

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE

Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la recherche scientifique

UNIVERSITÉ SAAD DAHLAB – BLIDA

Faculté de technologie

Département de Génie des Procédés



Mémoire

En vue de l'obtention du diplôme de

MASTER EN SCIENCES ET GENIE DE L'ENVIRONNEMENT

Option: Gestion durable des déchets et procédés de traitement

Intitulé :

Régénération et valorisation des huiles usagées

Réalisé par :

Harbane Mahdi Aghiles

Ghanem Mohammed Larbi

Devant le jury composé de :

Mme. BENSACIA Nabila

Mme. TAOUALIT Nadjat

Mme .BOUTEMAK Khalida

Président

Examineur

Encadreur

Année universitaire 2021-2022

Remercîments

Nous souhaitons tout d'abord remercier **Dieu** de nous avoir donné la force, le courage et la capacité de réaliser ce projet de fin d'études qui représente un grand aboutissement pour nous et pour notre entourage.

Nous souhaitons exprimer une profonde reconnaissance envers notre cher encadrante **Mme. BOUTEMAK KHALIDA** « Maitre de conférence A » de l'université Saad Dahleb de Blida, qui nous a été d'une grande aide durant ces deux années de formation professionnel de par son enseignement, ses conseils et surtout sa bienveillance envers nous.

Nous remercions également tous les autres enseignants qui ont contribué de près ou de loin à notre formation.

Nous remercions aussi tout particulièrement les membres du jury d'avoir accepté d'examiner notre travail,

Nous voudrions aussi remercier tous ceux qui ont contribué à notre travail, comme la responsable du laboratoire dans lequel nous avons travaillé, ainsi que les ingénieurs de Naftal branche carburant de Baraki qui nous ont accueilli chaleureusement.

A la fin, nous remercions toute personne ayant contribué de près ou de loin pour l'aboutissement de nos objectifs.

Dédicaces

Je dédie ce modeste travail . . .

*À toute ma famille sans exceptions pour
M'avoir soutenu et encouragé tout au long de mes
études . . .*

*Et à mes amis qui eux aussi m'ont soutenu et
pousser à aller jusqu'au bout..*

Merci à tous.

Mehdi

Dédicaces

Je dédie ce modeste travail . . .

*À toute ma famille, ma mère et mon père qui m'ont
encouragé et soutenu durant toutes mes études*

*À mes sœurs et mon petit frère pour leur patience
et leur affection envers moi . . .*

Ainsi que tous mes amis

Merci à tous.

Larbi

Table des matières

Remerciement

Dédicaces

Table des matières

Liste des figures

Liste des tableaux

Partie 1 Synthèse bibliographique

1	CHAPITRE 1 : Généralité sur les huiles lubrifiantes moteurs	15
1.1	Définition d'une huile pour moteur	15
1.2	Composition de l'huile pour moteur.....	15
1.2.1	Les huiles de base.....	15
1.2.2	Les additifs (5).....	16
1.3	Caractéristiques de l'huile pour moteur	19
1.3.1	La viscosité.....	19
1.3.2	Point d'éclair : (16).....	24
1.3.3	Le point d'écoulement.....	26
2	Chapitre 2 : Les huiles usagées	27
2.1	Définition d'une huile usagée.....	27
2.2	Dégradation d'une huile usagée	27
2.2.1	Origine de la dégradation (21).....	27
3	Chapitre 3 : Impacts des huiles usagées et législation	31
3.1	Impacts sur l'environnement	31
3.2	Impact sur l'air	31
3.3	Impact sur la santé humaine	31
3.4	Pratiques dangereuses pour la santé et l'environnement	32
3.5	Législation autour des huiles usagées.....	33
3.5.1	Législation algérienne autour des huiles usagées (23)	33
3.6	Responsabilité élargie du producteur	35
3.7	Mode de gestion des huiles usagées	35
3.7.1	Collecte des huiles usagées	36
3.7.2	Stockage	36
3.7.3	Valorisation énergétique.....	37
3.7.4	Élimination des huiles usagées.....	38
3.8	Recommandations aux détenteurs d'huiles usagées.....	38
4	Chapitre 4 : Possibilité de régénération des huiles usagées	39
4.1	Introduction	39

4.2	Régénération de l'huile à l'acide sulfurique.....	39
4.3	Valorisation des résidus issus de la régénération	40

Partie 2 Experimentale

5	Chapitre 5 matériels et méthodes	42
5.1	Introduction	42
5.2	Présentation du substrat d'expérimentation.....	42
5.3	Matériels et méthodes.....	42
5.3.1	Échantillonnage	42
5.3.2	Matériels.....	42
5.3.3	Appareillages.....	42
5.3.4	Réactifs chimiques.....	42
5.4	Procédés de régénération d'huile usagée.....	42
5.4.1	Filtration sous vide	43
5.4.2	Distillation	44
5.4.3	Traitement à l'acide sulfurique.....	45
5.4.4	Neutralisation a l'hydroxyde de sodium.....	46
5.4.5	Lavage a l'eau distillé chaude	47
5.5	Analyses des caractéristiques physico chimique	47
5.5.1	Analyses du ph	47
5.5.2	Taux humidité.....	47
5.5.3	Densité.....	48
5.5.4	Viscosité cinématique (ASTM D 445)	48
5.5.5	Point d'éclair ASTM D 93	49
5.5.6	Point d'écoulement ASTM D 97	50

Partie 3 Résultats et dIscussions

6	Chapitre 6 : résultats et discussions	53
6.1	Résultats	53
6.1.1	pH.....	Erreur ! Signet non défini.
6.1.2	Taux humidité.....	53
6.1.3	Densité.....	53
6.1.4	Viscosité cinématique (ASTM D445)	53
6.1.5	Point d'éclair ASTM D 93	55
6.1.6	Point d'écoulement (ASTM D97)	55
6.2	Discussion des résultats.....	55
6.2.1	Introduction	55

6.2.2	Viscosité	55
6.2.3	Calcul de l'indice de viscosité	56
6.2.4	Point d'écoulement.....	57
6.2.5	Point d'éclaire.....	58
6.2.6	Densité.....	58
6.2.7	Teneur en eau (l'humidité)	59

