de leur concentration élevée et de leur toxicité pour les êtres humains, la faune et la flore.

En cas d'ingestion ou d'exposition cutanée prolongée, il est évident que cela entraîne des effets importants sur la santé. En effet, tous ces composés, notamment les métaux lourds, sont extrêmement toxiques pour les organismes.

De plus, la concentration en hydrocarbures aromatiques polycycliques (HAP) augmente considérablement en raison de la combustion de l'huile de lubrification et du carburant dans les cylindres des moteurs. Au fil du temps, la concentration en HAP augmente dans le carter des moteurs. Ainsi, toute manipulation incorrecte d'huiles usagées expose les individus à une inhalation de niveaux élevés de HAP. De plus, le traitement et le recyclage des huiles usagées contenant des niveaux élevés de HAP peuvent également entraîner une forte exposition aux HAP pour les travailleurs et les manipulateurs.

Une exposition supplémentaire aux HAP présents dans les huiles de moteur usagées peut également se produire par contact cutané lors d'une vidange ou d'une manipulation d'huile usagée à d'autres fins. Les HAP tels que le benzopyrène sont bien connus pour leur forte cancérogénicité et leur mutagénicité.

De plus, d'autres polluants tels que le carburant, l'antigel, les particules métalliques d'usure, les oxydes métalliques et les produits de combustion peuvent également s'accumuler dans l'huile et présenter un risque pour la santé.

Il est donc primordial de prendre des précautions lors de la manipulation des huiles usagées afin de réduire les risques d'exposition aux substances toxiques qu'elles contiennent.

II.4.3. Le plan économique

En recyclant les huiles usagées, il est possible de récupérer deux tiers de la quantité initiale par le processus de régénération. En effet, les huiles contaminées représentent une ressource exploitable, ce qui permet de réduire la demande en huile vierge et donc de limiter les déchets. Ce recyclage contribue ainsi à une utilisation plus durable des ressources et à la préservation de l'environnement. [1]

II.5. Effets sur l'eau douce ainsi que sur les écosystèmes marins et terrestres

La pollution causée par les huiles usagées provenant du trafic automobile et des activités industrielles atteint des millions de tonnes chaque année, ce qui représente une pollution chronique. Cette pollution des huiles lubrifiantes peut avoir des répercussions sur les sols, les milieux aquatiques et l'approvisionnement en eau. En cas de fuite, de déversement, de mauvaise gestion ou de mauvais recyclage des huiles, celles-ci peuvent se retrouver entraînées par les eaux de ruissellement, directement déversées dans l'eau ou sur le sol, et atteindre les cours d'eau, entraînant ainsi des effets néfastes sur la santé environnementale des écosystèmes.

Lorsque de l'huile est déversée dans l'eau, elle forme une couche en surface qui empêche l'oxygénation de l'eau, entraînant l'asphyxie et la mort des organismes vivants présents dans l'eau. Quatre litres d'huile usagée peuvent générer une surface de pollution de 4000 m² sur l'eau. De plus, on retrouve généralement des hydrocarbures dans les sédiments aquatiques, qui peuvent être associés aux huiles de moteur. Le déversement d'huile usagée peut également entraîner de fortes concentrations d'hydrocarbures aromatiques polycycliques (HAP) dans les zones humides, les rivières, les baies, les océans, les eaux souterraines et les sédiments.

Le déversement d'huile usagée dans les cours d'eau peut avoir un effet néfaste sur les poissons et les micro-invertébrés benthiques, et peut même entraîner la mort de nombreux poissons et d'autres espèces animales. Il est donc primordial de prévenir et de gérer correctement les huiles usagées afin de protéger les écosystèmes aquatiques et de préserver la biodiversité.

En cas de déversement d'huile dans l'eau, les êtres humains et les animaux peuvent être exposés par contact direct, ingestion, inhalation ou absorption. Lorsque l'huile se mélange à l'eau, sa composition subit des modifications physiques et chimiques, impliquant différents processus qui peuvent se produire simultanément. L'huile usagée peut se répandre à la surface de l'eau par advection, c'est-à-dire sous l'influence des vents et des courants. Cependant, elle ne se répand pas uniformément, ce qui entraîne une augmentation de la surface contaminée et du risque d'exposition pour les êtres humains et les écosystèmes.

De plus, certains composants légers ou moyennement lourds de l'huile peuvent s'évaporer dans l'air, ce qui modifie sa composition. Par ailleurs, une dissolution des composants les plus légers dans la colonne d'eau est également possible. On peut également observer une dispersion naturelle, une émulsification, une photo-oxydation et une sédimentation de l'huile dans l'eau. Tous ces processus contribuent à la propagation de la pollution et à ses effets sur l'environnement.

Il est donc essentiel de prendre des mesures de prévention pour éviter les déversements d'huile dans l'eau et de mettre en place des protocoles appropriés pour la gestion des situations d'urgence en cas de déversement. Cela permet de limiter les conséquences néfastes sur la santé humaine, les écosystèmes aquatiques et l'approvisionnement en eau.

En cas d'échouement sur les côtes, les huiles usagées peuvent subir une biodégradation, ce qui modifie davantage leurs propriétés chimiques et physiques. Lorsque l'huile est déversée sur le sol, elle entraîne une détérioration et une pollution du sous-sol, pouvant atteindre les eaux souterraines et les aquifères situés en profondeur. Ce déversement peut compromettre considérablement l'utilisation future des sols, que ce soit pour des projets d'urbanisation, des activités agricoles ou des activités de loisir. Les sols pollués peuvent devenir impropres à ces activités si des mesures coûteuses de dépollution ne sont pas mises en place.

Les huiles usagées se propagent lentement jusqu'à atteindre les eaux souterraines et les aquifères, remontant ainsi dans les puits et les forages. Si cette eau polluée est utilisée pour l'alimentation en eau potable ou l'irrigation, cela peut représenter un risque élevé pour les êtres humains, les écosystèmes et les systèmes agricoles. En effet, les polluants peuvent être introduits dans la chaîne alimentaire et dans l'eau courante, posant ainsi des problèmes de santé et de sécurité.

Il est donc crucial de prendre des mesures préventives pour éviter les déversements d'huiles usagées sur les sols et de mettre en place des actions de dépollution appropriées pour limiter les impacts sur les écosystèmes, les ressources en eau et la santé humaine.

II.5.1. Effets sur la pollution de l'air

La pollution causée par les huiles usagées peut également nuire à l'atmosphère lorsque les déchets d'huile sont brûlés sans recourir à des mesures de filtration de pointe. On estime que la combustion de 5 litres d'huile usagée pollue l'air qu'une personne respire pendant trois ans. Lorsqu'on brûle de l'huile usagée sans utiliser des technologies de filtration avancées, des gaz toxiques et des particules de poussières métalliques dangereuses sont produites en raison de la présence de métaux lourds et d'autres composés organiques tels que le soufre, le chlore et les hydrocarbures aromatiques.

