



République Algérienne Démocratique et Populaire
Ministère de l'Enseignement Supérieur
et de la Recherche Scientifique
Université Echahid Hamma Lakhdar El Oued



Faculté de Technologie

Mémoire de Fin d'Etude

En vue de l'obtention du diplôme de

MASTER ACADEMIQUE

Domaine : Sciences et Technologies

Filière : Industries pétrochimiques

Spécialité : Génie Pétrochimique

Présenté par :

Sifi Mouhamed Bachir

Dardour Omar

Belhut Mouhamed

Thème

Recyclage et valorisation des huiles de vidange :

Etude bibliographique.

Soutenu le 23/09/2021

Devant le Jurées :

Mr N. Chaabia	Président	Université d'El Oued.
Mr. M ^{ed} . T. Oucif khaled	Examineur	Université d'El Oued.
Mr. A. Boughezal	Rapporteur	Université d'El Oued.

2020/2021

Dédicace

Je dédie ce travail à mes chers, dont ma mère ,mes seours et l'ame de mon père , et je Dédie également ce travail à mon inspirant A.B meftahe et mes collègues qui y ont participé, à savoir Et à tous ceux qui nous ont aidés de près ou de loin.

Résumé :

Le présent travail consiste en la présentation d'une synthèse bibliographique sur les huiles moteurs usagées. Les origines, les différents types et classes de ces huiles, leur récupération pour recyclage et valorisation et leurs effets sur l'environnement font l'objet de cette présentation.

Des travaux de recherches ont été menés dans ce domaine afin d'améliorer les caractéristiques des matières extraites et d'inventer de nouveaux procédés de recyclage et par conséquent, d'élargir les domaines d'application et de réutilisation. Il en résulte, d'après cette étude, qu'une grande partie des huiles usagées reste non valorisée, surtout en Algérie, ce qui peut y avoir un impact sur l'environnement et l'économie du pays.

Mots clés : Huiles moteurs, lubrifiants, huiles usagées, recyclage des huiles.

ملخص:

يتمثل هذا العمل في عرض تجميع بليوغرافي حول زيوت المحركات المستعملة. ويتم استعراض، في هذا البحث، أصل هذه الزيوت وأنواعها وطرق استعادتها من أجل إعادة تدويرها وتثمينها وكذا تأثيراتها على البيئة.

في هذا السياق، عدة أعمال بحثية تم نشرها و الهدف هو تحسين خصائص المواد المستخرجة من الزيوت وابتكار عمليات إعادة تدوير جديدة وبالتالي توسيع مجالات التطبيق وإعادة الاستخدام ، ووفقاً لهذه الدراسة ، فإن جزءاً كبيراً من الزيوت المستعملة لا يزال غير مسترجع ، لا سيما في الجزائر ، مما قد يكون له تأثير على البيئة والاقتصاد في البلاد.

الكلمات المفتاحية: زيوت المحركات، الشحوم، الزيوت المستعملة، إعادة تدوير الزيوت

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 Abdeslam Boughezal**, 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 la faculté de Technologies, en particulier le personnel enseignant du Département de génie des procédés et pétrochimie. 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

SOMMAIRE

Didicace.....	
Remerciements.....	
Sommaire.....	
Table des figures et tableaux.....	
Résumé.....	
Introduction générale.....	1
CHAPITRE I Origine et procédés d'obtention des huiles moteurs	
I.1 Définition des lubrifiants :	2
I.2 Origines du lubrifiant:.....	2
I.3 Procédé de fabrication des lubrifiants:.....	2
1. Lubrifiants :	2
3. Additifs:.....	3
4. Fabrication de lubrifiants :	3
I.4 Rôles du lubrifiant:	3
I.4.1 Définitions des huiles:.....	4
a. Les huiles noires:.....	4
b. Les huiles claires:.....	4
I.5. Origine de l'huile:	4
I.6 Procédé de fabrication des huiles de bases:	5
I.6.1 Le raffinage du pétrole:.....	5
a. Unité de distillation sous vide du BRA:.....	5
b. Unité désalphaltage du RSV par le propane:.....	6
c. Unité extraction au furfural:	6

d. Unité déparaffinage au MEC-Toluène:.....	6
e. Unité de traitement par hydrogénation catalytique:.....	7
I.6.2 Les additifs:.....	7
I.7 Propriétés de l'huile:.....	8
I.8 Caracteristiques generalesdes huiles lubrifiantes.....	10
I.8.1. Viscosité:.....	11
I.8.2 Indice de viscosité:.....	11
I.8.3 Point d'écoulement:.....	11
I.8.4 Point d'éclair:.....	11
I.8.5 Densité:.....	12
I.9 Définition d'une huile usagée:.....	12
I.10 Différents types d'huiles usagées.....	12
a. Les huiles noires:.....	13
b. Les huiles claires :.....	13
I.11 Classification des huiles moteur:.....	13
I.11.1 Classifications selon la SAE:.....	13
I.11.2 Classifications selon l'API:.....	14
I.11.3 Classifications selon l'ACEA:.....	15
I.11.4 Classifications selon l'ILSAC:.....	16
I.11.4 Classifications selon JASO:.....	17
I.12 Additifs pour huiles de graissage:.....	17
I.12.1 Produits anticorrosifs:.....	18
I.12.2 Les additifs de viscosité:.....	18

CHAPITRE II Les huiles usagées: statistiques et effets sur l'environnement	
II.1. Collecte des huiles usagées :	22
II.2. Statistiques des huiles usagées:	22
II.2.1.Huiles usagées en Algérie :	22
II.2.2.Union européenne:	24
II.2.3. en France :	25
II.2.4. Asie :	27
II. 3. Impacts des huiles usagées sur l'environnement :	29
II. 3. 1. Objectifs :	29
a. Impact négatif:	29
b. Impact positif:	30
CHAPITRE III Procédés de récupération et de valorisation des huiles de vidange	
III.1.Le principe du recyclage des huiles usagées:	33
III. 2.Etudes des technologies actuelles de régénération:	34
III.2.1.Processus de traitement des huiles usagées en acide/terre :	34
III.2.2.Processus de distillation sous vide et hydrogénation des huiles usagées:	35
III.2.3. Procédé de distillation sous vide des huiles usagées et traitement en terres:	36
III.3. Procédés de conversion des huiles de vidange en combustible.....	38
III.3.1. Les traitements primaires	39
III.3.2. Les procédés d'élimination des polluants:	39
III.3.2.1 L'ultrafiltration:.....	39
III.3.2.2 Centrifugation:.....	39
III.3.2.3 Désasphaltage (extraction liquide / liquide):.....	40
III.3.2.4 Flocculation:	40

III.3.2.5 Le craquage thermique:	41
III.3.2.6 Hydrotraitement:	41
III.3.2.7 Démétallisation par sels fondus:	41
III.4 Présentation de quelques travaux de recherche sur le recyclage et la valorisation des huiles usagées.....	43
Conclusion general:.....	53
Références Bibliographiques.....	46

LISTE DES FIGURES

Figure I.1: Futs des huiles usagées. [11]	12
Figure I.2: l'effet de température sur les huiles. [12]	14
Figure I.3: relation entre la température et la viscosité des les huiles de moteur. [12] ...	14
Figure I.4: Classifications selon l'ACEA. [12].....	16
Figure I.5: Classifications selon l'ILSAC. [12]	16
Figure I.6: Classifications selon JASO. [12].....	17
Figure II.1: Taux de collecte des huiles usagées dans quelques pays d'Europe.	22
Figure II.2: Huiles usagées, huiles de collection et huiles collectées pour recyclage dans les pays de l'UE.	25
Figure II.3: Répartition du gisement 2011 d'huiles usagées moteurs par catégorie de détenteurs	26
Figure II.4: Evolution de la collecte des huiles usagées noires en métropole (en tonnes)	27
Figure II.5: L'impact des huiles usagées sur l'environnement.....	31
Figure III.1: Schéma général du processus de recyclage des huiles usagées. [17]	33
Figure III.2: Diagramme de processus de traitement des huiles usagées en acide/terre .	35
Figure III.4: Organigramme du processus Viscolube	38

LISTE DES TABLEAUX

Tableau I.1: huiles générant des huiles usagées claires. [3]	9
Tableau I.2: Huiles générant des huiles usagées noires. [3].....	10
Tableau I.3 : Caractéristiques des huiles obtenues par additif. [14].....	20
Tableau II.1: Nomenclature des principales catégories d’huiles usagées selon la réglementation algérienne (Décret Exécutif N° 93-161 du 10/07/1993). [16]	23
Tableau II.2: Evolution de la collecte des huiles usagées en métropole (entonnnes).....	27
Tableau II.3: Tableau résumant les impacts négatifs sur le milieu naturel	29
Tableau II.4 : Tableau résumant les impacts positifs sur le milieu naturel	30

ABREVIATIONS ET SYMBOLES

Abreviations et symboles:

BRA: résidu atmosphérique

DAO: desasphalting oil

MEC: methyl ethyl cetone

Furfural: solvant organique avec une fonction aldéhyde

SAE (Society of Automotive Engineers)

API (American Petroleum Institute)

ACEA (Association des Constructeurs Européens d'Automobiles)

ILSAC (International Lubricant Standardization and Approval Committee)

JASO (Japanese Automotive Standards Organization)

RSV: résidu sous vide

IV: indice de viscosité

MMT : million mille tonnes

TDA: thermal desasphalting

TCT: traitement thermique en terres

Introduction générale

Introduction générale :

Le véritable progrès industriel qu'a connus l'humanité en 19^{ème} siècle et qui a amélioré notre vie sur tous les niveaux (transport, habitat, alimentationetc) a laissé des effets néfastes sur l'environnement et la santé humaine. L'une des caractéristiques de ce progrès est la machination des procédés. Ces machines nécessitent de grandes quantités de lubrifiants et d'huiles à fin de garantir leur bon fonctionnement et d'augmenter leur durée de vie. Au cours du temps de fonctionnement, ces huiles se dégradent et perdent ainsi, leur caractéristique de lubrification ce qui nécessite leurs vidanges.

Des quantités énormes sont collectées et récupérées par des sociétés spécialisées dans la récupération de ces huiles, mais d'autres quantités sont rejetées dans l'environnement sans aucun traitement.

Afin d'augmenter le taux de récupération des huiles de vidange, et d'améliorer les caractéristiques des matières extraites, plusieurs sont les études et recherches qui ont été menées dans ce sens. L'objectif de notre travail est de faire une synthèse bibliographique dont on fait la lumière sur le domaine des huiles de vidange.

Le présent manuscrit est réparti en quatre chapitres :

Le premier vise sur l'origine et les procédés d'obtention des huiles moteurs ;

Le deuxième est consacré aux procédés de récupération et de valorisation ;

Le troisième chapitre présente des statistiques concernant l'utilisation et la récupération des huiles de lubrification ainsi que leurs effets sur l'environnement ;

Le quatrième chapitre est une exposition de quelques travaux de recherches avec les résultats obtenus dans le domaine de traitement des huiles usagées. Le manuscrit se termine, à la fin, par une conclusion générale.