Conclusion générale

Références bibliographique

Annexes

Liste des figures

Figure 1 Composition d'une huile lubrifiante	16
Figure 2 Additifs pour une huile lubrifiante.....	19
Figure 3 Grades SAE des huiles lubrifiantes (14).....	23
Figure 4 Point d'écoulement	26
Figure 5 Dépôts d'huiles usagées non conformes	32
Figure 6 Déversement d'HU dans le réseau d'assainissement	32
Figure 7 Stockage avec bacs de rétention.....	37
Figure 7 Cuve de stockage d'huiles usagées	37
Figure 9 Procédé de régénération d'huile usagée.....	40
Figure 10 Filtration sous vide.....	43
Figure 11 Résidu de filtration.....	44
Figure 12 Distillation.....	44
Figure 13 Résidu de distillation.....	45
Figure 14 Traitement à l'acide sulfurique	45
Figure 15 Boues issus du traitement à l'acide sulfurique	46
Figure 16 Neutralisation a l'hydroxyde de sodium.....	46
Figure 17 Décantation après lavage à l'eau distillée.....	47
Figure 18 Viscosimètre	49
Figure 20 Détermination du point d'écoulement	51
Figure 21 Comparaison de la viscosité cinématique a 40°C et 100°C des 3 échantillons d'huiles	56
Figure 22 Comparaison du point d'écoulement des 3 échantillons d'huiles	57
Figure 23 Comparaison du point d'éclair des 3 échantillons d'huiles.....	58
Figure 24 Comparaison de la densité des 3 échantillons d'huiles.....	58
Figure 25 Comparaison de la teneur en eau des 3 échantillons d'huiles.....	59

Liste des tableaux

Tableau 1 Mesure de viscosité et de grade (15)	24
Tableau 2 Détermination du point d'écoulement ASTM D 97	50
Tableau 3 Résultats Ph	53
Tableau 4 Teneur en eau	53
Tableau 5 Densité.....	53
Tableau 6 Viscosité cinématique à 40°C et 100°C.....	54
Tableau 7 Point d'éclair	55
Tableau 8 Point d'écoulement.....	55
Tableau 9 Résultats des Caractéristiques	55
Tableau 10 Indice de viscosité	56
Tableau 11 Comparaison de l'indice de viscosité.....	Erreur ! Signet non défini.

Abstract

Lubricating oils are essential for the proper functioning of the engine of a car, this is why the quantities of oils manufactured are major, due to a great demand on the market and all this leads to the production of special hazardous waste (used oils) harming the environment and human health.

This is why in this work we have opted for the regeneration of used oils in order to limit their impacts and reduce the production of new oils and save resources.

In this project we are going to regenerate a 10W40 type lubricating oil for gasoline engine taken from a car having traveled 9800 km.

The goal is to purify the used oil through several processes such as filtration, distillation, treatment with sulfuric acid, neutralization with sodium hydroxide and washing with water in order to obtain an oil. regenerated with characteristics similar to that of new oil.

The results obtained demonstrate an estimated yield of 89% concerning the characteristics of new oil and that of regenerated oil such as: viscosity (100.2 and 101.9 mm/s²) at 40°C (14.7 and 13.2 mm/s²) at 100°C, the flash point (206°C / 200°C) and the pour point (-25°C /-21°C).

These results are quite satisfactory and this allows us to reuse this oil without any fear, but also to take advantage of the residues resulting from this regeneration process which sounds represented by sludge and gasoline, they can be valued from one point in terms of material, such as the addition of dried sludge to the bitumen, but also energy and the use of recovered gasoline as an energy source

ملخص

تعتبر زيوت التشحيم ضرورية لتشغيل السليم لمحرك السيارة ، وهذا هو السبب في أن كميات الزيوت المصنعة كبيرة ، بسبب الطلب الكبير في السوق وكل هذا يؤدي إلى إنتاج نفايات خطيرة خاصة (زيوت مستعملة) ضارة للبيئة وصحة الإنسان.

لهذا السبب اخترنا في هذا العمل تجديد الزيوت المستعملة للحد من أثارها وتقليل إنتاج زيوت جديدة وتوفير الموارد. في هذا المشروع ، سنقوم بتجديد زيت تشحيم من نوع W4010 لمحرك البنزين مأخوذ من سيارة قطعت 9800 كم. الهدف هو تنقية الزيت المستخدم من خلال عدة عمليات مثل الترشيح ، والتقطير ، والمعالجة بحمض الكبريتيك ، والمعادلة بهيدروكسيد الصوديوم ، والغسيل بالماء للحصول على زيت متجدد بخصائص مماثلة لخصائص الزيت الجديد. توضح النتائج التي تم الحصول عليها عائداً تقديرياً بنسبة 89% فيما يتعلق بخصائص الزيت الجديد والزيت المُجدد مثل: اللزوجة (100.2 و 101.9 ملم / ثانية 2) عند 40 درجة مئوية (14.7 و 13.2 ملم / ثانية 2) عند 100 درجة مئوية ، نقطة الوميض (206 درجة مئوية / 200 درجة مئوية) ونقطة الصب (-25 درجة مئوية / -21 درجة مئوية). هذه النتائج مرضية تماماً وهذا يسمح لنا بإعادة استخدام هذا الزيت دون أي خوف ، ولكن أيضاً للاستفادة من البقايا الناتجة عن عملية التجديد هذه والتي تبدو ممثلة بالحماة والبنزين ، ويمكن تقييمها من نقطة واحدة من حيث المواد ، مثل إضافة الحماة الجافة إلى القار ، وكذلك الطاقة واستخدام البنزين المستعادة كمصدر للطاقة.

Résumé

Les huiles lubrifiantes sont indispensables au bon fonctionnement du moteur d'une voiture, c'est pour cela que les quantités d'huiles fabriquées sont majeures, dues à une grande demande sur le marché et tout ceci amène à la production de déchets spéciaux dangereux (huiles usagées) nuisant à l'environnement et à la santé humaine.

C'est pour cela que dans ce travail nous avons opté pour la régénération des huiles usagées afin de limiter leur impacts et de réduire la production d'huiles neuves et économiser les ressources.

Dans ce projet, l'huile lubrifiante de type 10W40 pour un moteur type essence, prélevée sur une voiture aillant parcouru 9800 km a été régénérée, en utilisant : la filtration, la distillation, le traitement à l'acide sulfurique, la neutralisation à l'hydroxyde de sodium ainsi que le lavage à l'eau afin d'obtenir une huile régénérée avec des caractéristiques semblables à celle d'une huile neuve.

Les résultats obtenus démontrent un rendement estimé à 89% concernant les caractéristiques de l'huile neuve et celle de l'huile régénérée tel que : la viscosité (100.2 et 101.9 mm/s²) a 40°C (14.7 et 13.2 mm/s²) a 100°C, le point d'éclair (206°C / 200°C) et le point d'écoulement (-25°C / -21°C).

Introduction générale

Les pièces mécaniques des moteurs automobiles subissent des frottements entre elles et peuvent entraîner la dégradation du moteur ainsi qu'une surchauffe, c'est pour cela que la lubrification du moteur est fondamentale, sans elle le moteur ne tiendrait pas longtemps et serait voué à la destruction petit à petit.