La concentration élevée de métaux (y compris les métaux lourds) présente dans les huiles usagées, tels que le plomb, l'arsenic, le nickel, le cadmium, le zinc, le chrome, le cuivre et le magnésium, peut être très toxique pour les systèmes écologiques et la santé. Ces éléments sont émis par les cheminées des incinérateurs, des fours ou des chaudières non contrôlés. De plus, si d'autres polluants tels que les PCB sont présents dans les huiles usagées, la pollution de l'air peut être encore plus dangereuse, entraînant la formation de dioxines et d'autres sous-produits cancérigènes. Il est donc essentiel de mettre en place des dispositifs de filtration efficaces et des technologies appropriées pour réduire les émissions de polluants atmosphériques lors de la combustion des huiles usagées.

Chapitre III :
Traitement des huiles
Usagées

III.1 .Partie expérimentale :

Les produits chimiques, les outils et les équipements utilisés dans cette recherche comprenaient de l'acide acétique glacé, de l'acide sulfurique concentré à 98 %, une solution d'hydroxyde de sodium à 10 % et de l'aniline pure. Ils ont été obtenus à partir des stocks de produits chimiques de l'Université de relizane , où ils ont été achetés. L'argile de kaolin a été fournie par Panreac Quimica S.A.U Castellar del Vale's, Barcelone, Espagne, à partir des laboratoires du département de géologie de la faculté des sciences, et elle a été extraite d'une carrière locale. L'eau distillée a été purifiée dans les laboratoires du département de chimie à l'aide d'un appareil Germany-Labortechnik fur Gesellschaft. Le spectromètre infrarouge FTIR (Fourier Transform Infrared) est disponible dans le laboratoire scientifique central de l'Université de Sabha. Il s'agit d'un appareil de type 600 IR mid (Tensor 27) - Allemagne - 1 Cm 4000. La centrifugeuse est présente dans le laboratoire des instruments analytiques du département de chimie, de marque HERMLE LABORTECHNIK, Gosheimerstr.56, 78564 Wshingen, Allemagne.

III.2. les étapes de travail :**III.2.1. La collecte des échantillons :**

les échantillons d'huile neuve non utilisée de type "Zahra 40" ont été achetés auprès des points de vente d'huiles de la ville de Guelma. Ces échantillons ont été produits par la Société des Raffineries de la Zawiya (ZRCC) conformément aux spécifications standard CC\SF - API (échantillon A).

Une quantité de 4 litres d'huile usagée a été prélevée dans le cadre de cette étude à partir d'une voiture de marque Toyota, modèle 2009, utilisant le même type d'huile neuve. Cette huile a été utilisée pendant une période de 5 mois, sur une distance de 5382 kilomètres.

III.2.2. Le processus de purification et de traitement primaire :

Les premières étapes du recyclage des huiles consistent à les purifier des impuretés mécaniques telles que le sable, les petites pièces métalliques et autres contaminants. Cela est généralement réalisé en utilisant un entonnoir et un morceau de tissu en coton pour filtrer l'huile. Ensuite, l'huile est laissée à décanter pendant 24 heures (échantillon B). Ensuite, l'échantillon B est soumis à une centrifugation pendant 60 minutes à une vitesse de rotation de

4000 tours par minute, ce qui permet aux particules en suspension de se déposer au fond du tube. Ensuite, l'huile est versée dans un autre récipient [17].

III .3. Traitement chimique :

Nous prélevons 200 ml d'huile qui a été purifiée dans le paragraphe précédent, et nous y ajoutons 40 ml d'acide acétique glacé dans un verre fermé pour empêcher l'évaporation de l'acide acétique. Nous agitons le mélange à l'aide d'un agitateur magnétique à température ambiante pendant une heure, puis nous laissons le mélange reposer à température ambiante pendant 24 heures. Ensuite, nous effectuons une centrifugation pendant deux heures à 4000 tours par minute pour séparer l'huile des contaminants. Deux couches se forment ensuite : une couche inférieure de couleur foncée et une couche supérieure de couleur rouge foncé. Nous séparons la couche d'huile des contaminants dans un autre récipient, puis nous ajoutons 4 grammes de kaolin pour chaque 100 ml d'huile afin d'éliminer la couleur rouge foncé et l'odeur désagréable de l'huile résultant de l'oxydation de certains de ses composants. Ensuite, nous chauffons le mélange à une température de 250°C pendant 30 minutes. Nous laissons le mélange refroidir légèrement, puis nous le remettons dans la centrifugeuse pendant une heure, ce qui produit une couche de sédiments et une couche d'huile rouge. Nous séparons la couche d'huile des sédiments et la lavons trois fois avec 15 ml d'eau distillée chaude à chaque fois dans un entonnoir de séparation, ce qui nous permet d'obtenir une base d'huile recyclée à l'aide de l'acide acétique glacé (échantillon C). Nous prélevons ensuite 100 ml de l'huile qui a été purifiée comme décrit dans la section 2.2.2 dans un verre que nous chauffons sur une plaque chauffante pendant 10 minutes pour effectuer un traitement thermique afin de décomposer certains des additifs d'huile pour alléger la charge sur l'acide. Nous prenons l'huile dans un entonnoir de séparation de 250 ml et ajoutons 10 ml d'acide sulfurique concentré à 98%. Nous agitons bien l'entonnoir, puis le laissons reposer. Une couche d'huile lourde contenant des impuretés de couleur foncée se sépare en bas, que nous versons dans un verre, tandis que la couche d'huile légère dans l'entonnoir de séparation est lavée avec 100 ml de solution d'hydroxyde de sodium à 10% pour neutraliser les résidus acides de l'huile. Nous laissons reposer pendant 30 minutes sans agitation, puis nous nous débarrassons de la phase basique en bas de l'entonnoir de séparation. Nous lavons l'huile obtenue trois fois en utilisant 15 ml d'eau distillée chaude à chaque fois. Nous passons ensuite l'huile résultante à travers une couche de kaolin pour éliminer l'odeur et la couleur foncée, ce qui nous permet d'obtenir une base d'huile recyclée à l'aide.