CHAPITRE I

Origine et procédés d'obtention des huiles moteurs

CHAPITRE I : Origine et procédés d'obtention des huiles moteurs

I.1 Définition des lubrifiants :

Les lubrifiants sont des substances servant à adoucir le frottement de deux pièces mobiles en contact. Les lubrifiants naturels peuvent être :

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

Un bon lubrifiant doit avoir de la consistance ou de la compacité, de la résistance aux acides corrosifs, de la fluidité et offrir un minimum de frottements ou de résistance de tension, des points de combustion et d'inflammation élevés, ainsi qu'une absence d'oxydation et d'encrassement.

I.2 Origines du lubrifiant:

Historiquement, les huiles végétales et les graisses animales étaient la source principale des lubrifiants. Depuis la fin du XIXe siècle, plus de 90 p. 100 des lubrifiants proviennent du pétrole ou de l'huile minérale, qui sont abondants dans la nature et peuvent être distillés et concentrés sans se décomposer[1].

I.3 Procédé de fabrication des lubrifiants:

D'après la Législation Algérienne, en application des dispositions du décret exécutif n°97-40 du 9 Ramadhan 1417 correspondant au 18 janvier 1997, modifié et complété, relatif aux critères de détermination et d'encadrement des activités et professions réglementées soumises à inscription au registre du commerce, notamment ses articles 4 et 7, le présent décret a pour objet de réglementer l'exercice de l'activité de fabrication des lubrifiants. Il arrête les définitions suivantes : [2]

1. Lubrifiants :

Les produits raffinés, fabriqués à partir de **mélanges d'huiles de base minérales** issues d'un pétrole brut ou d'huiles synthétiques ou des deux types d'huiles additionnées à des produits chimiques appelés additifs. Les mélanges englobent les huiles finies et les graisses.

CHAPITRE I : Origine et procédés d'obtention des huiles moteurs

2. Huiles de base:

Produits dérivés de certaines fractions du pétrole brut ou d'autres huiles, utilisées comme produits de base pour la fabrication de lubrifiants.

3. Additifs:

Substances chimiques de composition organique ou inorganique qui améliorent les caractéristiques et performances des huiles de base pour des usages de lubrification et de graissage.

4. Fabrication de lubrifiants :

L'ensemble des opérations permettant l'obtention de lubrifiants par le biais de mélange d'huiles de base et d'additifs [2].

I.4 Roles du lubrifiant:

«Lubrifiant» est un nom générique des substances servant à adoucir le frottement de deux pièces mobiles en contact. D'une manière générale, le rôle du lubrifiant dans le domaine technique et technologique est de :

- Réduire les pertes par frottement
- Combattre l'usure des surfaces frottantes sous toutes ses formes
- Protéger les organes contre la corrosion
- Refroidir les machines en évacuant les calories
- Participer à l'étanchéité aux gaz, aux liquides et aux contaminants solides
- Garder propres les surfaces et les circuits
- Transmettre l'énergie dans les systèmes hydrauliques
- Absorber les chocs, réduire le bruit

Assurer des fonctions passives diverses telles que la résistance au moussage, la neutralité vis-à-vis des élastomères, des plastiques et des peintures[1].

CHAPITRE I : Origine et procédés d'obtention des huiles moteurs

I.4.1 Définitions des huiles:

Les huiles de vidanges ce sont des huiles moteur usagées générées lors des opérations de vidanges et d'entretien des véhicules.

Les huiles usagées sont générées par l'utilisation de lubrifiants« moteurs », hydrauliques ou la préparation de métaux.

Les lubrifiants dits «industriels», utilisés dans des secteurs d'activités très divers (industrie, agriculture, transports, BTP et services techniques des collectivités) ont cinq applications principales:

- Le circuit hydraulique.
- La turbine.
- L'isolation
- La trempe des métaux.
- Les fluides caloporteurs.

I.5. Origine de l'huile:

Une huile de vidange provient d'une huile usagée qui, après utilisation, devient contaminée. Ses propriétés altérées, elle ne peut continuer à remplir sa tâche convenablement. Cette catégorie de matières comprend les lubrifiants à moteur, les liquides hydrauliques, les liquides servant à travailler le métal, les fluides isolants et les liquides de refroidissement. Les huiles usagées conduisent à trois formes de résidus:

- L'huile usagée elle-même;
- le filtre à l'huile, contenant un résidu d'huile usagée et des dépôts agglutinés;
- Le contenant dans lequel l'huile a été mise en marché et le restant d'huile vierge demeuré au fond du contenant;

Avant emploi, les huiles moteur sont constituées d'une huile de graissage de base (mélange complexe d'hydrocarbures, 80 à 90% par volume) et d'additifs destinés à en améliorer la performance (10 à 20% par volume). Les huiles motrices sont altérées durant

CHAPITRE I : Origine et procédés d'obtention des huiles moteurs

l'utilisation en raison de la dégradation des additifs, de la contamination par les produits de combustion et de l'addition de métaux provenant de l'usure du moteur [3].

I.6 Procédé de fabrication des huiles de bases:

I.6.1 Le raffinage du pétrole:

Le raffinage consiste à utiliser les caractéristiques physiques de chacun des composants contenus dans le mélange tels que la température d'ébullition pour les séparer et extraire des fractions primaires. En effet chaque hydrocarbure pur possède des caractéristiques chimiques et physiques spécifiques. Cette opération est appelée la distillation «atmosphérique» car elle se fait à la pression ambiante donnant lieu à plusieurs coupes pétrolières; les soutirages latéraux :

- Essence, kérosène, gasoil léger, gasoil moyen, gasoil lourd, enfin le résidu atmosphérique (**BRA**) qui se trouve au fond de la colonne[4].

Le procédé de fabrication des huiles de base comporte cinq unités qui sont les suivantes :

a. Unité de distillation sous vide du BRA:

La distillation est dite « sous vide » car elle se fait à une pression nulle.

Son but est de fractionner le «résidu atmosphérique» issu du fond de la colonne de distillation atmosphérique en coupes de distillats destinées à alimenter des unités de conversion afin de produire des produits des huiles de bases. Par distillation sous vide, le résidu atmosphérique est fractionné en coupes étroites qui correspondent aux trois grades d'huiles les plus légères.

Les distillats obtenus sont :

- Spindle oil, ou huile légère (SPO);
- SAE 10 ou huile mi-visqueuse (MVO);
- SAE 30 ou huile visqueuse (VO);
- Résidu sous vide (RSV).

CHAPITRE I : Origine et procédés d'obtention des huiles moteurs

b. Unité désalphaltage du RSV par le propane:

Le désalphaltage au propane est l'obtention d'huiles lourdes de la catégorie Bright Stock (BS) débarrassées des matériaux asphaltés et résineux qui nuisent à leur stabilité thermique et donnent une mauvaise couleur.

- Principe:

Réalisée dans une colonne d'extraction à disques rotatifs, cette opération est conduite à contre-courant d'un flux de résidu sous vide (R.S.V) et d'un flux de propane.

La phase huileuse, souvent appelé "D.A.O" soluble dans le propane, est séparée d'un mélange de résines asphaltées qui décante au fond de la colonne.

c. Unité extraction au furfural:

Son but est d'améliorer l'indice de viscosité de l'huile en la débarrassant des composés instables à l'oxygène. Le furfural, solubilise sélectivement les composés aromatiques et polycycliques qui existent dans l'huile[4].

Le traitement au furfural est le plus actif; d'abord envers les hydrocarbures aromatiques puis les hydrocarbures naphthéniques.

On distingue deux phases, dont la première est un extrait riche en aromatiques, la deuxième étant un raffinat riche en composants paraffiniques.

d. Unité déparaffinage au MEC-Toluène:

Il a pour but d'éliminer les cristaux de paraffine ayant tendance à provoquer le figeage des bases huileuses à basse température.

Le déparaffinage est une opération réalisée grâce à un mélange de solvants (mélange méthyl éthyl cétone et de toluène) qui a pour but de solubiliser l'huile de base en facilitant la cristallisation à froid des paraffines, ces dernières sont retenues dans un filtre rotatif pour donner:

- Une huile pauvre en paraffine à bas point d'écoulement recherché.
- Une paraffine riche en huile qui, une fois déshuilée, sert comme sous-produit.

e. Unité de traitement par hydrogénation catalytique:

La section d'hydrofinishing a pour rôle d'éliminer les insaturés, le soufre et l'azote dans le but d'améliorer la couleur, la stabilité des huiles à l'oxydation ainsi que minimiser la teneur en impuretés. Le traitement consiste essentiellement à faire passer l'huile et l'hydrogène injectés à travers un lit de catalyseur sous des conditions modérées de température et de pression.

Le procédé utilise un catalyseur hydrogénant dont lequel le fer est associé comme promoteur au mélange, où la réaction de décoloration et d'amélioration de la résistance à l'oxydation prend place[4].

I.6.2 Les additifs:

Les additifs sont des produits chimiques complexes incorporés aux huiles de base, dont le but est d'en améliorer certaines propriétés ou de leur en apporter de nouvelles. Les mélanges et les dosages des différents composants entrant dans une formulation de lubrifiant doivent tenir compte des antagonistes ou des synergies des produits entre eux. Il existe des additifs ne possédant qu'une seule fonction tandis que d'autres, à structure souvent plus complexe sont «multifonctionnels». En effet, la réaction d'un additif avec une huile de base donnée dépend de la composition chimique de l'additif, de la quantité qui est utilisée, du degré de raffinage et de la nature chimique de l'huile de base. Elle dépend aussi du type de moteur et des conditions de service auxquelles il doit répondre le plus souvent. Les additifs bien qu'entrant en très faible quantité dans la composition des lubrifiants, influent considérablement sur le prix de revient des produits. L'ensemble des additifs constitue 3 à 13% en poids du produit fini.

Le rôle essentiel des additifs est de permettre au lubrifiant de s'interposer entre les surfaces des pièces mécaniques en mouvement rotatif pour diminuer les frottements et éviter l'usure.

Les additifs sont destinés à remplir l'un ou plusieurs des rôles suivants :

- Retarder l'oxydation;

CHAPITRE I : Origine et procédés d'obtention des huiles moteurs

- Protéger les surfaces métalliques de la corrosion et de la rouille Augmenter les propriétés d'écoulement à froid;
- Améliorer la qualité des films de lubrification aux conditions de pression extrêmes;
- Maintenir la propreté de pièces motrices;
- Réduire la mousse;
- Former des émulsions huile/eau stable.

Ils sont environ une dizaine et ont chacun une ou plusieurs fonctions destinées à améliorer :

- La protection et le rendement du moteur;
- Les caractéristiques du lubrifiant;
- La durée de vie du lubrifiant dans le moteur[5]

I.7 Propriétés de l'huile:

La composition des huiles motrices usées est variable et difficile à définir. Néanmoins, les huiles moteur usées sont généralement constituées d'alcanes aliphatiques à chaîne droite et ramifiée, d'alcanes cycliques et d'hydrocarbures aromatiques mono- et polycycliques comme le phénol, le naphthalène, le Benz [a]anthracène, le benzo [def] chrysène et le fluoranthène. D'autres composés organiques comprennent le toluène, le benzène, les xylènes et l'éthylbenzène. Il y a également des composés organiques et inorganiques de chlore, de soufre, de phosphore, de brome, d'azote, et des métaux, comme le zinc, le magnésium, le baryum et le plomb.