La lubrification est donc indispensable pour le bon fonctionnement du moteur, cette fonction est assurée grâce à des huiles lubrifiantes constituées d'huiles de base auxquelles sont rajoutés des additifs qui améliorent et préservent les caractéristiques physico-chimiques les plus importantes de l'huile, ces caractéristiques sont représentées par la viscosité à haute et basse température, le point d'éclair ainsi que le point d'écoulement.

Le marché national des huiles produites représente environ 150 000 t/an, dont 75% sont représentées par les huiles pour moteurs.

Sur le plan national les huiles usagées sont produites à hauteur de 80 000 t/an dont 12 000 sont récupérées par Naftal.

Tous ces chiffres devraient nous pousser à opter pour une politique visant à produire moins d'huile neuve pour préserver nos ressources ainsi que produire moins d'huiles usagées en recyclant et régénérant ces huiles.

C'est pour cela que nos recherches ont abouti à la découverte de plusieurs procédés de régénération d'huiles usagées dont une qui après avoir travaillé dessus nous a donné un rendement efficace concernant la régénération, il s'agit de la régénération à l'acide sulfurique.

Ce travail a été partagé en trois parties dont une partie de recherches bibliographiques composée de plusieurs chapitres concernant les généralités sur les huiles, leurs impacts sur l'environnement et la santé humaine, la législation autour des huiles usagées, ainsi sur la possibilité de régénération. Une deuxième partie est dédiée au travail expérimental que nous avons effectué concernant la régénération d'une huile lubrifiante usagée puis nous avons conclu avec une troisième partie consacrée aux résultats obtenus ainsi qu'à leurs discussions suivies d'une conclusion générale.

Partie 1

Synthèse bibliographique

1 CHAPITRE 1 : Généralités sur les huiles lubrifiantes moteurs

La lubrification est un ensemble de techniques permettant de réduire le frottement, l'usure entre deux éléments en contact et en mouvement l'un par rapport à l'autre (1) . Comme en mécanique, l'on lubrifie généralement les pièces en métal et en céramique avec un corps gras tel que l'huile (2).

C'est pour cela que l'on utilise des huiles lubrifiantes pour moteurs de véhicules dans le but d'assurer le bon fonctionnement du moteur, en minimisant les contraintes dues aux frottements des différentes pièces du moteur.

1.1 Définition d'une huile pour moteur

L'huile pour moteur est généralement utilisée pour la lubrification des moteurs à combustion interne. C'est une huile minérale synthétique majoritairement dérivée du pétrole et enrichie en additifs techniques qui lubrifie et améliore l'étanchéité et contribue à évacuer la chaleur de friction et de combustion. Ces huiles sont utilisées dans le secteur automobile, aéronautique et naval, mais aussi dans l'industrie hydraulique, etc.

1.2 Composition de l'huile pour moteur

Les huiles lubrifiantes sont composées d'huiles de base (synthétique ou minérale) additionnées à certains additifs de performances ajoutant chacun une propriété particulière afin d'améliorer les performances de ces huiles tel que des polymères améliorant l'indice de viscosité et des additifs modificateur de frottement (3).

1.2.1 Les huiles de base

L'huile de base est la plus grande fraction qui compose une huile lubrifiante. Cette huile peut être d'origine minérale, semi-synthétique ou synthétique.

1.2.1.1 Les huiles minérales

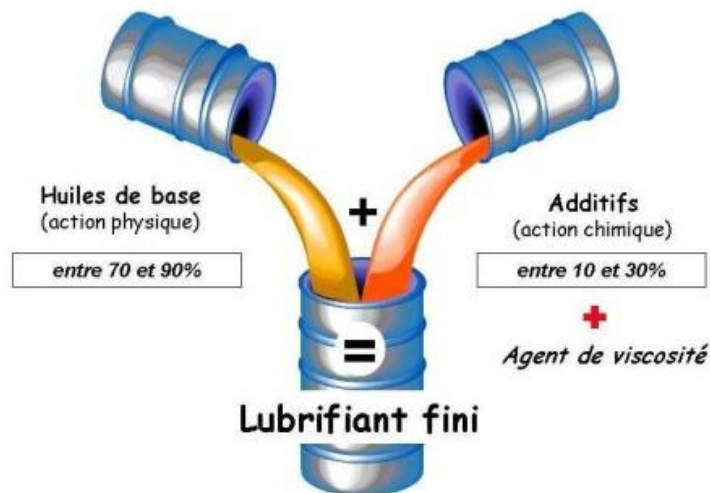
Elles sont issues de raffinage du pétrole brut. La matière première utilisée est purifiée afin de limiter la présence d'éléments indésirables.

1.2.1.2 Les huiles semi-synthétiques

L'huile semi-synthétique est un mélange d'huile minérale et d'huile synthétique. Elles contiennent davantage d'additifs que les huiles minérales.

1.2.1.3 Les huiles synthétiques

Elles sont le fruit de traitements et de transformations chimiques réalisées en laboratoire (distillation, purification, élimination de certaines chaînes moléculaires, etc.). Les huiles synthétiques subissent des traitements extrêmement poussés afin de maximiser leurs performances. Elles présentent notamment d'excellentes performances face aux températures extrêmes (4).



(5)

Figure 1 Composition d'une huile lubrifiante

1.2.2 Les additifs (6)

L'adjonction d'additifs, à hauteur de 12 à 15 % pds, joue un rôle considérable dans l'obtention de la qualité de l'huile finie. Ceci aide à comprendre que les légères différences de qualité éventuellement observées entre des huiles de base minérales, qu'elles soient vierges ou régénérées, s'estompent devant le rôle joué par les additifs dont les différentes fonctions sont décrites ci-après.

Les additifs antioxydants

Sans protection, une huile de base, aussi raffinée soit-elle, subirait une oxydation rapide au cours de son utilisation, entraînant une augmentation de sa viscosité, la formation de produits oxydés corrosifs et de dépôts et vernis.

Les additifs détergents

Le rôle des additifs détergents est de prévenir les dépôts à chaud sur les surfaces du moteur et de maintenir propres les circuits de distribution du lubrifiant. Ces additifs peuvent recevoir une « réserve alcaline » par incorporation des carbonates de calcium ou de magnésium colloïdaux. Toutes ces dispersions colloïdales sont absolument limpides et leurs solutions dans les huiles sont tout à fait stables malgré l'incorporation d'une quantité de carbonate pouvant représenter 35 % de la masse de l'additif.

La réserve d'alcalinité neutralise les acides formés au cours de l'oxydation de l'huile ou résultant de la combustion du carburant.