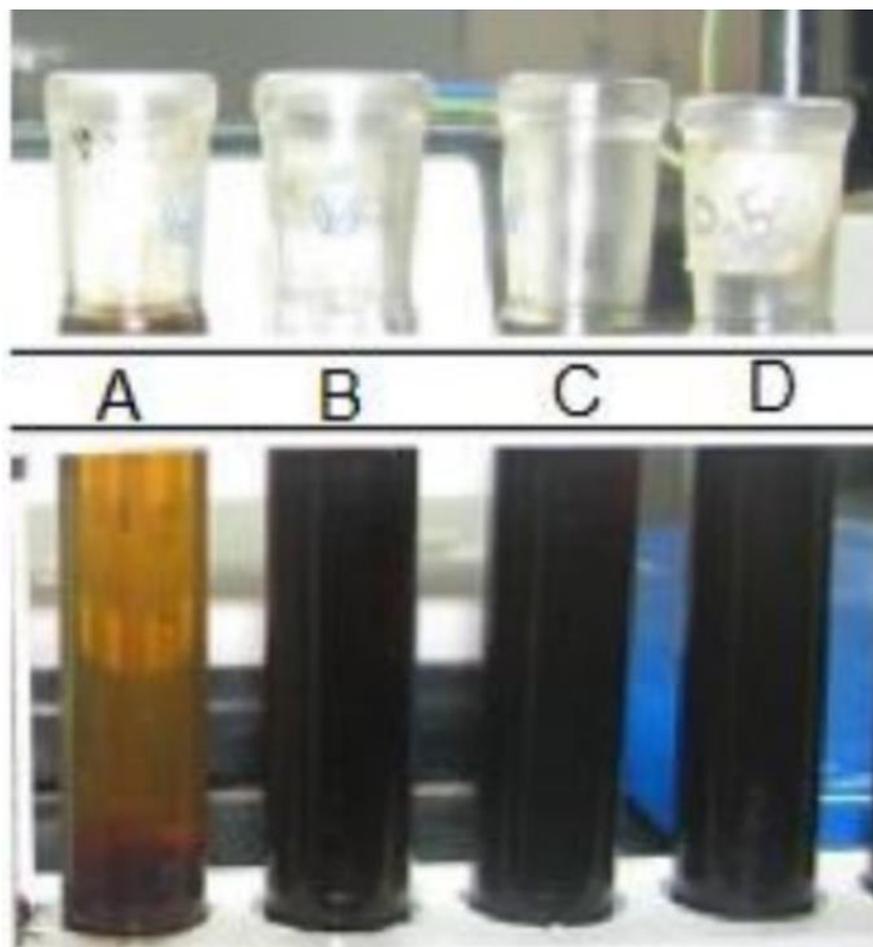


Figure III.1. : d'échantillons A,B,C,D

III.3.1. Tests de qualité:

III.3.1.1. Test infrarouge à transformée de Fourier (FTIR):

Les échantillons d'huile neuve, usagée et recyclée ont été préparés en utilisant respectivement de l'acide acétique glacé et de l'acide sulfurique concentré (A, B, C, D). Dans chaque cas, une goutte de l'échantillon liquide est placée sur la position 1 de l'appareil. Le test est effectué dans la plage spectrale de 600 à 4000 cm^{-1} , avec une résolution de 4 cm^{-1} , en utilisant le spectromètre d'absorbance (%T). L'appareil est nettoyé de l'échantillon en utilisant un mouchoir en papier, puis un solvant approprié est utilisé pour nettoyer les résidus restants de l'échantillon. L'appareil est prêt pour le test après une minute

III.3.1.2. Tests physicochimiques:

Les tests physicochimiques ont été réalisés en laboratoire selon les normes ASTM (American Society for Testing and Materials). Le tableau 1 présente les résultats de ces tests sur les différents échantillons d'huile. Ces tests comprennent la masse volumique, la densité, l'indice de qualité API, la viscosité cinématique à 40 °C et à 100 °C, le point d'écoulement, le point d'aniline et le point d'éclair des échantillons (A, B, C, D).

l'identifiant des échantillons	Le type d'échantillon.	La densité spécifique à 15,6°C (ASTM D941).	La densité de 3 grammes par centimètre cube (ASTM D941).	La qualité API (ASTM D941).	La température d'éclair (ASTM D92) en degrés Celsius.	La température d'aniline (ASTM D611) en degrés Celsius.	La température d'écoulement (ASTM D97) en degrés Celsius.	La viscosité à 40 °C en -1 S mm ² (ASTM D445).	La viscosité à 100 °C en -1 S mm ² (ASTM D445).
A	Huile neuve	0.8931	0.8927	30	100	40	> 0	200	20
B	Huile usagée	0.8901	0.8897	30	85	37,5	> 0	180	17
C	Huile traitée à l'acide acétique	0.8951	0.8947	30	85	32,5	> 0	95	9.6
D	Huile traitée à l'acide sulfurique	0.9020	0.9016	25	85	33	> 0	80	7.8

Tableau III.1. : les résultats de l'analyse des propriétés physicochimiques des différents échantillons d'huile

III.3.1.3 Test d'analyse par spectrométrie infrarouge à transformée de Fourier (IR FT)

Les spectres d'absorption obtenus par spectroscopie infrarouge à transformée de Fourier (IR FT) ont été utilisés pour étudier les modifications chimiques sur les huiles de lubrification après leur traitement avec de l'acide acétique et de l'acide sulfurique. La figure 2 présente les spectres d'absorption de l'échantillon d'huile utilisée, de l'huile traitée avec de l'acide acétique et de l'huile traitée avec de l'acide sulfurique (B, C, D respectivement). Le troisième spectre (Cm) montre des bandes d'absorption intenses attribuées aux longues chaînes d'hydrocarbures, certaines d'entre elles se situant aux nombres d'onde 2856-2921 cm⁻¹, représentant les vibrations de flexion des groupes 3CH, et d'autres dans la région 1375-1459 cm⁻¹ représentant l'étirement des groupes H-C des alcanes [18]. Ces absorptions indiquent la présence des longues chaînes paraffiniques, qui sont caractéristiques des huiles de lubrification, dans les huiles recyclées (C, D) et dans l'huile utilisée avant le recyclage (B). De

plus, les spectres montrent l'absence d'une large bande d'absorption de groupe hydroxyle (OH) dans les échantillons B, C, D autour de 3400 cm^{-1} , ce qui confirme la déshydratation des échantillons suite à la perte de molécules d'eau [19].