Durant la collecte, les huiles moteur usées sont souvent mélangées à d'autres huiles usagées, comme les huiles de graissage industrielles, les huiles hydrauliques, les huiles pour le travail des métaux et les huiles de coupe, les huiles caloporteuses, les fonds de réservoirs de stockage de pétrole et les mélanges huile/eau de diverses sources. Il faut donc élargir la définition des huiles moteur usées pour inclure d'autres huiles usagées dont les huiles moteur usées constituent la majeure partie. De mauvaises pratiques de séparation lors de la collecte et

CHAPITRE I : Origine et procédés d'obtention des huiles moteurs

du transport des huiles moteur usées peuvent introduire des contaminants comme des organochlorés, des solvants épuisés et des biphényles polychlorés.

Il est difficile de caractériser la composition des huiles motrices usées en des termes chimiques ou autres qui serviraient à évaluer l'impact potentiel de ces substances dans l'environnement. Il est reconnu que les principales composantes consistent en hydrocarbures aliphatiques et aromatiques. On relève également la présence de composés organiques et inorganiques de chlore, de soufre, de phosphore, de brome, d'azote et de métaux, comme le zinc, le magnésium, le baryum et le plomb issus d'additifs et de la contamination en cours d'utilisation ou d'élimination [3]

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

Origine	Spécificité
Industrielle	<ul style="list-style-type: none">- Huiles pour mouvements- Huiles pour turbines- Huiles pour transmissions hydrauliques- Huiles isolantes pour transformateurs- Huiles non solubles pour le travail des métaux
Industrielle/automobile	<ul style="list-style-type: none">- Huiles pour amortisseurs

CHAPITRE I : Origine et procédés d'obtention des huiles moteurs

Tableau I.2: Huiles générant des huiles usagées noires[3]:

Origine	Spécificité
Automobile	<ul style="list-style-type: none">- Toutes huiles finies pour moteurs essences y compris les huiles dites mixtes- Huiles pour moteurs Diesel dites « Tourisme »- Huiles pour moteurs Diesel pour véhicules utilitaires y compris SNCF et Marine- Huiles multi fonctionnelles- Huiles pour transmissions automatiques- Huiles pour engrenages automobiles
Industrie	<ul style="list-style-type: none">- Tous fluides caloporteurs- Huiles pour le traitement thermique- Huiles pour compresseurs frigorifiques- Huiles pour compresseurs d'aires, à gaz...- Huiles pour engrenages industriels- Huiles pour moteurs non comprises dans les autres huiles «D»
Aviation	<ul style="list-style-type: none">- Huiles pour moteurs d'avions

I.8 Caractéristiques générales des huiles lubrifiantes

Tous les lubrifiants sont caractérisés par certaines propriétés, qui sont spécifiques à ces fluides. Ces propriétés comprennent: la viscosité, l'indice de viscosité, le point d'éclair, le point d'écoulement, l'indice de basicité, l'indice d'acidité, la teneur en cendres, la teneur en eau et la densité[8].

CHAPITRE I : Origine et procédés d'obtention des huiles moteurs

I.8.1. Viscosité:

La caractéristique la plus importante d'un fluide est sa viscosité. La viscosité est définie comme le rapport de la force de cisaillement agissant sur une unité de surface au gradient de vitesse qui existe entre les différentes couches du fluide. La viscosité dépend fortement de la température. Elle détermine en effet l'essentiel des pertes par frottement et l'épaisseur des films d'huile. La viscosité caractérise la résistance d'un fluide à l'écoulement [9]. L'ajout de certains additifs permet d'améliorer la viscosité des lubrifiants sous haute température.

I.8.2 Indice de viscosité:

L'indice de viscosité (I V) est un nombre conventionnel qui traduit l'importance de la variation de la viscosité avec la température et permet de juger la tenue à chaud et à froid des huiles. Un I V de 100 indique une très faible variation de la viscosité, un I V de 0 une très grande variation ou une grande sensibilité à la température. De manière pratique, on détermine l' I V à partir des mesures de viscosités cinématiques effectuées respectivement à 40 et à 100 °C, soit en utilisant des tables ASTM, soit en utilisant un programme de spécifique sur calculette ou sur micro-ordinateur[8].

I.8.3 Point d'écoulement:

Le point d'écoulement est la température la plus basse à laquelle l'huile coule encore lorsqu'elle est refroidie sans agitation, dans des conditions normalisées[8].

I.8.4 Point d'éclair:

Il est défini par la température minimale à laquelle il faut porter l'huile pour que les vapeurs émises s'enflamment spontanément en présence d'une flamme dans des conditions normalisées. Le test de point d'éclair donne une indication de la présence de composés volatils dans l'huile et de la température à laquelle l'huile doit être chauffée dans des conditions spécifiques pour donner suffisamment de vapeur pour former un mélange inflammable avec l'air. Il existe différentes méthodes pour déterminer le point d'éclair des huiles telles qu'elles sont mentionnées dans la norme ASTM[10].

CHAPITRE I : Origine et procédés d'obtention des huiles moteurs

I.8.5 Densité:

La densité d'une substance est le rapport de sa masse volumique à la masse volumique d'un corps de référence dans des conditions qui doivent être spécifiées pour les deux corps. En général, les corps de référence sont l'eau pour les liquides et l'air pour les gaz.

I.9 Définition d'une huile usagée:

Une huile usagée est une huile qui, après utilisation, devient contaminée. Ses propriétés sont donc altérées, elle ne peut continuer à remplir sa tâche convenablement. C'est le cas de lubrifiant de moteur, des liquides hydrauliques, des liquides servant à travailler le métal, des fluides isolants et des liquides de refroidissement.

Toute huile minérale qui a été raffinée à partir d'un pétrole brut et tout hydrocarbure de synthèse qui sont devenus inutilisables pour lubrification à cause de la présence d'impuretés et de la perte de leurs propriétés d'origine définie : [3]

Huiles usagées : Les huiles minérales qui, après usage, sont devenues inaptes à l'emploi auquel elles étaient destinées.

Elles sont considérées comme des déchets dangereux ou des déchets spéciaux



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

I.10 Différents types d'huiles usagées

Les huiles usagées peuvent être d'origine minérale ou synthétique. On distingue deux grandes catégories d'huiles usagées:

CHAPITRE I : Origine et procédés d'obtention des huiles moteurs

a. Les huiles noires:

qui comprennent les huiles de moteurs et certaines huiles industrielles (huiles de trempe, de laminage, de tréfilage et autres huiles entières d'usinage des métaux : ces huiles sont fortement dégradées et contaminées).

b. Les huiles claires :

qui proviennent des transformateurs, des circuits hydrauliques et des turbines. Elles sont peu contaminées et chargées en général d'eau et de particules[11].

I.11 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, VW, ...) 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 importés 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.11.1 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

CHAPITRE I : Origine et procédés d'obtention des huiles moteurs

lettre « W » représente les performances de l'huile en hiver (huile polyvalente). Si cet additif manque, l'huile peut uniquement être utilisée en été.

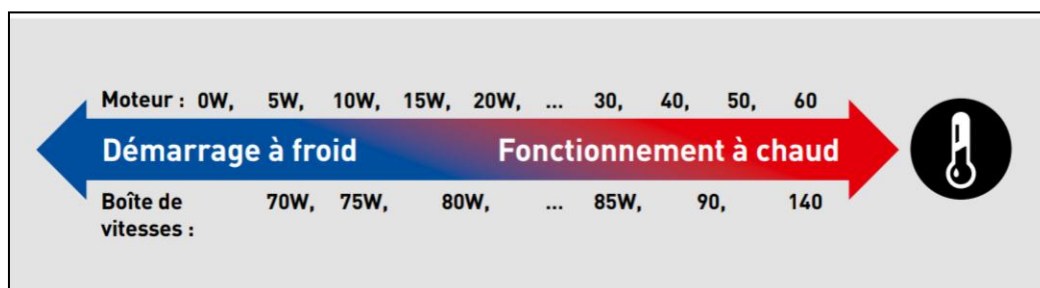


Figure I.2: l'effet de température sur les huiles. [12]

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.11.2 Classifications selon l'API:

L'American Petroleum Institute distingue essentiellement entre deux types d'huiles moteur : d'une part une huile pour moteurs essence (S) et d'autre part une huile pour moteurs diesel (C). La lettre suivante, par ex. « G » ou « H » définit la qualité du lubrifiant. Plus la lettre est loin dans l'alphabet, plus la qualité de l'huile moteur est élevée. Les classifications élevées comme API SN peuvent être utilisées sans problème selon l'API pour les classifications précédentes, comme API SL. En ce qui concerne les huiles moteur pour moteurs diesel, un « 4 » peut encore

CHAPITRE I : Origine et procédés d'obtention des huiles moteurs

être spécifié. Cet ajout représente l'aptitude pour moteurs volumineux, comme les camions ou les bus.

I.11.3 Classifications selon l'ACEA:

L'Association des Constructeurs Européens d'Automobiles définit les normes en matière d'huile pour les constructeurs automobiles européens. Comme avec l'API, il y a une distinction entre les huiles pour moteurs à essence (A) et les moteurs diesel plus légers (B) Mais contrairement à l'API, chaque catégorie a pur l'ACEA sa propre signification et n'est pas rétrocompatible. [12]

5.3.1 Moteurs essence et diesel de voiture	
A1/B1	Huile moteur haute performance pour les moteurs essence et diesel, appelée huile moteur à économie de carburant avec viscosité High-Temperature-High-Shear particulièrement basse (2,9 – 3,5 mPa*s). Convient au grade de viscosité xW-20. Non valide depuis 12/2016.
A3/B4	L'huile moteur haute performance pour les moteurs essence et diesel surpasse et remplace les huiles moteur conventionnelles telles que ACEA A2/B2 ou A3/B3 et peut être employée pour des intervalles de vidanges prolongés.
A5/B5	Huile moteur haute performance pour les moteurs à essence et diesel, appelée huile moteur à économie d'énergie avec viscosité High-Temperature-High-Shear particulièrement basse (2,9 – 3,5 mPa*s). Convient au grade de viscosité xW-30.