Les additifs dispersants sans cendres

Les additifs dispersants sont apparus ensuite devant la nécessité de renforcer le maintien en suspension fine des matières susceptibles de se déposer dans les circuits de graissage. Cette propriété fut améliorée grâce au développement d'additifs dits « sans cendres » dont les premiers proposés sur le marché furent les alkenyl succinimides, composés tensioactifs dont la partie oléophile est constituée d'un radical polybutène de masse moléculaire de 800 à 1500 environ. La partie polaire, souvent azotée, se fixe sur les particules et les stabilise dans le milieu (poussières, eau, suies, métaux d'usure, résidus solides d'oxydation). D'autres molécules d'additifs dispersants sans cendres, comprenant le même radical oléophile, sont également commercialisées comme les bases de Mannich ou les esters succiniques.

Les additives anti-usures

Lorsque la pression croît entre des surfaces en mouvement, il y a risque de rupture du film d'huile et donc de détérioration rapide des surfaces. Pour pallier cet inconvénient, on incorpore à l'huile des additifs qui ont la propriété de s'adsorber sur les surfaces en contact et en quelque sorte de former un film protecteur solide. Ces additifs sont :

- soit des composés organiques polaires de type alcools, esters gras, amines grasses, acides, avec risque de désorption au-delà de 150°C
- soit des composés organiques à base de soufre, de phosphore, de chlore, d'azote, d'oxygène, de plomb ou de zinc.

Les additifs améliorant l'indice de viscosité

Le schéma de fabrication des huiles de base permet d'obtenir des indices de viscosité de l'huile de 95 à 105 environ. Ce niveau d'indice ne correspond pas aux huiles multigrades nécessaires aux besoins de l'automobile. L'objectif est, en effet, d'obtenir des huiles fluides à froid et suffisamment visqueuses à chaud.

Les additifs abaisseurs de point d'écoulement

L'action de ces additifs consiste à entraver le processus de croissance des cristaux de paraffines qui se forment dans l'huile aux basses températures. On utilise des polymétacrylates de faible masse moléculaire. En fait, l'action recherchée est aussi exercée par certains additifs améliorant l'indice de viscosité.

Les additifs antirouille et anticorrosion

Ces additifs sont des inhibiteurs soit oxygénés soit azotés. Les inhibiteurs oxygénés sont essentiellement des acides carboxyliques à longue chaîne organique.

Les inhibiteurs azotés sont essentiellement des amines grasses et leurs dérivés.

Les additifs détergents et dispersants ont aussi des propriétés antirouille. La rouille est due à l'action combinée de l'eau et de l'oxygène de l'air sur le fer. Il y a formation d'hydroxyde ferreux puis ferrique. La corrosion est due plus spécifiquement à l'action de l'acidité de composés soufrés et d'acides résultant de l'oxydation de l'huile ou du carburant.

Les additifs antis mousses

Pour diminuer la tendance au moussage de l'huile, due, pour une large part, à la présence des additifs détergents et dispersants, il faut y ajouter une très faible quantité

d'additifs antimousse (quelques mg/kg). On utilise des produits à base de silicone ou de polyméthacrylate d'alkyle de faibles poids moléculaires qui sont insolubles dans l'huile et viennent se concentrer à l'interface liquide/air. Leur faible tension superficielle s'oppose à la formation de mousse stable par coalescence rapide des bulles d'air.

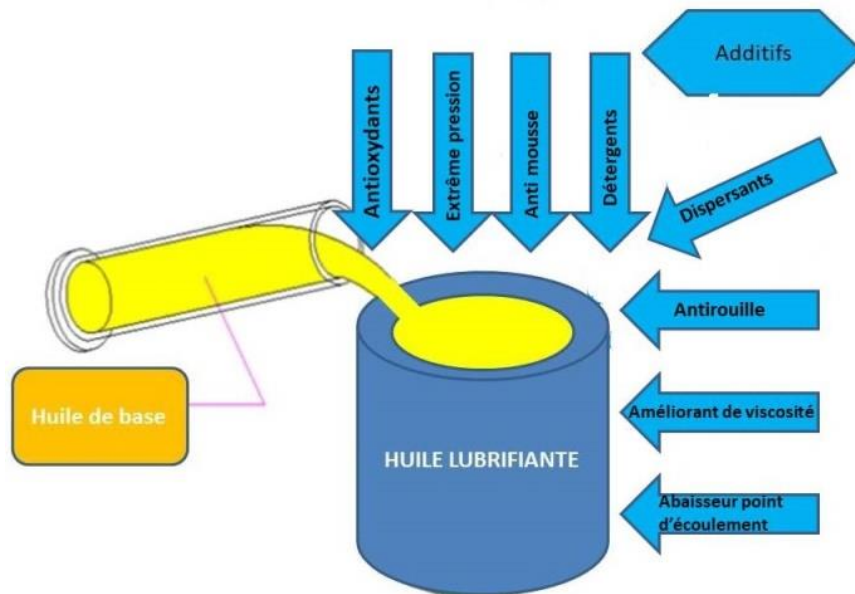


Figure 2 Additifs pour une huile lubrifiante

1.3 Caractéristiques de l'huile pour moteur

Il existe trois caractéristiques majeures concernant les huiles lubrifiantes, à savoir : la viscosité, le point d'écoulement et le point d'éclair. Ces trois caractéristiques peuvent nous donner une idée assez précise sur la qualité de l'huile.

1.3.1 La viscosité

Ce terme désigne la résistance à l'avancement du fluide : plus la température augmente plus la viscosité d'une huile diminue et inversement.

La viscosité d'un lubrifiant est étroitement liée à sa capacité à réduire le frottement dans les contacts de corps solides. En général, le lubrifiant le moins visqueux qui force encore les deux surfaces mobiles à s'écarter pour obtenir des conditions de "palier fluide" est souhaité. Si

le lubrifiant est trop visqueux, il faudra une grande quantité d'énergie pour se déplacer (comme dans le miel) ; s'il est trop mince, les surfaces entreront en contact et le frottement augmentera. (7).

1.3.1.1 Détermination de la viscosité

La détermination de la viscosité se fait à 40°C et 100°C selon les normes ASTM D7042 ET ASTM¹ D445 respectivement certifié ISO 3104 ET IP71. Dans les cas où il n'est pas possible de mesurer l'huile à la température standard, la viscosité cinématique peut être mesurée à différentes températures. Ces températures doivent être aussi proches que possible des températures d'origine, mais aussi largement réparties que possible. À partir de ces valeurs mesurées, la viscosité cinématique à 40 °C et 100 °C peut être déterminée selon la norme ASTM D341 (8).

1.3.1.1.1 Norme ASTM D7042

La mesure de la viscosité selon la norme ASTM D7042 nécessite des échantillons homogènes et sans bulles. Les bulles d'air peuvent être éliminées par un traitement avec un bain à ultrasons. L'homogénéité des échantillons peut être obtenue par agitation, par ex. avec un agitateur magnétique. Le fluide peut être injecté dans la cellule de mesure par un équipement d'injection d'échantillon manuel ou automatisé. Le remplissage manuel décrit l'injection de l'échantillon à l'aide d'une seringue de 5 ml. Les échantillonneurs automatiques transfèrent automatiquement l'échantillon dans la cellule de mesure. Pour les deux méthodes d'injection, les bulles d'air peuvent être évitées à l'avance en remplissant la cellule de mesure lentement et en continu (9) .