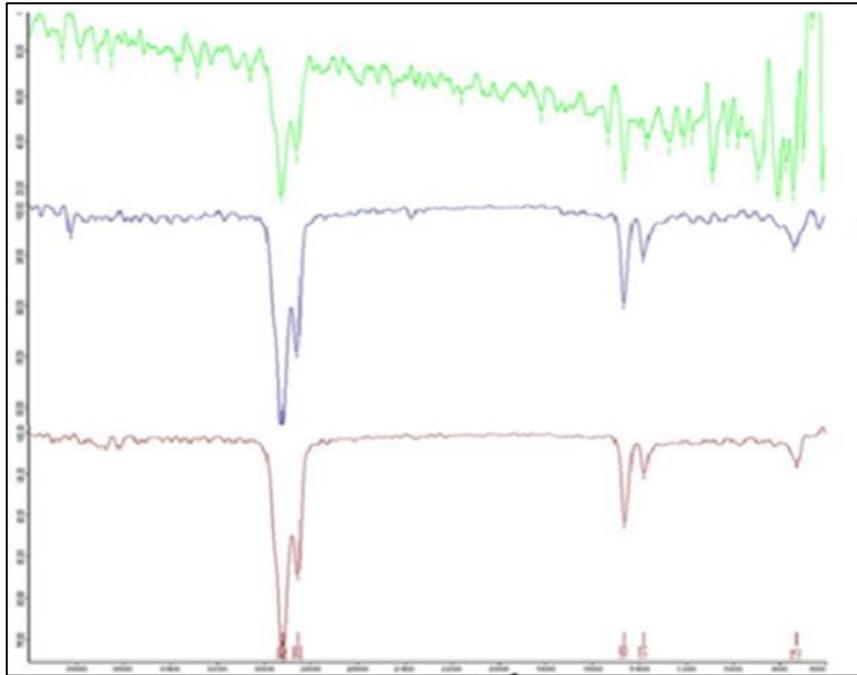


Figure III.2 : présente les spectres IR FT

- (B) représente le spectre de l'huile de lubrification utilisée.(vert)
- (C) représente le spectre de l'huile de lubrification traitée avec de l'acide acétique.(bleu)
- (D) représente le spectre de l'huile de lubrification traitée avec de l'acide sulfurique.(rouge)

Nous remarquons également de nombreuses oscillations dans la région de $1300\text{-}600\text{ cm}^{-1}$ pour l'échantillon d'huile non traitée (B) et dans la région de $2000\text{-}1500\text{ cm}^{-1}$. Ces absorptions sont attribuées aux additifs présents dans l'huile ainsi qu'aux produits d'oxydation de l'huile. En revanche, les spectres (C, D) ne montrent pas de telles oscillations, ce qui confirme l'efficacité du traitement dans l'élimination des additifs et des produits d'oxydation. Dans une étude réalisée par le chercheur "Al-Ghouthi" et al. en 2009, il a été constaté que l'absorption à 1812 cm^{-1} indique la présence de produits d'oxydation auxquels l'huile est exposée lors de

son utilisation. Cela confirme également ce que le chercheur "Kan" et ses collègues ont mentionné en 2006 dans leur étude sur l'analyse des graisses de lubrification en présence de ces absorptions à 1812-1526 cm^{-1} , qui sont attribuées à la présence du groupe fonctionnel ($\text{O}=\text{C}$) des composés résultant de la dégradation et de l'oxydation, tels que les lactones, les esters, les aldéhydes, les cétones, les acides carboxyliques, les sels, etc. Dans les spectres de l'huile usagée avant le traitement (B), comme illustré dans les figures 2 et 3, de nombreuses oscillations sont visibles, en particulier à -1

•1079 Cm^{-1}

•880 Cm^{-1}

1457 cm^{-1}

Ces absorptions sont attribuées à la présence de glycol en tant qu'antigel, ainsi qu'à une éventuelle contamination de l'huile par une proportion de carburant essence pendant son fonctionnement

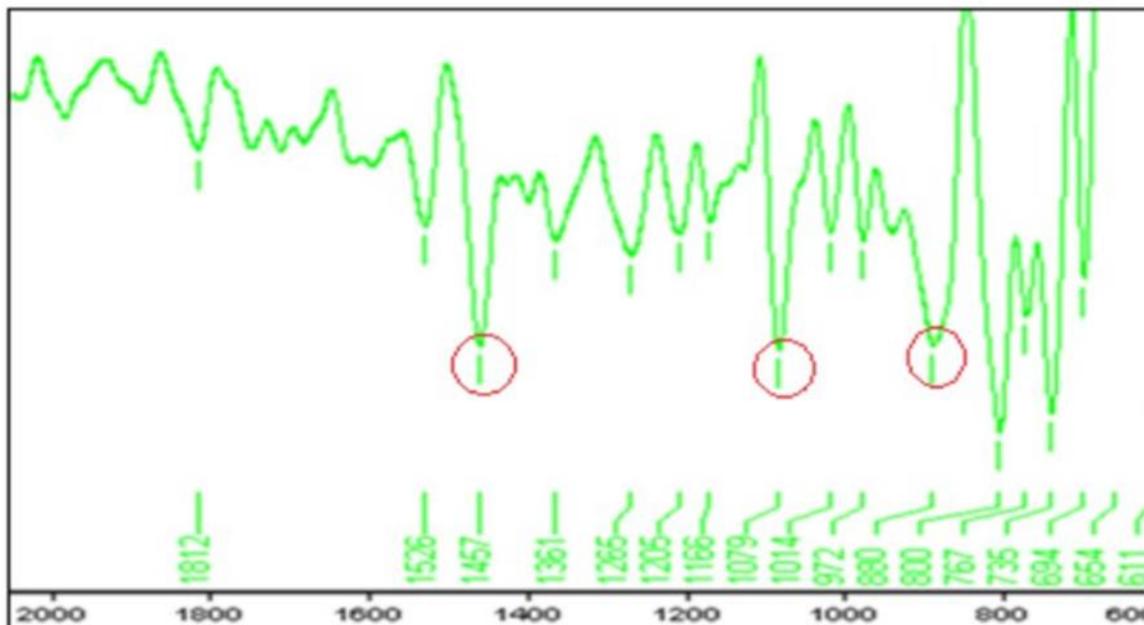


Figure III.3. Montre plusieurs oscillations dans la plage de 600-2000 cm^{-1} pour l'huile usagée.

Longueur d'onde (X)	800	1000	1200	1600
La transmission% (Y)	68	50	38	60

Tableau III.2 Les résultats de mesure de la transmission

les résultats de mesure par ftir dans 600 a 2000 spectromètre transformé de furie planté a un pc résultats par logiciel (origine lab.)

Un spectrophotomètre permet de déterminer la concentration d'une espèce chimique dans une solution. Pour se faire, l'appareil mesure l'intensité de la lumière (I) qui passe à travers un échantillon.

Origine est un logiciel de traitement et d'analyse de données scientifiques pour environnement Microsoft Windows développé par (origine lab.) . Il permet notamment de tracer des graphes 2D et 3D et possède des fonctions d'analyse de pics.