5.3.2 Moteurs diesel pour voiture avec filtre à particules diesel	
C1	Catégorie pour huile Low-SAPS avec viscosité HTHS réduite $\geq 2,9$ mPa*s, faible viscosité, performances comme A5/B5, mais avec une proportion très limitée de cendres sulfatées, de phosphore et de soufre.
C2	Catégorie pour huile Low-SAPS avec viscosité HTHS réduite $\geq 2,9$ mPa*s, faible viscosité, performances comme A5/B5, avec une proportion de cendres sulfatées, de phosphore et de soufre limitée, mais plus élevée que la C1.
C3	Catégorie pour huile Mid-SAPS avec viscosité HTHS élevée $\geq 3,5$ mPa*s, faible viscosité, performances comme A3/B4, avec une proportion de cendres sulfatées, de phosphore et de soufre limitée, mais plus élevée que la C1-04.
C4	Catégorie pour huile Low-SAPS avec viscosité HTHS élevée $\geq 3,5$ mPa*s, faible viscosité, performances comme A3/B4, avec une proportion identique de cendres sulfatées et de soufre pour une proportion de phosphore plus élevée que la C1.
C5	Catégorie pour huile Mid-SAPS avec viscosité HTHS réduite 2,6 – 2,9 mPa*s, faible viscosité, pour une consommation de carburant idéale et encore réduite, pour véhicules dotés de systèmes de post-traitement des gaz d'échappement ultra-modernes, seulement pour les moteurs qui présentent la technologie requise.

Figure I.4: Classifications selon l'ACEA. [12]

I.11.4 Classifications selon l'ILSAC:

Dans le cadre de la classification des huiles moteur, le Comité international de normalisation et d'homologation des lubrifiants s'appuie très fortement sur la classification API. Il en ressort cinq catégories pour les moteurs essence. Les moteurs diesel ne sont pas pris en considération dans le cas de la norme ILSAC[12].

ILSAC	
GF-1	Année d'introduction 1996, comparable à API SH, Catégorie non actuelle
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

Figure I.5: Classifications selon l'ILSAC. [12]

CHAPITRE I : Origine et procédés d'obtention des huiles moteurs

I.11.5 Classifications selon JASO:

La Japanese Automobile Standard Organisation définit les critères pour les huiles pour deux-roues. Des exigences supérieures sont requises en termes de comportement de friction (embrayages à bain d'huile), de stabilité au cisaillement et de comportement à la combustion. Les classifications de la JASO et de l'API apparaissent toujours ensemble 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 les 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 complète
FD	Moteurs 2 temps – nettoyage optimal, combustion complète

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

I.12 Additifs pour huiles de graissage:

Les additifs peuvent modifier les propriétés physiques de l'huile lubrifiante de base, en particulier le point de congélation et l'indice de viscosité. Ils peuvent aussi avoir une action chimique en inhibant l'oxydation et la corrosion, d'autres sont destinés aux hautes pressions. Certains additifs ont plusieurs activités. Ainsi, certaines substances abaissent le point de fusion et en même temps améliorent le comportement viscosité-température. La condition principale pour le rendement complet de l'additif reste la présence de base de haute valeur préparée par les meilleures méthodes de fabrication. Ce peut être l'huile de graissage ou

CHAPITRE I : Origine et procédés d'obtention des huiles moteurs

minérale ou synthétique. Le plus souvent, on ajoutera à cette huile plusieurs additifs à action spécifiquement différente pour atteindre la qualité exigée par la clientèle, mais on veillera à ce que ces divers additifs ne se gênent pas dans leurs activités réciproques. Les additifs qui sont utilisés en très petites c'est-à-dire à moins de 1%, portent en anglais le nom de « dopes », ceux dont les quantités de 1 à 20% souvent celui de « additives » [13].

I.12.1 Produits anticorrosifs:

La protection des objets métalliques contre la rouille dépend de la présence d'un mince film d'huile sur la surface du métal, qui empêche l'accès direct de l'air au métal en présence d'eau la tension interface entre l'eau et l'huile et la tension superficielle d'équilibre de l'huile avec l'anticorrosif déterminent les conditions de l'action du produit anticorrosif[13].

I.12.2 Les additifs de viscosité:

Ce sont des polymères, de type méthacrylates également ou des copolymères d'oléfines ou de dioléfines. Ces dernières devant être hydrogénées après polymérisation. Ils permettent d'accroître la viscosité des bases fluides sélectivement : le plus possible à haute température et le moins possible à basse température de façon à augmenter leur indice de viscosité et produire des huiles.

Dans le cas des esters d'indice de viscosité naturel est élevée. Ces additifs sont aussi nécessaires pour augmenter non pas l'indice de viscosité mais surtout la viscosité à haut température qui peut être trop faible pour améliorer la sécurité d'utilisation. Leur efficacité épaississante diminue au cours de l'utilisation sous l'influence des contraintes de cisaillement.

Mais aussi forte que soit cette diminution, notamment dans les paliers, entre le piston et la chemise. Et surtout dans les boîtes de vitesse lorsqu'elles sont lubrifiées par l'huile du carter. Il subsiste une partie de ce pouvoir épaississant qui apporte une sécurité de fonctionnement et éviter les chutes momentanées de pression d'huile. Ils confèrent aussi à l'huile une viscoélasticité qui peut compenser une partie des pertes d'efficacité dues aux contraintes de cisaillement. Il faut remarquer que les propriétés varient suivant la nature des polymères : les poly méthacrylates améliorent d'avantages l'indice de viscosité des bases et sont plus stables à l'oxydation que les copolymères hydrocarbonés, mais les premiers sont

CHAPITRE I : Origine et procédés d'obtention des huiles moteurs

moins épaississants que les seconds : il est donc nécessaire d'en ajouter un pourcentage plus élevé. Ce qui se traduit par un cout plus élevé. Les pourcentages en polymères plus ou moins dilués tels qu'ils sont présentés commercialement peuvent atteindre 10 à 15% [14] .

L'additif de viscosité est choisit en fonction de l'importance que l'on accorde a ses propriétés, par exemple :

- Stabilité au cisaillement;
- Stabilité thermique à l'air;
- Pouvoir épaississant à basse et haute température;
- Effet dispersant et anti-congelant;
- Coût.

CHAPITRE I : Origine et procédés d'obtention des huiles moteurs

Tableau I.3 : Caractéristiques des huiles obtenues par additif. [14]

Caractéristique	Signification
Détergence	Aptitude du fluide à nettoyer les surfaces et à maintenir en suspension les particules
Pouvoir de désaération	Aptitude de l'huile à permettre aux bulles d'air à remonter à la surface et crever.
Pouvoir lubrifiant	Aptitude de l'huile à abaisser l'effet de "frottement fluide" et assurer le maintien du film d'huile entre les surfaces.
Anti-oxydation	Aptitude à protéger contre l'oxydation.
Pouvoir anti- usure	Pouvoir à limiter l'usure des pièces métalliques en contact.
Pouvoir anti-mousse	Aptitude à éviter la formation de mousse provenant de la désaération.
Point éclair	Température à laquelle l'huile s'enflamme spontanément.
Point d'écoulement	Température en dessous de laquelle l'huile ne s'écoule plus.
Résistance thermique	Aptitude de l'huile à conserver ses qualités avec des variations importantes ou fréquentes de températures.
Point de congélation	Température à laquelle une pièce métallique ne coule plus dans l'huile.
Compatibilité avec les métaux	Aptitude de l'huile à ne pas attaquer certaines parties métalliques.
Isolation électrique	Aptitude de l'huile à ne pas conduire l'électricité.
Faible compressibilité	Aptitude à garder sa masse volumique sous fortes variations de pression.
Non toxicité	Aptitude à ne pas polluer et/ou à ne pas être toxique.
Indice d'acidité	Indique l'acidité de l'huile.

CHAPITRE II

Les huiles usagées:
statistiques et effects
sur l'environnement

CHAPITRE II Les huiles usagées: statistiques et effets sur l'environnement

II.1. Collecte des huiles usagées :

Après l'utilisation de 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] .

L'activité de regroupement, de collecte ou de transport de lots d'huiles usagées issus de plus d'un détenteur est assurée par ramasseurs d'huiles usagées. Les Etats Européens ont mis en place des systèmes de collecte performants qui sont contrôlés et financés suivant des règles propres à chaque pays[1] .

Voici le taux de collecte des huiles usagées dans quelques pays d'Europe

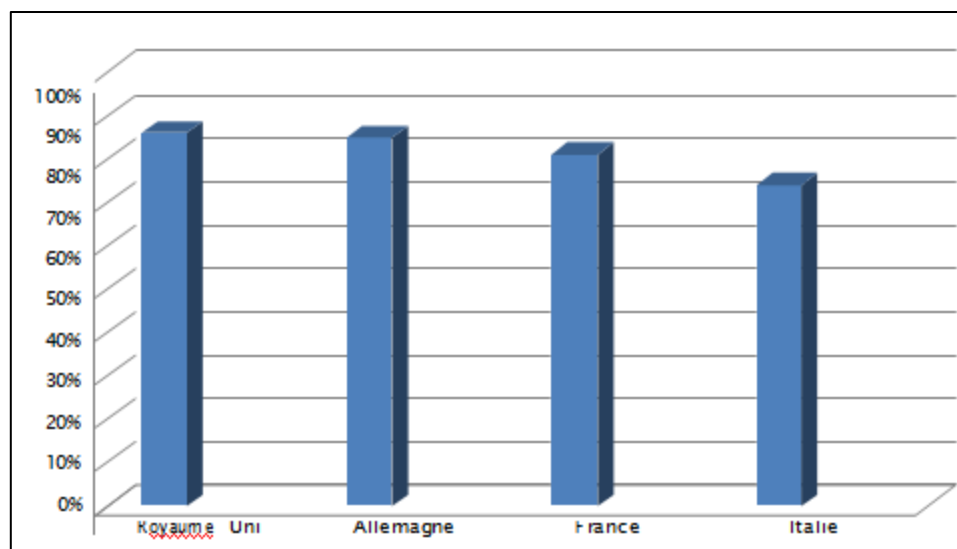


Figure II.1: Taux de collecte des huiles usagées dans quelques pays d'Europe.

II.2. Statistiques des huiles usagées:

II.2.1.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 annuellement dans les secteurs des transports et de l'industrie ont enregistré près de 90.000 tonnes d'huiles usagées, soit 50% du total des huiles lubrifiantes, selon le ministère de l'Environnement. Parmi tous ces déchets, le volume 72 000 tonnes sont

CHAPITRE II Les huiles usagées: statistiques et effets sur l'environnement

des huiles moteur (huiles noires) tandis que les 18 000 tonnes restantes sont des huiles synthétiques (huiles pures) [16] .

En Algérie, le processus se limite à la seule activité de collecte à travers une dizaine de collecteurs, agréés par le ministère de l'Environnement ,qui n'arrive même pas à ramasser tous les déchets générés.

Ces collecteurs sont constitués de PME privées avec des moyens "dérisoires", ainsi que du groupe Naftal qui s'est engagé dans cette activité depuis 1986. Depuis cette date, Naftal a collecté plus de 250.000 tonnes de lubrifiants, à raison de 20% à 25% de la quantité générée annuellement. La quantité collectée par Naftal à travers toutes les wilayas du pays est importante, mais elle reste insuffisante par rapport aux quantités de lubrifiants usagés générés[16] .