1.3.1.1.2 Norme ASTM D445

ASTM D445 décrit la méthode d'essai standard pour mesurer la viscosité cinématique des produits pétroliers selon « ASTM International ». Depuis 2001, la méthode de mesure est basée sur le suivi du temps d'écoulement de liquides transparents ou opaques à travers un capillaire en verre calibré.

La viscosité dynamique η est calculée en multipliant la viscosité cinématique par la densité ρ de l'échantillon (10).

1.3.1.1.3 Norme ASTM D341

La norme ASTM D341 est une pratique courante pour les diagrammes (viscosité-température) des produits pétroliers liquides (11) .

1.3.1.2 Indice de viscosité

L'indice de viscosité (VI) est une mesure arbitraire, sans unité, du changement de viscosité d'un fluide par rapport au changement de température. Il est principalement utilisé pour caractériser le comportement viscosité-température des huiles lubrifiantes.

Plus le VI est bas, plus la viscosité est affectée par les changements de température. Plus le VI est élevé, plus la viscosité reste stable face aux fluctuations de température. Le VI a été initialement mesuré sur une échelle de 0 à 100 ; cependant, les progrès de la science de la lubrification ont conduit au développement d'huiles avec des VIs beaucoup plus élevés (12).

1.3.1.3 Détermination de l'indice de viscosité

Il existe deux procédures standards pour calculer l'indice de viscosité : ASTM D2270 et ISO² 2909. Ce sont les méthodes actuelles de calcul de l'IV des produits pétroliers utilisés dans les applications civiles et militaires.

L'indice de viscosité est important à la fois pour les huiles neuves et pour les huiles en service. Ce dernier est utilisé pour contrôler la dégradation des modificateurs de viscosité, qui provoque généralement une diminution du VI (13).

1.3.1.3.1 Norme ASTM D2270

Cette pratique couvre les procédures de calcul de l'indice de viscosité des produits pétroliers, tels que les huiles lubrifiantes, à partir de leurs viscosités cinématiques à 40 °C et 100 °C.

Cette pratique ne s'applique pas aux produits pétroliers dont la viscosité cinématique est inférieure à 2,0 mm²/s à 100 °C

Dans les cas où les données de viscosité cinématique ne sont pas disponibles à des températures de 40 °C et 100 °C, une estimation peut être faite de l'indice de viscosité en calculant la viscosité cinématique à des températures de 40 °C et 100 °C à partir des données obtenues à d'autres températures. Ces données d'indice de viscosité peuvent être considérées comme appropriées à titre d'information uniquement et non à des fins de spécification

1.3.1.3.2 ISO 2909

ISO 2909 décrit deux MODES de calcul de l'indice de viscosité (IV) des produits pétroliers et des matières apparentées, telles que les huiles lubrifiantes, à partir de leurs viscosités cinématiques à 40 °C et 100 °C.

1.3.1.4 Calcul de l'indice de viscosité (14)

Selon la norme ISO 2909 il existe deux mode de calcul :

Mode A : utilisé pour les produits dont l'indice de viscosité est inférieur à 100°C (IV ≤ 100) dont la loi est la suivante :

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

Si la viscosité cinématique du produit à 100°C est comprise entre 2mm²/s et 70mm²/s extraire les valeurs de L et H du tableau présent dans l'annexe 1 où L et H sont la viscosité cinématique a 40°C de deux huiles hypothétiques d'IV de 0 et 100 respectivement et ayant la même viscosité à 100°C de l'huile dont nous souhaitons déterminer l'IV et U sa viscosité cinématique a 40°C exprimée en mm²/s.

Si la viscosité cinématique à 100°C du produit examiné est supérieur à 70mm²/s calculer L et H au moyens des équations suivantes :

$$L = 0.8353Y^2 + 14.67Y - 216$$

$$H = 0.1684Y^2 + 11.85Y - 97$$

Y : viscosité cinématique à 100°C mm²/s du produit dont nous souhaitons calculer l'indice de viscosité.

Mode B : l'on utilise le mode B de calcul pour les produits dont l'indice de viscosité est supérieur à 100 (IV > 100) qui est représenté par la loi suivante :

$$IV = 100 + \frac{\left[\frac{e(\log H - \log U)}{\log Y} - 1 \right]}{0.00715}$$

Où U est la viscosité cinématique de l'huile à 40°C et Y est la viscosité cinématique de l'huile à 100°C

1.3.1.4.1 Grade SAE des huiles lubrifiantes

Le grade SAE est une valeur de référence que l'on donne à chaque huile selon sa viscosité à basse et haute température, comme le montre la figure suivante où le nombre apparaissant avant le W - qui signifie Winter - représente la température minimale à laquelle l'huile reste encore fluide.

Le nombre qui se place après W représente la température maximale à laquelle l'huile reste le minimum visqueuse pour empêcher les frottements.

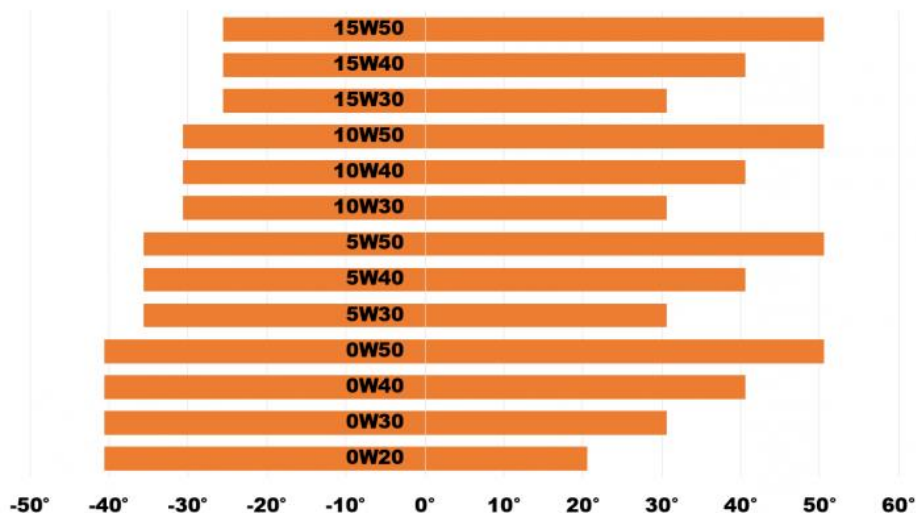


Figure 3 Grades SAE des huiles lubrifiantes (15)