III.4. Poids spécifique :

Le graphique dans la figure (4) illustre les résultats du poids spécifique pour l'échantillon d'huile neuve (A), l'huile usagée (B), l'huile traitée à l'acide acétique (C) et l'huile traitée à l'acide sulfurique (D).

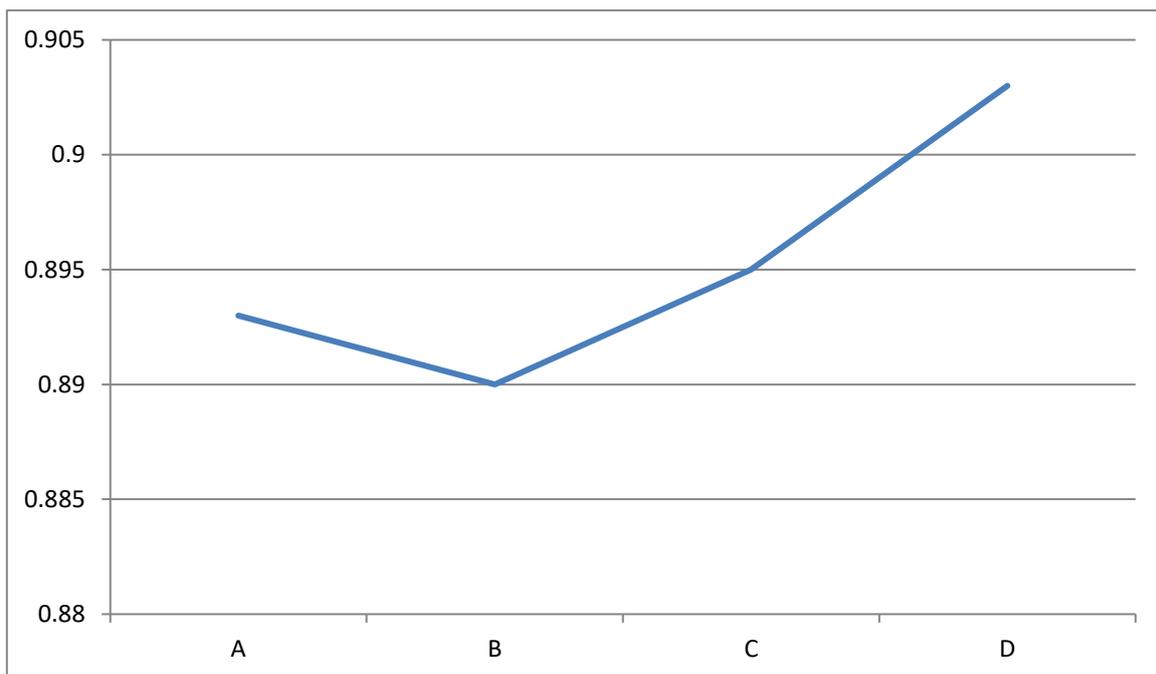


Figure III. 4. Le schéma représente les résultats des tests de poids spécifique pour les échantillons A, B, C et D.

Le poids spécifique de l'huile usagée peut être plus élevé ou plus bas que celui de l'huile neuve, en fonction du type de contaminants [22]. À partir des résultats, on observe que le poids spécifique de l'huile usagée est légèrement inférieur à celui de l'huile neuve, avec un poids spécifique de l'huile neuve de 0,8931 et un poids spécifique de l'huile usagée de 0,8901. Cela confirme la présence de contaminants tels que le carburant de type essence, qui a naturellement un poids spécifique plus bas [17]. En revanche, on observe une augmentation de la valeur du poids spécifique à 0,8951 après le traitement de l'huile avec de l'acide acétique concentré. Cette lecture se rapproche relativement du poids spécifique de l'huile neuve, ce qui indique une diminution de la proportion des produits de décomposition chimique résultant de l'oxydation et de la rupture des chaînes hydrocarbonées. En revanche, le poids spécifique augmente davantage après le traitement avec de l'acide sulfurique concentré pour atteindre 0,9020. Cette augmentation significative pourrait être indésirable car elle peut être liée à la formation de dépôts et de résidus dus à la liaison entre les chaînes. En comparant les poids spécifiques après traitement dans les deux cas, le traitement à l'acide acétique semble donner de meilleurs résultats en termes de poids spécifique obtenu par rapport au traitement à l'acide sulfurique.

III.5. Le point d'éclair (Point Flash) :

Le schéma (Figure 5) illustre un graphique des résultats du point d'éclair pour l'échantillon d'huile neuve (A), l'échantillon d'huile utilisée (B), l'échantillon d'huile traitée avec de l'acide acétique (C) et l'échantillon traité avec de l'acide sulfurique (D).

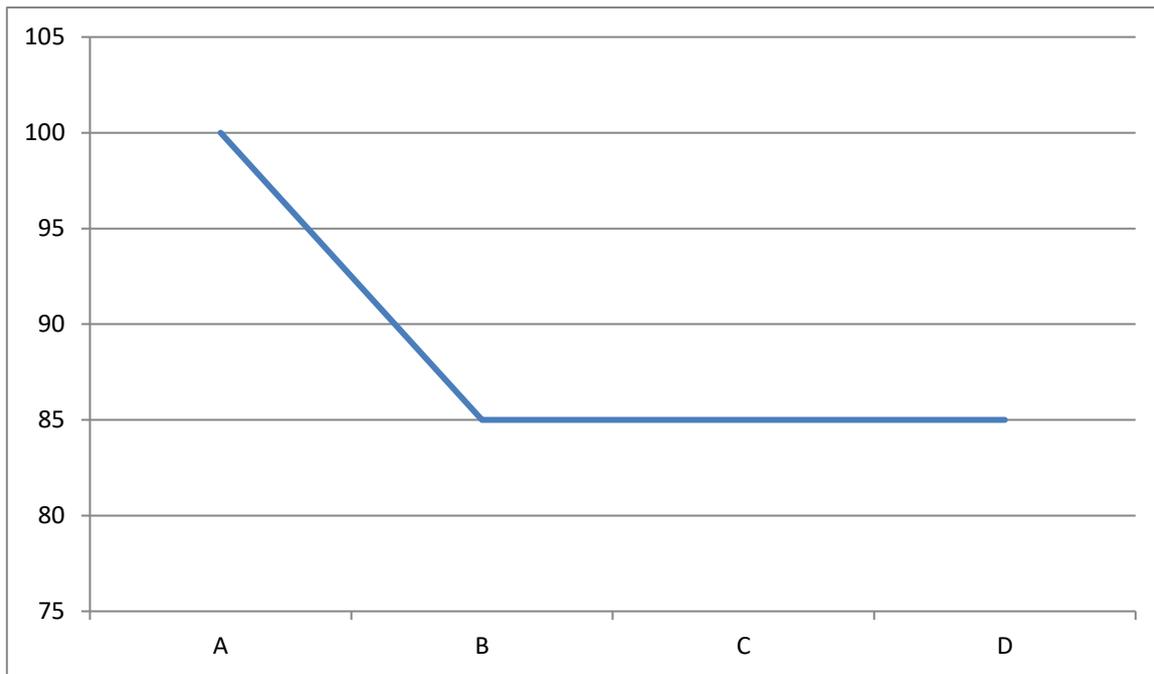


Figure III.5 : La présente un graphique des résultats du test de point d'éclair pour les échantillons (A, B, C, D).