Tableau II.1: Nomenclature des principales catégories d'huiles usagées selon la réglementation algérienne (Décret Exécutif N° 93-161 du 10/07/1993). [16]

Désignation / Fonction	Observations
Huiles pour moteurs ou compresseurs et huiles de base moteurs	Véhicules, Bateaux...
Huiles utilisées comme matière première pour la fabrication d'additifs pour lubrifiants	Surtout synthétiques
Huiles de graissage	Visqueuses
Huiles pour engrenage sous carter	Réduction des frottements
Huiles pour mouvement	Anticorrosive
Huile noire appelée « mazout de graissage »	Peu visqueuse
Vaseline et huiles de vaseline	/
Huiles isolantes	Diélectrique
Huiles de trempe	Métallurgie
Huiles de turbines	Surtout pour lubrification et refroidissement

CHAPITRE II Les huiles usagées: statistiques et effets sur l'environnement

II.2.2.Union européenne:

Les chiffres sur les huiles usagées générées dans certains pays européens (parties récupérables et collectées des huiles lubrifiantes dans l'UE) ont été rapportés par le département américain de l'Énergie. Selon les ressources de la Commission européenne, environ 5 MMT d'huiles de base sont consommées en Europe chaque année, les secteurs automobile et industriel représentant respectivement 65% et 35%. Des informations plus détaillées sur les huiles usagées ont été rapportées comme suit :

- 50 % de l'huile consommée est perdue lors de l'utilisation (combustion, évaporation, résidus laissés dans les bidons...);
- 50 % sont des huiles usagées récupérables;
- L'huile moteur représente plus de 70 % des huiles usagées récupérables (1,75 MMT);
- Les huiles industrielles constituent le solde de 30 %;
- Le taux moyen de collecte des huiles usagées a atteint 70 à 75 % dans l'UE en 2000 (1,25 MMT);
- Les 25 à 30 % restants sont supposés être brûlés ou déversés illégalement dans l'environnement;
- Ces phénomènes sont très variables 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 noires (<10 %);
- En 1999, une moyenne de 25 % des huiles usagées collectables (c'est-à-dire 33 % des huiles usagées collectées) sont entrées dans les usines de régénération, tandis qu'environ 50 % des huiles usagées étaient utilisées énergétiquement dans l'UE en 1999;
- Les fours rotatifs des cimenteries jouent un rôle important dans l'utilisation énergétique des huiles usagées[17].

CHAPITRE II Les huiles usagées: statistiques et effets sur l'environnement

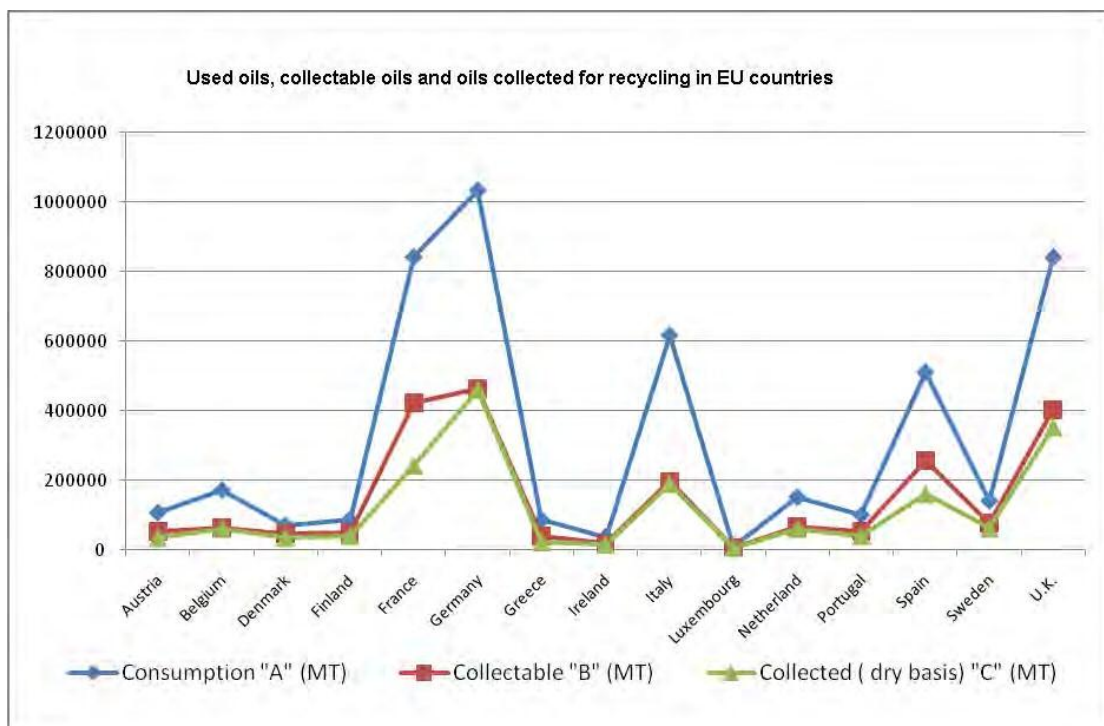


Figure II.2: Huiles usagées, huiles de collection et huiles collectées pour recyclage dans les pays de l'UE.

II.2.3. en France :

Le volume d'huiles usagées collectées en France est de plus de 200 000 tonnes par an. Les huiles usagées sont collectées, principalement auprès des garages, fabricants et 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, les cimenteries, les fours à chaux, etc.

Le secteur, ses principaux objectifs et les derniers développements

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

En 2011, les gisements d'huiles usagées émis s'élevaient à 315 696 tonnes. Il a augmenté par rapport à 2010 (+2,2%) et les dépôts d'huiles usagées de l'industrie automobile ont augmenté de 1,5%, soit +3489 tonnes, ce qui correspond au dépôt annuel de la section démographie moyenne.

CHAPITRE II Les huiles usagées: statistiques et effets sur l'environnement

Cette augmentation est principalement due à l'augmentation des dépôts d'huiles moteurs usagées pour voitures particulières (+2,2 %) et les charges d'huiles moteurs usagées pour véhicules industriels sont restées quasi stables entre les deux années. Les gisements d'huiles usées provenant d'avions et d'autres moteurs ont fortement diminué entre 2010 et 2011 (- 7,5 %).

Les applications automobiles représentaient, comme en 2010, environ 73 % des gisements de pétrole exploités 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), portée par une augmentation du tonnage net d'huiles usagées. [18]

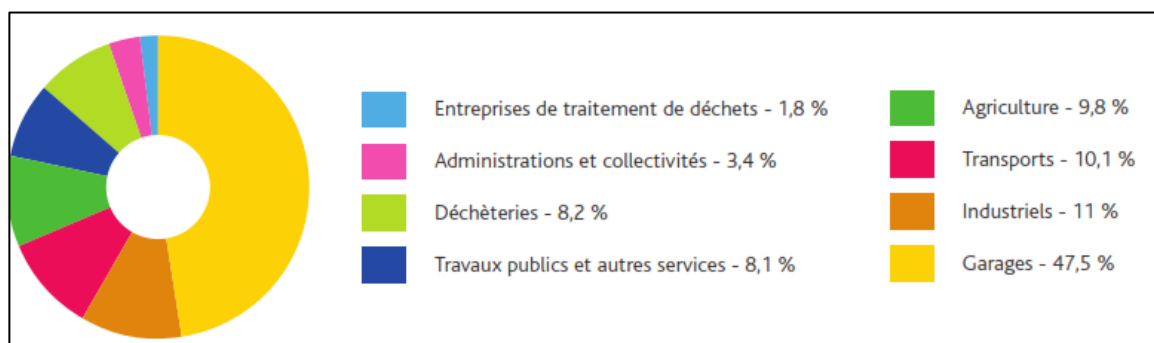


Figure II.3: Répartition du gisement 2011 d'huiles usagées moteurs par catégorie de détenteurs

Après plusieurs années de réductions successives, la gamme d'huiles usagées a été étendue jusqu'en 2011 pour les catégories d'huiles usagées, moteurs, huiles synthétiques noires et huiles synthétiques légères. Ainsi, le total des huiles noires usagées s'élève à 215 345 tonnes contre 210 198 tonnes en 2010 (soit + 2,4 %), et la collecte des huiles noires industrielles reste relativement stable, tandis que la collecte nette des huiles industrielles a fortement augmenté. Ainsi, la quantité nette d'huile usagée collectée pour la première fois dépasse le seuil de 2000 tonnes.

L'évolution du groupe des huiles noires usagées s'explique en partie par l'augmentation de 1,1 % des dépôts d'huiles usagées moteur observée entre les deux années. Collecte des huiles moteur usagées Retours au-dessus du seuil de 200 000 tonnes

CHAPITRE II Les huiles usagées: statistiques et effets sur l'environnement

Tableau II.2: Evolution de la collecte des huiles usagées en métropole (entonnes)

ANNÉE	Huiles moteurs usagées	Huiles industrielles noires usagées	Huiles industrielles claires usagées	TOTAL
1998	224 240	10 965	1 486	236 691
1999	223 996	15 689	1 247	240 932
2000	228 419	16 764	1 118	246 301
2001	235 582	12 096	969	248 647
2002	229 054	12 247	966	242 267
2003	231 674	11 381	886	243 941
2004	230 268	10 455	786	241 509
2005	230 265	10 536	476	241 277
2006	229 867	11 317	614	241 798
2007	223 753	10 694	398	234 845
2008	214 861	9 030	868	224 759
2009	214 864	7 553	994	223 411
2010	197 805	12 393	1 671	211 869
2011	202 752	12 593	2 318	217 663



Figure II.4: Evolution de la collecte des huiles usagées noires en métropole (en tonnes)

II.2.4. Asie :

La région asiatique est le plus grand marché mondial d'huiles lubrifiantes, représentant 30 % de la demande mondiale ; les qualités automobiles constituent le segment le plus important. L'EPA rapporte que l'huile à moteur usagée représente à elle seule 0,67 MMT

CHAPITRE II Les huiles usagées: statistiques et effets sur l'environnement

d'huile usagée par an et note qu'il faut moins d'énergie pour produire un gallon d'huile de base re-raffinée qu'une huile de base à partir de pétrole brut.

Le potentiel de croissance des huiles lubrifiantes pour 2005 à 2010 devrait varier de 0,5% à 4,8% par an pour divers pays asiatiques, avec le Japon au niveau le plus bas à 0,5% et la Chine le plus élevé à 4,8%, suivi de l'Inde à 4,6%. De plus, en ce qui concerne les huiles de base du groupe II, l'Asie passe au groupe II/II+. La forte croissance de la demande d'huile de graissage en Asie est principalement due à la Chine. De forts taux de croissance ont été reflétés dans les projections pour 2010, où la demande de lubrifiants en Chine était estimée à 5,5 MMT, un montant approchant 40 % du marché asiatique des lubrifiants.

La croissance économique a conduit à des investissements de raffinage à la base en Asie. De nombreux mélangeurs en Chine ont initialement utilisé des huiles de base des groupes II/III en raison d'une meilleure disponibilité régionale. Les exigences de qualité plus élevées pour les lubrifiants automobiles sur ces marchés sont imposées par les fabricants d'équipement d'origine pour les marques automobiles japonaises/américaines et européennes. L'Inde est aussi un grand marché des huiles de base, mais avec des caractéristiques légèrement différentes de celles du marché chinois. Près d'un tiers de la demande indienne d'huile de base se trouve dans les huiles de spécialité, telles que les huiles blanches, les huiles de transformateur et la vaseline. Cela fait de l'Inde un grand marché pour les huiles du groupe II/III, en particulier d'origine sud-coréenne.