Tableau 1 Mesure de viscosité et de grade (16)

SAE Viscosity grade °C	Min.Viscosity[mm/s²]at 100°C	Max.Viscosity[mm/s²]at 100°C	High shear Rate Viscosity [mPa.s]at 150 °C
0W	3.8	...	...
10W	4.1	...	...
15W	5.6	...	....
20	5.6	<9.3	2.6
20W	5.6	..	....
25W	9.3	..	.....
30	9.3	<12.5	29
40	12.5	<16.3	29*
40	15.5	<16.3	37**
50	16.3	<21.9	3.7
5W	3.8	.....	.....
60	21.9	<26.1	3.7

1.3.2 Point d'éclair (17)

Il existe de nombreuses définitions légèrement différentes du point d'éclair. Cependant, la définition suivante est largement utilisée dans les méthodes d'essai standard. Le point d'éclair est la température la plus basse d'un produit (carburant, huile, etc.) à laquelle l'application d'une flamme provoque l'inflammation momentanée de la vapeur de l'éprouvette et la flamme se propage à travers la surface du liquide.

Il est important de réaliser que la valeur du point d'éclair n'est pas une constante physique mais le résultat d'un test de point d'éclair et dépend de l'appareil et de la procédure utilisés.

1.3.2.1 Objectif du point d'éclair

La raison fondamentale de l'exigence de mesures du point d'éclair est d'évaluer le danger pour la sécurité d'un liquide ou d'un semi-solide en ce qui concerne son inflammabilité, puis de classer le liquide dans un groupe. Plus la température du point d'éclair est basse, plus le risque est grand. Cette classification est ensuite utilisée pour avertir d'un risque et permettre de prendre les bonnes précautions lors de l'utilisation, du stockage ou du transport du liquide.

Un changement de point d'éclair peut indiquer la présence de contaminants volatils potentiellement dangereux ou la falsification d'un produit par un autre.

1.3.2.2 Méthodes

Il existe deux classes générales de tests de point d'éclair : vase ouvert et vase fermé. Si une méthode de point d'éclair a été spécifiée dans une spécification de produit ou un règlement, alors cette méthode devrait être le premier choix.

1.3.2.2.1 Test en vase ouvert

Le test en vase ouvert CLA 5 a été initialement développé pour évaluer les risques potentiels de déversement d'un liquide. Une source d'allumage est passée horizontalement sur la surface du liquide, pendant que la tasse et le liquide sont chauffés, pour tester si les vapeurs "flashent". Si l'essai est répété à des températures croissantes, un point peut être atteint auquel le liquide continue de brûler sans autre application de la source d'inflammation : c'est le point de feu.

La précision des essais en vase ouvert est quelque peu inférieure à celle des essais en vase clos car les vapeurs produites par le chauffage de l'éprouvette sont libres de s'échapper dans l'atmosphère et sont plus affectées par les conditions locales du laboratoire. Lorsque des essais en vase ouvert sont effectués à des températures supérieures à la température ambiante, le résultat est généralement supérieur à celui d'un essai en vase clos en raison de la concentration réduite de vapeurs.

1.3.2.2.2 Test en vase clos

Le test en vase clos PMA 5 contient toutes les vapeurs produites et simule essentiellement la situation dans laquelle une source potentielle d'inflammation est accidentellement introduite

dans un récipient. Dans cet essai, un échantillon d'essai est introduit dans un gobelet et un couvercle bien ajusté est fixé sur le dessus du gobelet. La coupelle et l'éprouvette sont chauffées. Par la suite, des ouvertures sont ouvertes sur le couvercle pour permettre à l'air d'entrer dans la coupelle et à la source d'allumage d'être plongée dans les vapeurs pour tester un flash.

1.3.3 Le point d'écoulement

Le point d'écoulement d'une substance est la température minimale à laquelle elle s'écoule encore. On mesure souvent le point d'écoulement d'un pétrole brut, d'un gazole, d'un fioul, d'un fluide hydraulique ou d'un lubrifiant pour définir la faisabilité d'un pompage.

La technique et la procédure de mesure sont définies par des normes françaises (NF), anglaises (BP) ou américaines (ASTM). La norme ISO 3016 permet une mesure internationale de cette propriété physique comme le montre la figure suivante (18).

Point d'écoulement

NF T 60-105, ASTM D 97, ISO 3016

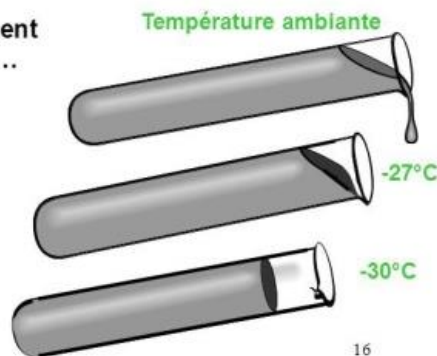
C'est la plus basse température à laquelle une huile, refroidie progressivement, coule encore.

L'huile est refroidie progressivement dans des bains à -18°C , -35°C , etc...
Tous les 3°C le tube est incliné pendant 5 sec. jusqu'au figeage.
Ajouter 3°C .

Unité : $^{\circ}\text{C}$

Reproductibilité : $\pm 6^{\circ}\text{C}$

ex: point d'écoulement = -27°C



(19)

Figure 4 Point d'écoulement

2 Chapitre 2 : Les huiles usagées

L'huile pour moteur usagée est un matériau très polluant qui nécessite une gestion bien précise. L'huile usagée peut nuire à l'environnement lorsqu'elle est déversée sur le sol ou dans l'eau. (19).

L'huile de lubrification usagée fait référence à l'huile pour moteur, à l'huile de transmission, aux huiles hydrauliques et de coupe après utilisation. Elle fait également référence à la dégradation des composants lubrifiants du frais qui sont contaminés par des métaux, des cendres, des résidus de carbone, de l'eau, des vernis, des gommes et d'autres matériaux contaminants, en plus des composés asphaltiques qui résultent de la surface d'appui des moteurs (20).

2.1 Définition d'une huile usagée

On entend par « huile usagée » une huile destinée à la lubrification ou à d'autres fins, qui est devenue impropre à sa fonction première parce qu'elle présente des impuretés ou a perdu ses propriétés initiales. Les huiles usagées comprennent l'huile moteur, l'huile turbine et l'huile pour engrenages, les liquides hydrauliques et les fluides de transmission, et les liquides isolants ou réfrigérants (21).

2.2 Dégradation d'une huile usagée

Lors du fonctionnement moteur, l'huile de lubrification subit plusieurs transformations physico-chimiques dues aux divers phénomènes qui s'y reproduisent. Ces transformations qui font perdre à l'huile les qualités qui lui permettent d'assurer la fonction requise, entraînent alors sa dégradation. Cette dégradation est due à l'épuisement de l'huile de base ainsi qu'à la dégradation des additifs.