Le point d'éclair pour l'huile neuve non utilisée était de 100°C, tandis que le point d'éclair de l'huile après utilisation a diminué pour atteindre 85°C. Après traitement, le point d'éclair est resté constant à 85°C dans les deux cas, que ce soit en utilisant de l'acide acétique ou de l'acide sulfurique. La diminution du point d'éclair peut être attribuée à une augmentation de la proportion de composés légers dans l'échantillon, résultant de la dégradation des liaisons des hydrocarbures due à la chaleur élevée et à l'oxydation, produisant ainsi des composés volatils légers. Elle peut également être attribuée à la contamination de l'huile par de l'essence. Cependant, malgré cette diminution, le point d'éclair reste dans les limites acceptables selon les spécifications.

III.6. Point d'Aniline :

Comme mentionné précédemment, la qualité des huiles de lubrification dépend en grande partie de leur composition chimique, notamment du type de composés hydrocarbonés présents dans ces huiles. Les résultats des tests présentés dans le tableau (1) et le graphique (6), qui ont été réalisés sur des échantillons d'huile de lubrification neuve de type "Zahra", ainsi que sur des échantillons d'huile usagée, et des échantillons d'huile recyclée avec de l'acide acétique et de l'acide sulfurique (échantillons A, B, C, D respectivement), indiquent que malgré la légère baisse du point d'aniline pour l'huile usagée (échantillon B) par rapport à l'huile neuve

(échantillon A), ainsi que pour les échantillons d'huile recyclée (C, D) par rapport à l'échantillon B, tous ces résultats indiquent une teneur élevée en paraffines dans les limites des spécifications requises, que ce soit pour l'huile neuve ou pour les huiles recyclées. En effet, le point d'aniline des huiles ne doit pas être inférieur à 20 °C pour être conforme aux spécifications requises pour une utilisation dans les moteurs automobiles (25).

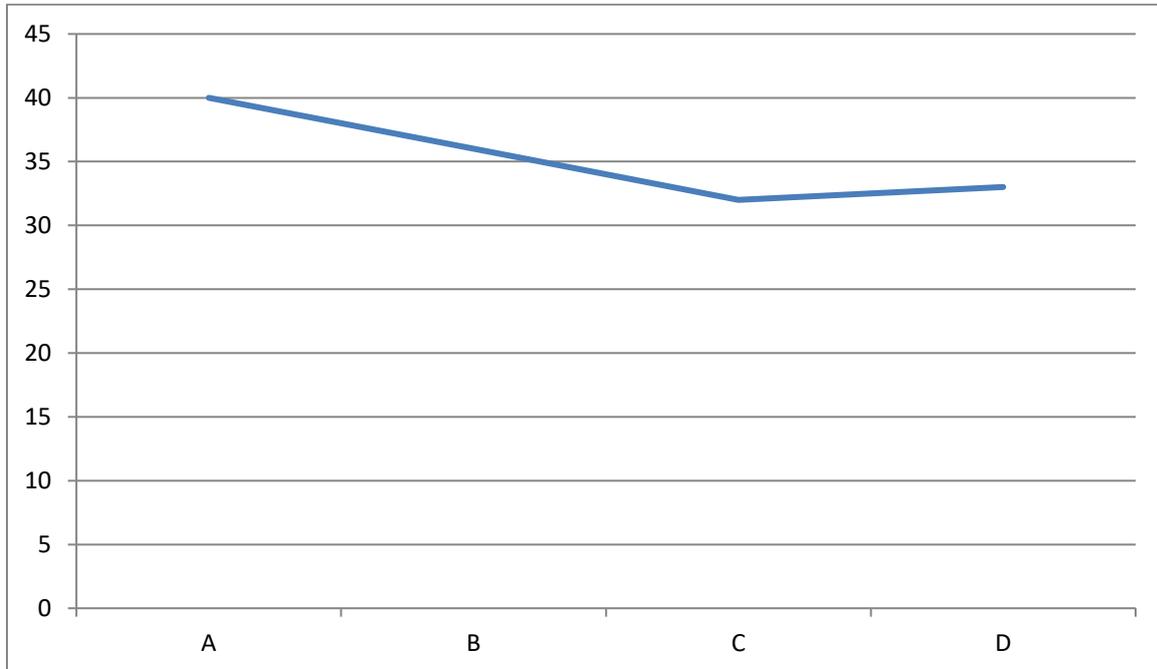


Figure III.6 : Le schéma illustre graphiquement les résultats du test de la pointe d'aniline pour les échantillons (A, B, C, D).

III.7. La Pointe d'Écoulement :

Le "Point d'Écoulement" joue un rôle crucial dans les conditions de fonctionnement de l'huile de lubrification, en particulier dans les régions froides pendant l'hiver, où il est difficile pour une huile ayant un point d'écoulement élevé de circuler à l'intérieur du moteur. Le processus de recyclage n'a montré aucun changement notable dans le point d'écoulement, tous les échantillons affichant des valeurs inférieures à zéro degré Celsius. Cela peut être attribué aux spécifications de l'huile produite à partir d'huile lourde et aux additifs réduisant le point d'écoulement qui ont été ajoutés à l'huile de lubrification, les rendant ainsi très adaptées à différentes conditions de fonctionnement.