La Chine reste le moteur de la croissance du marché asiatique des huiles de base. L'essor des ventes de voitures chinoises, qui dépassent désormais les ventes aux États-Unis, a stimulé la demande chinoise d'huile de base pour les lubrifiants automobiles, qui devraient représenter plus de 50 % de la consommation d'huile de base. De plus, la forte reprise de la production industrielle en Chine en 2009 explique la croissance robuste et continue des lubrifiants industriels. Les applications automobiles et marines en Inde sont moindres qu'en Chine. Cependant, les ventes régionales de lubrifiants automobiles dans la demande totale d'huile de base sont estimées à 40 %. Cela signifie qu'il existe de nombreuses possibilités d'installations de recyclage des huiles usagées en Asie.

CHAPITRE II Les huiles usagées: statistiques et effets sur l'environnement

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

II. 3. 1. Objectifs :

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 nombreuses automobilistes procèdent eux-mêmes à 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 dangereuse pour la santé [1] .

Voici les tableaux résumant les impacts négatifs et positifs sur le milieu naturel.

a. Impact négatif:

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

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.

CHAPITRE II Les huiles usagées: statistiques et effets sur l'environnement

b. Impact positif:

Tableau II.4 : Tableau résumant les impacts positifs sur le milieu naturel

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.

D'une manière générale, les huiles usagées sont peu biodégradables. Elles ont une densité plus faible que l'eau. C'est pourquoi 1 litre d'huile usagée peut couvrir une surface importante d'eau et réduire l'oxygénation de la faune et de la flore du milieu. Les conséquences d'un rejet direct de l'huile usagée dans le milieu naturel sont donc évidentes. Par ailleurs, bien que son pouvoir calorifique puisse être estimé à environ 90 % du fuel lourd et fasse donc de l'huile un combustible intéressant, l'impact lié à sa combustion dans de mauvaises conditions peut également être important, pollution des terres, des fleuves et des océans due à une faible biodégradabilité, en contact avec l'eau, production d'une pellicule empêchant la circulation de l'oxygène, la combustion non-contrôlée peut entraîner l'émission dans l'atmosphère de gaz contenant du chlore, du plomb, et d'autres éléments, aux effets correspondants[19].

L'huile à moteur usagée éliminée de façon inadéquate risque de nuire à l'environnement par :

- La combustion non contrôlée ;
- La mise en décharge ;
- L'élimination au sol ;

CHAPITRE II Les huiles usagées: statistiques et effets sur l'environnement

- Les égouts ;
- L'épandage d'huile usagée sur les routes pour contrer la poussière.



Figure II.5: L'impact des huiles usagées sur l'environnement

CHAPITRE III
Procédés de
récupération et de
valorisation des huiles
de vidange

III.1. Le principe du recyclage des huiles usagées:

Le principe de recyclage est basé sur les étapes suivantes :

- Élimination de l'eau et des particules solides par décantation;
- Traitement à l'acide sulfurique pour éliminer les gommages, graisses, etc;
- Traitement alcalin pour neutraliser l'acide;
- Lavage à l'eau pour éliminer le « savon » ;
- Décapage pour chasser l'humidité et les huiles volatiles ; distillation sous vide et/ou extraction par solvant;
- Contact avec l'argile pour blanchir l'huile et absorber les impuretés;
- Filtrage pour éliminer l'argile et autres solides;
- Hydrogénation pour améliorer la couleur;
- Mélange selon les spécifications.

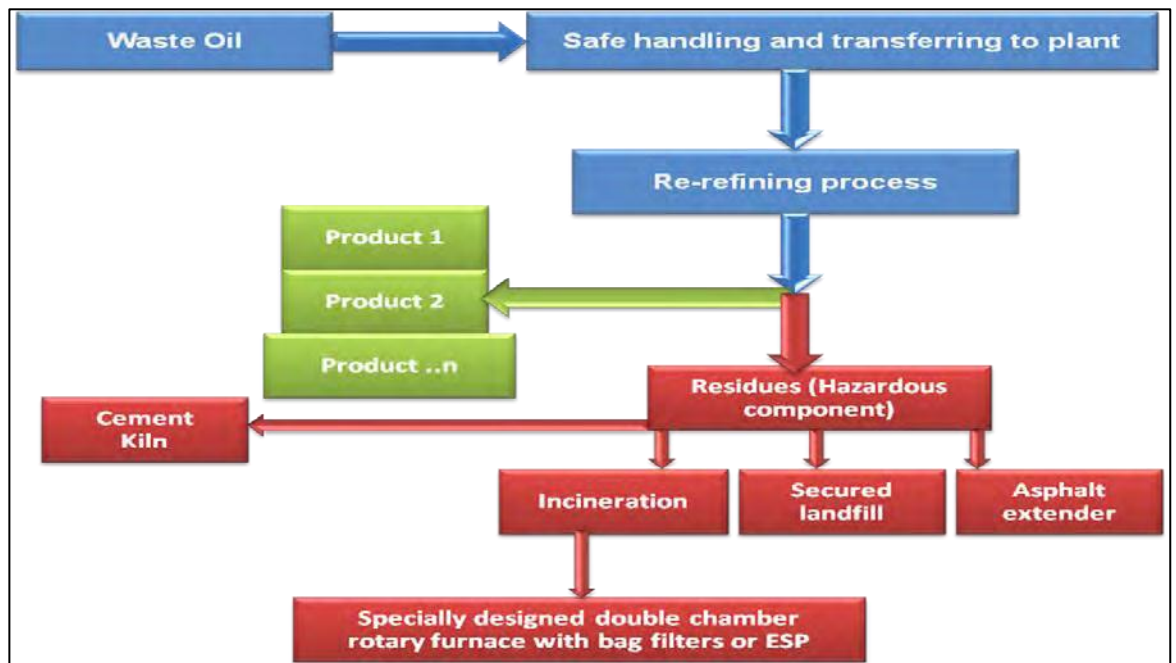


Figure III.1: Schéma général du processus de recyclage des huiles usagées. [17]

III. 2. Etudes des technologies actuelles de régénération:

III.2.1. Processus de traitement des huiles usagées en acide/terre :

Dans de nombreux pays en voie de développement, le procédé de régénération de l'huile usagée à l'acide sulfurique est appliqué. Les technologies acide/terres sont basées sur le traitement du substrat avec de l'acide sulfurique, ce qui élimine les éléments polluants, et sur un traitement postérieur avec des terres, ce qui neutralise le produit obtenu. Ainsi le traitement des terres permet d'obtenir la couleur et l'odeur désirée [20].

Les étapes élémentaires de ce procédé se présentent comme suit:

- 1. Distillation:** c'est une phase d'élimination d'eau et d'hydrocarbures légers.
- 2. Traitement acide:** ce qui permet d'éliminer certaines impuretés telles qu'additifs de viscosité et agent tensio-actif.
- 3. Traitement en terre:** ce qui améliore la couleur et les odeurs des huiles obtenues.
- 4. Filtration:** c'est une séparation de terre et d'huile.
- 5. Distillation sous vide :** ce qui permet d'obtenir différentes fractions réutilisables en tant qu'huile régénérée. [20] [21]

Le diagramme ci-dessous les présente:

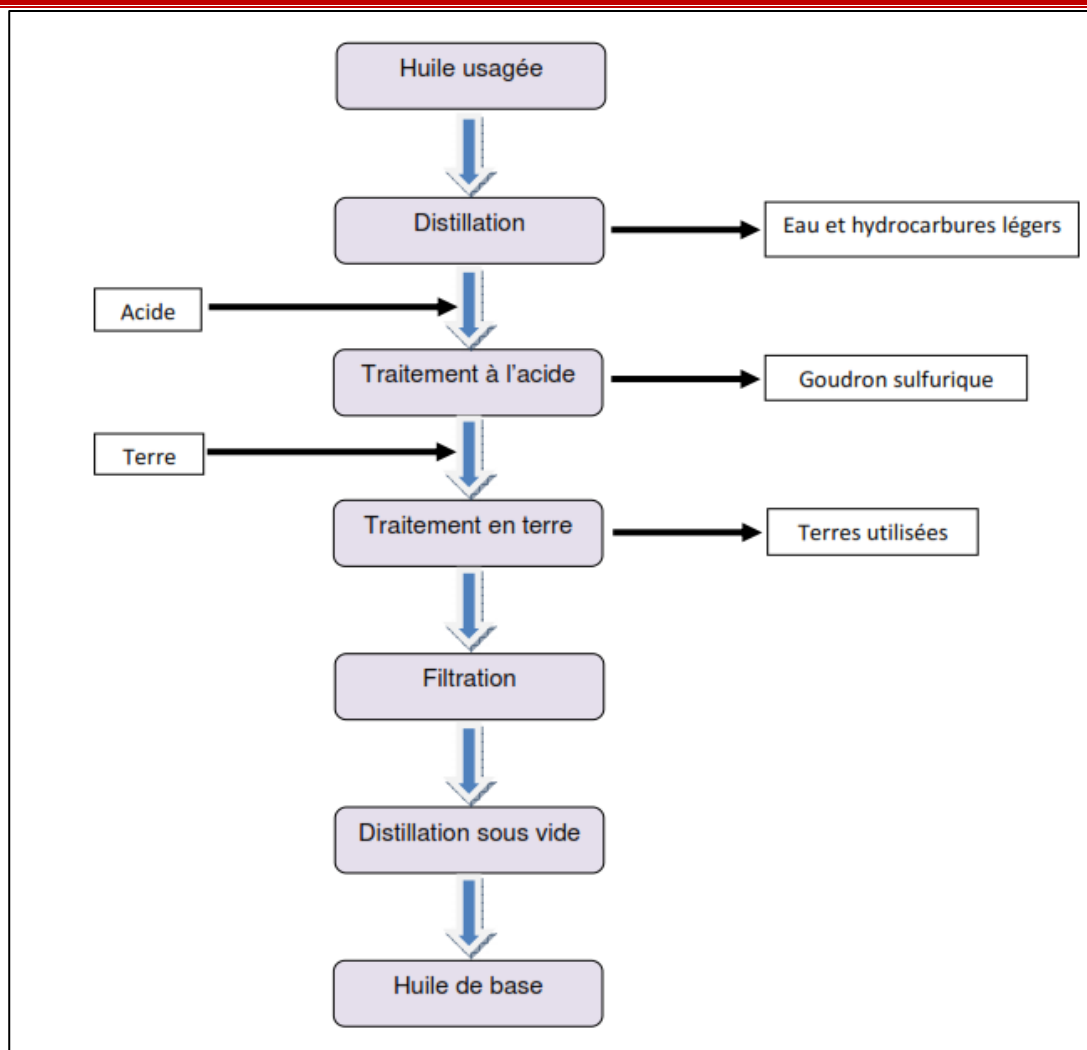


Figure III.2: Diagramme de processus de traitement des huiles usagées en acide/terre

III.2.2.Processus de distillation sous vide et hydrogénation des huiles usagées:

C'est ce type de processus qui est le plus utilisée en Italie ; ces technologies traitent 93% d'huile collectée, ce qui représente 175700 tonnes/an en Italie. 60% des produits obtenus sont des huiles de base , et 8% sont des huiles légères . Les déchets produits au cours de raffinage , déchets qui contiennent des additifs , des bitumineux , des composés issus des oxydations et des polymérisations , des métaux et d'autres impuretés , sont détruits suivant des processus de combustion dans des usines prévues à cet effet.