2.2.1 Origine de la dégradation (22)

Plusieurs mécanismes sont à l'origine de la dégradation de l'huile. On retrouve notamment :

2.2.1.1 Le Cisaillement

Il est d'une importance vitale de noter les températures auxquelles la viscosité est mesurée, car celle-ci change en fonction de la température. Plus la température augmente, plus la viscosité diminue. Pour compliquer encore davantage les choses, des huiles différentes se liquéfient à des vitesses différentes lorsque la température augmente. Ceci introduit la notion d'indice de viscosité VI.

Les longues chaînes de polymères organiques, qui se déplient lorsque l'huile chauffe, ne présentent pas une totale stabilité au cisaillement. Cela signifie que lorsque les composés sont soumis à des forces de cisaillement élevées, comme il en existe dans les transmissions automatiques, elles commencent à se briser, entraînant une perte de viscosité permanente.

2.2.1.2 L'Hydrolyse

L'hydrolyse - qui en grec ancien signifie « dissolution par l'eau » - est la réaction de certains additifs à l'eau qui entraîne leur décomposition. Il s'agit d'une réaction chimique de l'eau qui altère la composition chimique de l'additif ou de l'huile de base.

L'eau peut être responsable de la décomposition des huiles de base synthétiques à base d'esters mais peut également réagir avec les additifs comme le dialkyldithiophosphate de zinc, constituant des produits chimiques anti-usure et antioxydants que l'on retrouve dans pratiquement toutes les huiles moteur.

2.2.1.3 L'Oxydation

L'oxydation peut provoquer une modification fondamentale de l'huile de base du lubrifiant et c'est la raison pour laquelle les huiles, même très propres et très bien entretenues, finissent par s'user et doivent être changées. L'oxydation est la réaction entre l'huile de base du lubrifiant (et ses additifs) et l'oxygène qui se trouve dans l'atmosphère.

2.2.1.4 La Dégradation thermique

Le principal effet de l'oxydation et de la perte de stabilité thermique (parfois appelée perte des fractions légères) est une augmentation de la viscosité. Une viscosité augmentée peut provoquer une cavitation de la pompe à huile, une mauvaise fluidité au démarrage, une

augmentation de la consommation de carburant et la réduction de la capacité de l'huile à éliminer l'eau et l'air. C'est lorsque la fluidité est médiocre, en raison d'une viscosité augmentée et des démarrages à froid, qu'un moteur s'use le plus.

2.2.1.5 *Le Lessivage par l'eau*

Alors que l'hydrolyse implique la décomposition chimique de l'huile sous l'action de l'eau, le lessivage à l'eau constitue l'élimination matérielle des additifs de l'huile. Pratiquement tous les additifs sont formulés de manière à être solubles dans l'huile de base du lubrifiant et n'auront qu'une solubilité limitée dans les solutions aqueuses (à base d'eau).

2.2.1.6 *Le Décapage par les particules (ou lavage des additifs)*

Certains additifs, comme les additifs EP, désactivateurs de métaux, inhibiteurs de rouille, agents poisseux et modificateurs de friction, agissent en se fixant sur les surfaces métalliques qu'ils doivent protéger. Ces additifs ne sont cependant pas sélectifs des surfaces en métal sur lesquelles ils se fixent. Les débris résultant de l'usure ont pour effet d'éliminer les additifs de l'huile, ce qui détériore l'huile.

2.2.1.7 *L'Adsorption de surface*

L'adsorption de surface est assez similaire au décapage par les particules dans ce sens que les additifs de surface actifs se fixent sur les surfaces métalliques. Ceci peut se produire de manière sélective de sorte que les additifs sont supprimés de la circulation ou que certains additifs sont adsorbés, également de manière sélective, au détriment d'autres.

2.2.1.8 *Contact de friction*

Certains additifs extrême pression (EP) et additifs d'huile pour engrenages fonctionnent en réagissant chimiquement avec les surfaces métalliques des dents des engrenages. Les huiles pour engrenages à base de borate fonctionnent en formant des structures cristallines à base de bore à la surface des engrenages, ce qui a pour effet d'améliorer considérablement les propriétés de friction. Avec le temps, il est possible que ces composés se décomposent au frottement, entraînant la perte d'efficacité de l'additif d'huile.

2.2.1.9 Le Dépôt par sédimentation

Les additifs, comme les dispersants, fonctionnent en maintenant les contaminants, comme les boues, en suspension. Cependant, lorsque les additifs commencent à s'épuiser, les boues tendent à s'agglomérer et finissent par se séparer de l'huile et par sédimenter, formant des dépôts sur les surfaces métalliques et se rassemblant au fond du carter.

2.2.1.10 La Filtration

Le filtre n'élimine pas les additifs. Un filtre peut supprimer un additif anti-mousse dont les molécules sont plutôt grosses et peuvent former des micelles mais la taille de celles des autres additifs est toutefois bien inférieure au dixième de micron. Les additifs qui fonctionnent en se fixant aux contaminants, comme les boues et l'eau, peuvent cependant être éliminés par la filtration, mais ce sont des additifs essentiellement épuisés qui sont ainsi éliminés.

2.2.1.11 L'Évaporation

Certains additifs comme le ZDDP sont relativement volatils et il est possible que se produise une évaporation, en particulier en présence de températures élevées, ce qui se produit généralement dans les moteurs.

2.2.1.12 La Filtration centrifuge

Les composants dotés de filtres centrifuges, généralement des moteurs, sont enclins à une perte des additifs par filtration. Là encore, il s'agit généralement d'additifs aux propriétés interraciales et les additifs ainsi éliminés sont déjà épuisés. L'analyse du gâteau de boue de ces types de filtres révèle des niveaux très élevés d'additifs d'huile ainsi que des particules métalliques d'usure et des contaminants.

3 Chapitre 3 : Impacts et législation autour des huiles usagées

Les huiles usagées sont classées en tant que déchets dangereux. Une gestion inappropriée des huiles usagées peut avoir des effets négatifs significatifs à la fois sur la santé et sur l'environnement.

La quantité des huiles usagées produites annuellement en Algérie est estimée à 80 000 tonnes. Il existe des huiles noires et des huiles claires. Les huiles de fritures sont elles aussi des huiles usagées.

3.1 Impacts sur l'environnement

Les huiles usagées rejetées dans la nature réduisent l'oxygénation de la faune et la flore existante : un litre d'huile usagée peut couvrir et contaminer une surface d'eau de 1000 m². Les huiles usagées déversées dans les canalisations peuvent également les boucher et colmater les filtres.