III.8. L'avisosité :

Et à 100°C, les résultats des tests de viscosité effectués sur les échantillons (A, B, C, D) à une température de 40°C, tels qu'indiqués dans le tableau 1 et les figures 7 et 8, montrent que la viscosité de l'huile neuve à 40°C était de 200 mm²/s, mais elle a diminué à 180 mm²/s après utilisation de l'huile. Cette diminution peut être due à un mélange de l'huile avec de l'essence légère ou à la consommation de certains additifs de viscosité ajoutés pour améliorer les propriétés de l'huile de lubrification [27]

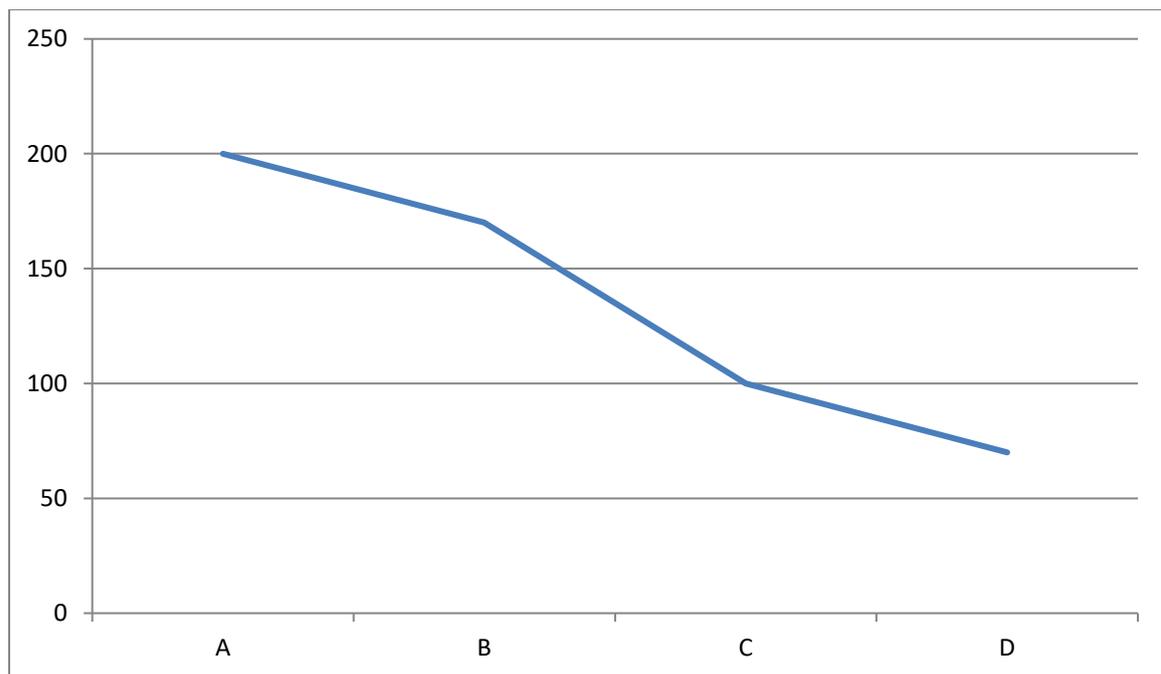


Figure III.7: Graphique des résultats des tests de viscosité cinématique à 40°C pour les échantillons (A, B, C, D).

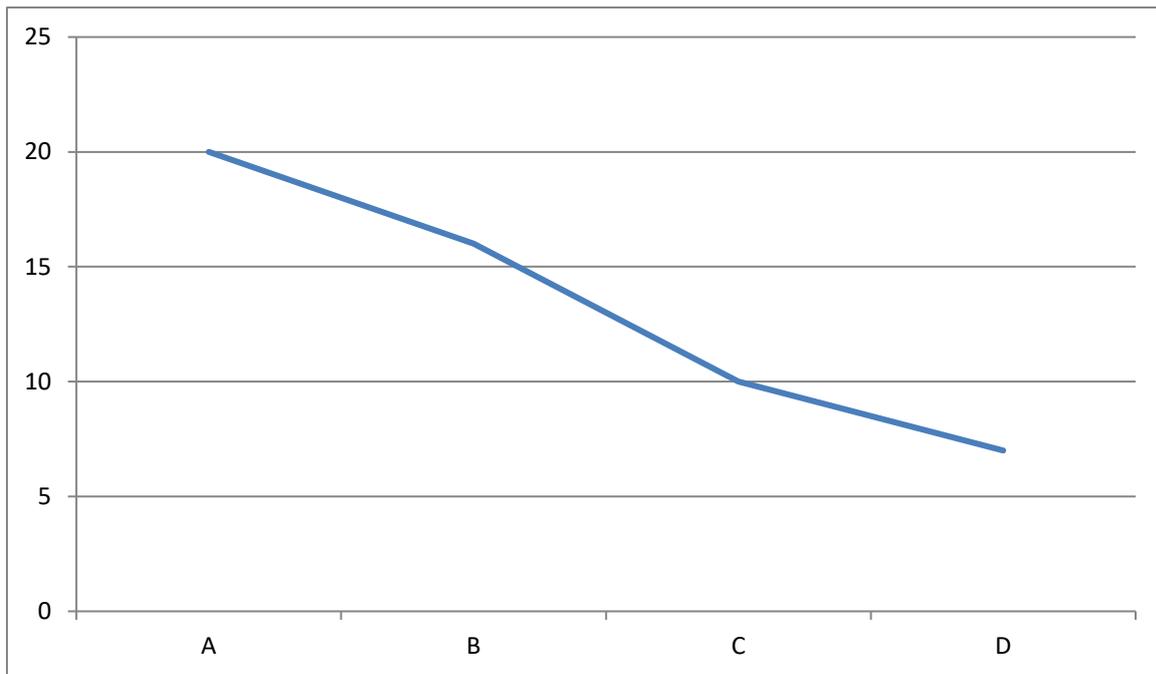


Figure III 8: Graphique des résultats des tests de viscosité cinématique à 100°C pour les échantillons (A, B, C, D).

De plus, on observe que le traitement de l'huile avec de l'acide acétique glacé a augmenté sa viscosité cinématique, la portant à 95 mm²/s. Cela est dû à l'élimination des contaminants et des impuretés de l'huile usagée, qui contribuaient à augmenter sa viscosité, ainsi qu'à la consommation de la plupart des additifs de viscosité ajoutés pour améliorer ses propriétés lors du processus de traitement de l'huile usagée afin de la transformer en une huile de base. En revanche, lors du traitement de l'huile usagée avec de l'acide sulfurique concentré, on observe une baisse plus importante de la viscosité cinématique de l'huile, qui atteint 80 mm²/s. Cela est dû à la consommation totale des additifs de l'huile de lubrification, ainsi qu'à l'oxydation de certains composants de l'huile, entraînant la rupture des chaînes paraffiniques de l'huile lors du processus de traitement [27]. Dans les deux cas, la viscosité de l'huile à 40°C et à 100°C a été affectée par l'ajout d'acide acétique glacé et d'acide sulfurique concentré. Dans le cas de l'acide acétique, l'échantillon a perdu 52,25 % de sa valeur de viscosité, tandis que l'échantillon d'huile dans le cas de l'acide sulfurique a perdu plus de 60,5 % de sa viscosité. Ainsi, on constate l'effet négatif de l'utilisation de l'acide sulfurique sur l'huile. Les résultats montrent que la viscosité cinématique de l'huile de lubrification diminue à ces deux températures, ce qui signifie que les deux méthodes sont efficaces pour éliminer les produits oxydés et les additifs ajoutés à l'huile de lubrification pour améliorer ses propriétés et la transformer en une huile de base [17].