Actuellement, l'Italie occupe la première place européenne concernant la quantité d'huile reraffinée par rapport au total d'huile produite.

Exemple: Technologie BERC ou NIPER:

CHAPITRE III Procédés de récupération et de valorisation des huiles de vidange

C'est une technologie développée par le Bart les villes Energy Research Center USA , deveu par la suite le National Institute of Petroleum and Energy Research. Les étapes élémentaires de ce procédé se présentent comme suit:

1. Distillation atmosphérique: phase de déshydratation à pression atmosphérique.

2. Distillation sous vide: élimination des hydrocarbures légers.

3. Pré-traitement aux solvants: incorporation dans des proportions de 3 :1, d'un solvant composé d'alcool butylique, d'alcool isopropylique et de méthyle éthyle cétone dans des proportions de 1:2 :1. Cette phase entraîne l'extraction des composés pouvant souiller les produits obtenus.

4. Récupération des solvants: par des processus de sédimentation et /ou de centrifugation. On sépare le mélange huile usagée-solvant des métaux lourds, des additifs et des autres composés qui souillent le mélange. On récupère ensuite le solvant pour le réutiliser.

5. Distillation fractionnée: on obtient des fractions distinctes d'huiles de base.

6. Traitement d'hydrogénation ou traitement en terre :

Élimination des impuretés, ce qui entraîne une amélioration de la couleur et de l'odeur des produits finaux [1].

Cette technologie permet d'obtenir des rendements soscillant entre 75et85% des huiles de base. Les déchets issus de ce processus ont des applications bitumineuses, ce qui entraîne des améliorations économiques au niveau des technologies basées sur le traitement acide/ terre.

III.2.3. Procédé de distillation sous vide des huiles usagées et traitement en terres:

Exemple: technologie viscolube

La technologie Viscolube, également connue sous le nom de TDA (Thermal Desasphalting) est basée sur l'utilisation de propane, suivie d'une distillation sous vide et d'un traitement final en terres. Les étapes élémentaires de ce procédé se présentent comme suit:

CHAPITRE III Procédés de récupération et de valorisation des huiles de vidange

1. Distillation: cette phase comprend la séparation de l'eau et des composés légers

2. Distillation sous vide (colonne TDA) et fractionnement: Au cours de cette phase, les composés organométalliques et les minéraux bitumineux se séparent et trois fractions d'huiles de base apparaissent.

3. TCT (traitement thermique en terres): Cette phase améliore les caractéristiques des trois fractions d'huiles de base obtenues lors de la phase précédente.

4. Filtration sous pression: Les avantages de cette technologie sont:

- Un faible coût d'investissement;
- Des fractions d'huiles de base de haute qualité;
- Des faibles coûts d'entretien de l'installation; de plus;
- Cette méthode respecte l'environnement;
- la phase de distillation sous vide n'exige pas de très basses pressions ;
- La filtration sous pression permet de reconvertir assez facilement les usines de traitement qui utilisent les technologies acide/terres.

Le rendement de cette technologie Viscolube est de 72% (inférieur à celui obtenu avec les technologies d'hydrogénation). Les usines qui utilisent actuellement cette technologie ont au nombre de trois : la première est située à Pieve Fissiraga (Milan, Italie, mise en service en 1992), la deuxième, en Pologne (1994), et la troisième, en Italie (1995) [1].

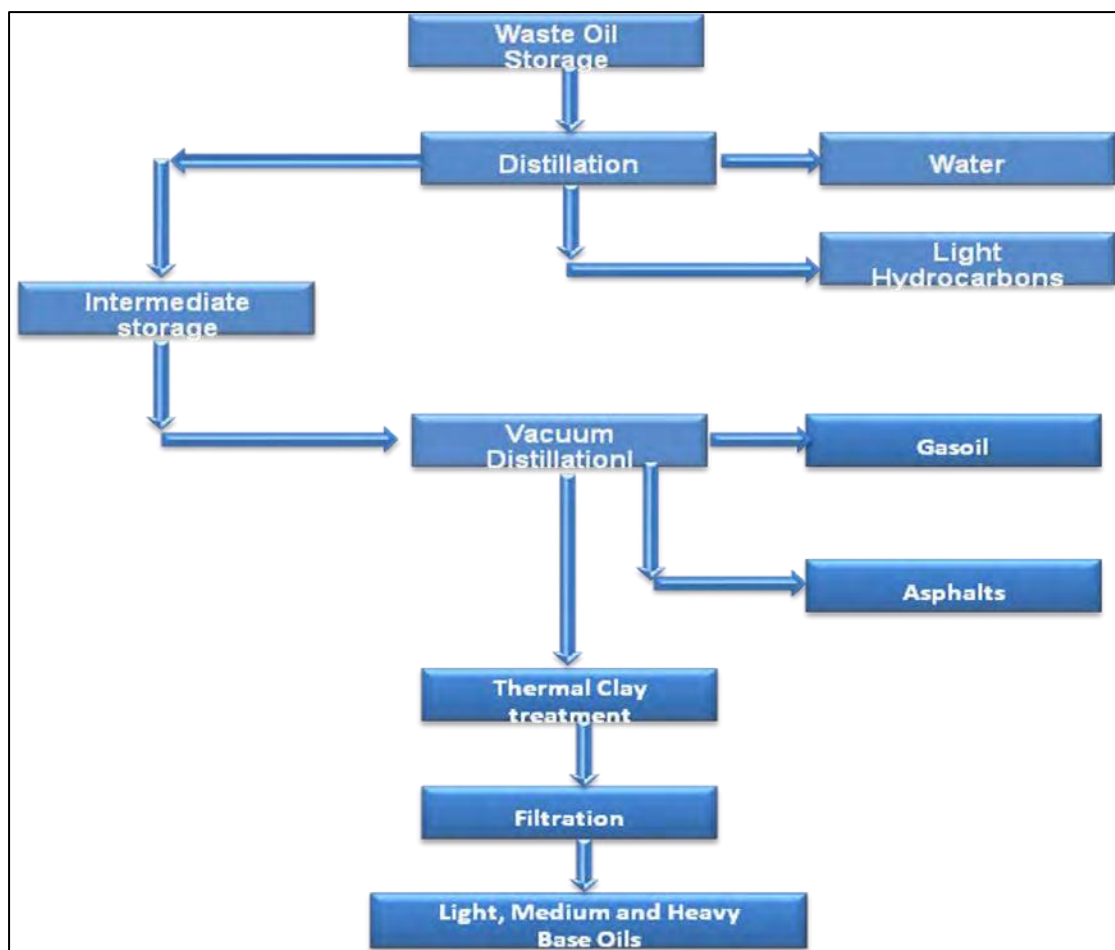


Figure III.4: Organigramme du processus Viscolube

III.3. Procédés de conversion des huiles de vidange en combustible :

Cette section décrit les traitements des huiles usées, qui en raison de leur pouvoir calorifique, sont traitées en vue de produire une matière principalement utilisée comme combustible .

Les huiles usées utilisées comme combustible ont une valeur économique. Il existe un certain nombre d'applications de brûlage des huiles usées, différenciables par la température à la quelle elles brûlent et la technologie de contrôle utilisée pour réduire les impacts sur l'environnement. Avant d'être utilisées comme combustible, ces huiles doivent faire l'objet de plusieurs traitements de nettoyage ou de transformation .

Ces traitements et procédés sont principalement appliqués en vue d'obtenir, à partir des déchets, une matière qui sera utilisée comme combustible, ou afin de modifier ses propriétés physico-chimiques pour une meilleure récupération de son pouvoir calorifique .

CHAPITRE III Procédés de récupération et de valorisation des huiles de vidange

Les techniques à employer pour convertir les huiles usagées en combustible se présentent comme suit:

III.3.1. Les traitements primaires

La première étape, fortement recommandée, consiste à éliminer les composés volatils (Eau, essence, solvants).

On entend par traitement primaires:

- la décantation qui a pour but de séparer une partie de l'eau et des sédiments ;
- la filtration ;
- l'étêtage.

III.3.2. Les procédés d'élimination des polluants:

La deuxième étape consiste à extraire les métaux et les métalloïdes qui se traduisent par les additifs, l'essence, ou l'usure du moteur et qui restent en suspension dans l'huile.

III.3.2.1 L'ultrafiltration:

Le développement de la technique de séparation par membranes a encouragé les chercheurs à élargir le champ d'applications à la séparation en milieu organique, comme la purification des huiles usagées. Il est utile de rappeler que la filtration, ou même la microfiltration, ne permettent pas la séparation des macromolécules présentes dans l'huile, et de masse moléculaire comprise entre 10³ kg / mol et 10⁶kg / mol.

Cette technique exige un fiable diamètre de pores du milieu filtrant, de quelques dizaines à quelques centaines d'angströms .

Les exigences croissantes de pureté dans l'utilisation des produits en aval nécessitent une attention particulière dans l'optimisation de cette technique. L'objectif est d'obtenir un carburant propre, car, à l'étape finale, le niveau de pureté exigée est élevé .

Le degré de pureté doit être de l'ordre de 95% en poids pour la production d'un carburant propre .

III.3.2.2 Centrifugation:

La centrifugation consiste à substituer au champ de pesanteur vertical un champ centrifuge radial pouvant être plusieurs milliers de fois supérieur au premier. Les produits à

CHAPITRE III Procédés de récupération et de valorisation des huiles de vidange

séparer sont placés dans un récipient appelé bol, qui est soumis à une grande vitesse de rotation .

L'application de la relation fondamentale de la dynamique ($F = m\Gamma$) permet d'exprimer la force sur toutes particule de masse m (et/ou sur tout volume élémentaire liquide) et qui accélère la séparation de la phase clarifiée. Dans le cas présent , Γ est l'accélération centrale (ou radiale) d'un mouvement circulaire uniforme et de module V^2/R ,expression dans laquelle V est la vitesse tangentielle de la particule et R sa distance par rapport à l'axe de rotation. Par ailleurs la vitesse tangentielle étant égale au produit de la vitesse angulaire ω par le rayon R , Γ devient égal à $\omega^2 R$ (et la force égale à $m \omega^2 R$).

III.3.2.3 Désasphaltage (extraction liquide / liquide):

Le principe de base du processus de désasphaltage consiste à ajouter 3-10 volumes de solvant (propane, butane, pentane) au produit pour qu'il soit extrait .