Conclusion générale

Conclusion générale :

Cette mémoire résume le processus de recyclage de l'huile de moteur usagée en utilisant de l'acide acétique glacé ou de l'acide sulfurique, puis en le traitant finalement avec de la kaolinite pour produire une huile de base similaire à celle produite par d'autres méthodes, à des températures spécifiques. L'huile obtenue peut être réutilisée dans les moteurs automobiles après l'ajout des additifs nécessaires. Les résultats des analyses montrent que les propriétés de l'huile recyclée dans les deux cas sont bonnes et restent dans les normes requises pour une utilisation dans divers domaines. De plus, les résultats obtenus prouvent l'efficacité et la simplicité de la méthode de traitement acide/argile, ce qui contribue considérablement à réduire la demande croissante d'huile de lubrification brute et à réduire la pollution environnementale. Il est clairement établi que l'utilisation de l'acide acétique est relativement préférable à la raffinage par l'acide sulfurique, car l'acide acétique n'affecte pas la composition chimique de l'huile, ce qui entraîne une quantité relativement moindre d'additifs ajoutés à l'huile traitée à l'acide acétique, ce qui le rend très approprié pour le raffinage de l'huile usagée. De plus, l'acide acétique a moins d'effets négatifs sur les équipements de traitement par rapport à l'acide sulfurique, et ce processus ne produit pas d'émissions de gaz toxiques tels que le dioxyde de soufre dans l'atmosphère.

Références
Bibliographiques

- [1] I. Hamawand, T. Yusaf and S. Rafat, Recycling of Waste Engine Oils Using a New Washing Agent, University of Southern Queensland, Toowoomba - Australia, 6 (2), 2013.
- [2] Syed Q. A. Rizvi, a Comprehensive Review of Lubricant Chemistry, Technology, Selection, and Design, ASTM International Standards Worldwide, 8 -18, 2013.
- [3] P. Abhimanyu, T. cool Baugh, Elastomers : A literature Review with Emphasis on Oil Resistance, Rubber Chemistry and Technology, 78, 516, 2005.
- [4] Alongi, Paul, "Greenville County hopes to accelerate recycling," (GreenvilleOnline.com), Nov. 29, (12:07PM), 2015.
- [5] Mohsin and Z. A. Majid, Effect of Fuel Types on Lubricating Oil Properties, World of App. Sci. J., 32 (3), 2014.
- [6] Annual report by the National Environmental Protection Agency on the state of environment in Romania, the years 2009-2015.
- [7] F. Danane, A. Ahmia, A. Bakiri, N. Lalaoui, Experimental regeneration process of used motor oils, Revue des Energies Renouvelables. 17(2) 345 – 351, 2014.
- [8] A. Kupareva, P.M. Arvela, D.Y. Murzin, Technology for re-refining used lube oils applied in Europe: a review, J. of Chem. Tech. and Biotech. 88(10), 1780–1793. 2013.
- [9] M.J. Diphare, E. Muzenda, T.J. Pilusa, M .Mollagee, A Comparison of Waste Lubricating Oil Treatment Techniques, 2nd International Conference on Environment, Agriculture and Food Sciences, Malaysia, 2013.
- [10] C. Shri Kannan, K.S. Mohan Kumar, M. Sakeer Hussain, N. Deepa Priya, K. Saravanan, Studies on Reuse of Re-refined used automotive lubricating oil, Res. J. of Eng. Sci., 3(6), 8-14, .2014
- [11] L. A. Thrash, Annual Refinishing Survey, Oil and Gas J., (March 18), p. 84, 1991.
- [12] R. W. Siekmann, D. Blackman, G. H. Pischinger, and L. D. Carvalho, The Influence of Lubricant Contamination by Methyl esters of Plant Oils on Oxidation Stability and Life. Proc. of the Int'l Conference on Plant and Vegetable Oils as Fuels, ASAE, Fargo, ND, Aug. 2-4. 1982.
- [13] M. A. Reis, and M. S. Jernimo, "Waste Lubricating Oil Re-Refining by Solvent Extraction Flocculation", A Scientific Basis to Design Efficient Solvents, Industrial Eng. Chem. Res., Volume 27, 1222-1228, 1988.
- [14] H. Bridjanian, M. Sattarin, Modern Recovery Methods in Used Oil Re-refining, Petroleum & Coal. 48 (1), 40-43, 2006.

- [15] H. A. Durrani, Re-Refining Recovery Methods of Used Lubricating Oil, *Int. J. of Eng. Sci. & Res. Tech.*, 3(3), 1216-1220, 2014.
- [16] F.D. Giovanna, O. Khlebinkaia, A. Lodolo, S. Miertus, *Compendium of Used Oil Regeneration Technologies*, Int. Centre for Sci. and Tech., 2003.
- [17] M. O. Diphare and E. Muzenda, *Analysis and Characterization of Waste Lubricating Grease Derived Oil*, 2nd International Conference on Agricultural, Environment and Biological Sciences , ICAEBS, Dec.17 - 18, Pattaya - Thailand, 2013.
- [18] *Used Lubricating Oil Analysis manual*, P/N 269-069403, Thermo Fisher Scientific, 2003.
- [19] A. M. Al-Ghouti, L. Al-Atoum, *Virgin and Recycled Engine Oil Differentiation: A Spectroscopic Study*, *J. of Envi. Management*, No. 90, 18-195, 2009.
- [20] P. M. Cann, *Grease degradation in a bearing simulation device*, *Tribology International*, No. 39, 1698-1706, 2006.
- [21] D. W. Brinkman, *Used Oil: resource or Pollutant*, *Technology Review*, Vol.88, , p46, 1985. [22] M. U. Kilyanov, S. E. Kolesnikov, *Chemical Technology of Fuel and Lubricant*, NO.6 , 32- 34, Moskow, 2005.
- [23] J. M. Lenoir, *Predict Flash Points accurately* , *Hydro carb. Process*, 54, 153 - 158, 1975.
- [24] T.A. Albahri , M. R. Riazi , A. A. Alqattan , *Octane Number and Aniline Point of Petroleum Fuels* , *Fuel Chemistry Division Preprints* , 47(2),710, 2002.
- [25] J. G. Speigt, *The chemistry and Technology of Petroleum*, CRC press, 4th ed.,ISB No-.2006 ,8493-9067-2
- [26] J. D. Udonne, *A comparative Study of Recycling of Used Lubrication Oils Using Distillation, Acid and Activated Charcoal with Clay Methods*, *Academic Journal*, ISSN 2141-