Il est obtenu avec une phase huileuse contenant la majeure partie du solvant et une phase concentrée d'asphalte contenant une petite fraction du solvant. Plus le solvant soit léger, plus la pureté de l'huile extraite soit grande .

Le processus de désasphaltage comporte trois opérations:

- a. Flocculation et précipitation de l'asphalte;
- b. le réglage de l'asphalte;
- c. Lavage de l'asphalte .

L'addition d'une paraffine légère (C_3 ou C_4) rompt l'équilibre entre les différentes familles des hydrocarbures (huile, résine, asphalte) et provoque le phénomène A, accéléré par une température proche du point critique du solvant.

Le phénomène B implique que la vitesse du liquide ascendant dans l'extracteur est inférieure à la vitesse de chute des matières précipitées. Le phénomène C est obtenu en réalisant les conditions hydrodynamiques qui permettront au solvant de déplacer l'environnement huile/solvant autour des particules précipitées .

III.3.2.4 Flocculation:

Dans le procédé de flocculation on met l'huile en contact avec :

CHAPITRE III Procédés de récupération et de valorisation des huiles de vidange

- Une phase contenant un agent chimique qui, dans des conditions relativement douces de température, déstabilise les particules dispersées et réagit sur les éléments métalliques pour former des sels qui précipitent.

- Une phase organique constituée par un mélange approprié de solvants polaires d'extraction de l'huile, ce qui a pour conséquence de précipiter les composés polaires, les particules en suspension, les matières oxydées ect ..

III.3.2.5 Le craquage thermique:

C'est une opération effectuée à haute température au cours de laquelle les molécules d'hydrocarbures à longue chaîne sont brisées au niveau d'une ou plusieurs liaisons C- C pour produire des molécules plus courtes et permet ainsi de générer des combustibles liquides plus légers. De cette manière, les molécules plus grosses des hydrocarbures plus visqueux et moins précieux sont converties en combustibles liquides moins visqueux et plus précieux .

III.3.2.6 Hydrotraitement:

Depuis des années, l'hydroraffinage ou l'hydrogénation catalytique est considérée comme un traitement moderne et efficace du point de vue du rendement et la qualité des produits finis.

Le procédé consiste à faire contacter une fraction d'huile avec un catalyseur solide en présence de l'hydrogène sous pression. La flexibilité de la méthode permet de l'appliquer à une très large gamme de produits, des composés les plus légers au plus lourds, en choisissant les catalyseurs et les conditions d'exploitation. Ces conditions peuvent varier largement en fonction des réactions nécessaires et de la nature de l'huile à hydro traiter .

III.3.2.7 Démétallisation par sels fondus:

Les sels fondus sont utilisés comme agents caloporteurs dans de nombreux domaines de la chimie et de l'industrie pour chauffer les réacteurs et les autoclaves. Ils jouent un rôle important dans les synthèses chimiques à haute température .

Le domaine d'application des sels fondus se situe dans une plage de température comprise de 200 à 550 °C. Les sels fondus constituent des fluides caloporteurs idéals à partir d'une température de 400 °C. [22, 23] .

III. 4 Quelques travaux de recherches :

Vues son importance économique et environnementale, le domaine de récupération, recyclage et valorisation des huiles usagées a suscité l'attention de plusieurs chercheurs qui ont menés des études dans ce domaine. Attitre d'exemple, on peut citer les travaux de V. Pelitli, Ö. Doğan et H. J. Koroğlu basés sur la comparaison entre les huiles moteurs des véhicules nouveaux et anciens en matière de teneur en métaux lourds et la possibilité de les recyclées. Les résultats d'analyses ont montrés que les huiles récupérées à partir des véhicules nouveaux sont aptes à être recyclés contrairement aux anciens véhicules. R. Abro, X. Chen et all., ont montrés à travers leurs étude, basée sur le recyclage des huiles moteurs par extraction du solvant, de mélange de solvants et du traitement par acide, que les propriétés de différentes huiles obtenues (point d'éclair, viscosité, gravité spécifique,...) se diffèrent d'une méthode à l'autre. Les huiles obtenues par extraction de mélanges de solvants présentent de bonnes propriétés. R. Maceiras, V. Alfonsín et F.J. Morales., ont étudiés la possibilité de valoriser les huiles usagées on les utilisant comme diesel carburant. L'huile récupérée est traités par distillation pyrolytique. L'hydroxyde et le carbonate de sodium sont utilisés comme additifs lors du processus de purification du carburant obtenus. Les résultats on montrés que la distillation pyrolytiques est une excellente méthode pour convertir l'huile usagée en un carburant diesel. F. Danane, A. Ahmia, et all., ont menés une étude basées sur le procédé expérimental de régénération des huiles moteurs usagées collectées par la société nationale Naftal. L'huile, après un prétraitement et traitement par agent chimique et élimination de métal, est passé par un traitement final à travers la bentonite et ensuite la filtration. Les résultats d'analyse de l'huile obtenue par ce procédé ont montrés que la majorité des impuretés sont éliminées et les paramètres sont optimisés. Ainsi, l'huile peut être réutilisée une deuxième fois.

Conclusion générale

Conclusion générale

En basant sur la synthèse bibliographique présentée dans le domaine de la valorisation et de recyclage des huiles moteurs usagées (huiles de vidange), on peut conclure ce qui suit :

- Des recherches sont toujours en progrès afin de développer de nouveaux procédés de traitement des huiles usagées industriellement ;
- Des procédés de traitement et de valorisation ont été proposés et ont montrés leur fiabilité en matière du taux de récupération des huiles usagées ;
- Les procédés de traitement actuels sont basés sur la distillation, le traitement à l'acide, la filtration et l'ajout d'autres composés chimiques à l'huile traitée ;
- Le secteur de la récupération et de la valorisation des huiles usagées, malgré son importance environnementale et économique, demeure moins exploitable et en deca des attentes des experts en Algérie ;
- Pour arriver à un taux de récupération des huiles acceptable, toute une chaîne de structure doit être implantée, allant du simple collecteur au niveau des ateliers de vidange jusqu'à l'usine industrielle de traitement et de valorisation.

Références Bibliographiques

Références Bibliographiques

[1] N. H. Vahatraina ' recuperation des huiles de base et valorisation des sous produits a partir de regeneration des huiles usages« moteur » ' universite d'antananarivo ecole superieure polytechnique departement genie chimique 2008

[2] journal officiel de la republique algerienne N18 du 3 Safar 1425 correspond au 24 mars 2004 Décret exécutif n04-87 du Aouel Safar 1425 correspondant au 22 mars 2004 modifiant la répartition par secteur des dépenses d'équipement de l'Etat pour 2004.

[3] R. Sty Rosine ' contribution a la valorisation des huiles usages en vue de creer une unite de production de graisse consistante ' ecole superieure polytechnique d'antananarivo departement ingenierie petroliere 2014

[4] Manuel opératoire de la zone 05 Raffinerie 2006

[5] F.AUDIBERT, Les huiles usagées. Reraffinage et valorisation énergétique Collection: institut français du pétrole 2002

[6] Les huiles NAFTEC une qualité incontestable, manuel de formulation des huiles finies Raffinerie 2010.

[7] Manuel des fiches techniques des aditifs pour les huiles industrielles Raffinerie 2010

[8] R. Mazouzi , B. Khelidj, A. Karas et A. Kellaci 'Régénération des huiles lubrifiantes usagées par processus de traitement à l'acide ' Revue des Energie Renouvelables Vol. 17 N°4 (2014) 631 – 637

[9] D.B. Marghitu, 'Mechanical Engineer's Handbook', USA, Edition 2001

[10] A. Jones, 'Lubricating Oil Through the Process of Refining Used Motor Oil', 2010, 'Online', Available: ww.articlealley.com/article.

[11] A.HAOUCHINE Lubrifiants Huiles usagées et problématique environnementale : Le contexte algérien Algérie2006

[12] Liqui moly academy ' les lubrifiants A à Z un condensé connaissances techniques ' www.liqui moly .com

- [13] . K WINNACKER, L. KUCHLER, Chimie organique, Edition Eyrolles 1966.
- [14] M. BELGACEM Les huiles moteurs, , Sonatrach « INSTITUT ALGERIEN DU PETROLE».
- [15] , étude du procédé de CO-Pyrolyse de déchet Plastiques et d'huiles usagées en vue de la production d'un combustible liquide alternatif. université libre de Bruxlle benoit (2016).
- [16] A Shabira , K.Chaoui projet porfair (Tempos) - Université Badji Mokhtar Annaba-Algérie -Cette étude de cas a été réalisée dans le cadre du projet profire du programme tempus de l'Union Européenne
- [17] K.R. Chari , M. Nippon Puri et M. Abhi Pir Centre international des technologies environnementales, compendium of recycling and destruction technologies for waste oils united nations environment programme, 2012
- [18] e. le cointre collecte et traitement des huiles usagées bilan de l'année 2012 rédaction :- service filières REP et recyclage – direction consommation durable et déchets – ademe angers décembre 2013 <http://www.ademe.fr/>
- [19] fahima, m. b. (2011). synthèse d'un additif antioxydant à base d'alkylphénol aminé pour les huiles lubrifiantes algériennes. boumerdes: université M'hamed bougara de boumerdes.
- [20] d. Lemena. « Valorisation des huiles usagées ». mémoire d'ingénieur en génie chimique, Ecole Supérieure Polytechnique, Université d'Antananarivo, 2005.
- [21] nirinaharisoa heritiana vahatraina « Récupération des huiles de base et valorisation des sous-produitsà partir de régénération des huiles usagées (moteur)» DUA en Chimie Appliquée à l'Industrie et à l'environnement Université d'Antananarivo, Septembre 2008.
- [22] ademe (2000) recyclage et valorisation énergétique des huiles usagées. Atouts et faiblesses. Agence de l'environnement et de la maitrise de l'énergie. etude ecobilan2000. (Waste oil recycling and energy recovery - advantages and drawbacks.)

[23] S. boukherrouba « etude, Caractérisation et Mise au point d'un combustible Innovant à base des huiles de vidange » option management des projets énergétique école des mines de nantes

[24] V. Pelitli , Ö. Doğan et H. J. Koroğlu ' Waste oil management: Analyses of waste oils from vehicle crankcases and gearboxes' Global J. Environ. Sci. Manage., 3(1): 11-20, Winter 2017

[25] R Abro , X. Chen, K .Harijan, Z. A .Dhakan, et M. Ammar 'A Comparative Study of Recycling of Used Engine Oil Using Extraction by Composite Solvent, Single Solvent, and Acid Treatment Methods ' Hindawi Publishing Corporation ISRN Chemical Engineering Volume 2013,.

[26] R. Maceiras , V. Alfonsín , F.J. Morales ' Recycling of waste engine oil for diesel production ' Waste Management (2016).

[27] F. Danane , A. Ahmia , A. Bakiri et N. Lalaoui ' Experimental regeneration process of used motor oils ' Revue des Energies Renouvelables Vol. 17 N°2 (2014) 345 – 351.