L'huile usagée contient essentiellement trois types de polluants dangereux : Hydrocarbures aromatiques polycycliques (HAP) ; Métaux lourds ; Additifs lubrifiants. Lorsque de l'huile est versée dans l'eau, elle forme une couche superficielle qui empêche l'oxygénation de l'eau et provoque la suffocation puis la mort des organismes vivants présents dans l'eau.

3.2 Impact sur l'air

La pollution par les huiles usagées peut aussi nuire à l'atmosphère lorsque des déchets d'huile sont brûlés sans prendre des mesures de filtrage de haut niveau technologique. On a calculé que 5 litres d'huiles usagées brûlés polluent l'air qu'une personne respire pendant trois ans. Lorsqu'on brûle de l'huile usagée sans prendre des mesures de filtrage de haut niveau technologique, des gaz toxiques et des particules de poussières métalliques dangereuses sont produits en raison de la présence de métaux lourds et d'autres composés organiques tels que soufre, chlore et hydrocarbures aromatiques.

3.3 Impact sur la santé humaine

Il convient d'accorder une attention particulière aux métaux lourds présents dans les huiles usagées en raison de leurs fortes concentrations et de leur toxicité pour les humains, la

faune et la flore. En cas d'ingestion ou d'exposition cutanée prolongée, il est assez évident qu'il s'ensuit des effets importants pour la santé. En effet, tous ces composés, notamment les métaux lourds, sont extrêmement toxiques pour les organismes.

3.4 Pratiques dangereuses pour la santé et l'environnement

Il est recommandé que les huiles usagées, en tant que déchets dangereux, ne soient gérées que par des gestionnaires des déchets autorisés. Il est recommandé que des campagnes de contrôle de l'application des prescriptions soient mises en place afin de détecter les pratiques interdites.



Figure 5 Dépôts d'huiles usagées non conformes



Figure 6 Déversement d'HU dans le réseau d'assainissement

3.5 Législation autour des huiles usagées

Suite aux nouveaux règlements internationaux concernant les HU, notamment les mouvements transfrontières et l'élimination des déchets dangereux pour la santé humaine et l'environnement ; la convention de Bâle impose des règlements très strictes et des procédures administratives pour assurer un mouvement en sécurité d'un pays à un autre.

Ainsi, la possibilité d'exporter les HU deviendra de plus en plus difficile et incertaine.

En Algérie, toute installation de traitement des déchets dangereux est soumise, préalablement à sa mise en service, à une autorisation du Ministre chargé de l'Environnement (Art.42 ; loi n°01-19).

3.5.1 Législation algérienne autour des huiles usagées (23)

Les huiles usagées ne sont pas biodégradables, elles sont classées dans la catégorie des déchets spéciaux dangereux. Leur rejet dans la nature est strictement interdit. Elles peuvent engendrer une détérioration importante du milieu naturel.

La gestion des huiles usagées est régie par un cadre réglementaire qui est le suivant :

La loi 01/19 du 12 décembre 2001

Relative à la gestion, au contrôle et à l'élimination des déchets

Décret exécutif n° 182-87 du 18 aout 1987

Relatif aux huiles à base de PCB, aux équipements qui en contiennent et aux matériaux contaminés par ce produit.

Décret exécutif n° 93-161 du 10 juillet 1993

Réglementant le déversement des huiles et lubrifiants dans le milieu naturel.

Décret exécutif n° 93-162 du 10 juillet 1993

Fixant les conditions et les modalités de récupération et de traitement des huiles usagées.

Décret présidentiel n° 98-158 du 16 mai 1998

Portant adhésion avec réserve, de la République algérienne démocratique et populaire à la convention de Bâle sur le contrôle des mouvements transfrontières de déchets dangereux et de leur élimination.

Décret exécutif n° 04-88 du 22 mars 2004

Portant réglementation de l'activité de traitement et de régénération des huiles usagées.

Décret exécutif n° 04-409 du 14 décembre 2004

Fixant les modalités de transport des déchets spéciaux dangereux.

Décret exécutif n° 05-314 du 10 septembre 2005

Fixant les modalités d'agrément des groupements de générateurs et/ou détenteurs de déchets spéciaux.

Décret exécutif n° 05-315 du 10 septembre 2005

Fixant les modalités de déclaration des déchets spéciaux dangereux.

Décret exécutif n° 06-104 du 28 février 2006

Fixant la nomenclature des déchets, y compris les déchets spéciaux dangereux

Décret exécutif n° 06-198 du 31 mai 2006

Fixant la réglementation applicable aux établissements classés pour la protection de l'environnement.

Décret exécutif n° 07-144 du 19 mai 2007

Fixant la nomenclature de l'installation classée pour la protection de l'environnement.

Décret exécutif n° 09-19 du 20 janvier 2009

Portant réglementation de l'activité de collecte des déchets spéciaux.

Décret exécutif n°13-176 du 30 avril 2013

Fixant les conditions d'exercice des activités de fabrication, de stockage et de distribution de gros de lubrifiants et de régénération des huiles usagées.

Décret exécutif n° 19-10 du 23 janvier 2019

Réglementant l'exportation des déchets spéciaux dangereux.

3.6 Responsabilité élargie du producteur

La responsabilité élargie du producteur est un principe de politique environnementale selon lequel la responsabilité d'un producteur vis-à-vis d'un produit est élargie à la phase de post-consommation dudit produit.

Les fabricants et les importateurs de lubrifiants commercialisés doivent assumer une REP et avoir l'obligation d'assurer le financement afin de garantir une gestion avisée des huiles usagées dans le pays, individuellement en tant qu'entreprise ou par l'intermédiaire de systèmes intégrés de gestion nationaux (SIG), qui centralisent au sein d'un même système tous les composants d'une activité pour en faciliter la gestion et l'exploitation. Les fabricants et les importateurs de lubrifiants sont responsables de la production des huiles usagées tandis que les utilisateurs et les détenteurs doivent les remettre à un gestionnaire d'huiles usagées agréé en vue de leur recyclage. Ils sont également responsables de la conformité aux objectifs écologiques. (24)

3.7 Mode de gestion des huiles usagées

Sur le plan national, le marché des huiles produites représente 150000 tonnes par an, se répartissant comme suit :

Huiles moteurs **75%**

Huiles industrielles (ateliers, entreprises industrielles) **19%**

Graisses et paraffines **3%**

Huiles aviation et marine **3%**

En Algérie, la quantité moyenne des huiles usagées récupérées par NAFTAL est de 12 000 tonnes par an, ce qui représente 27% de la quantité des huiles usagées générées sur la vente de l'entreprise. Ce taux a été doublé par rapport aux années précédentes, où la collecte représentait uniquement 14 % (25).

3.7.1 Collecte des huiles usagées

Il convient de confier les huiles usagées à :

- un centre de recyclage agréé
- un recycleur agréé
- un agent agréé qui se chargera d'évacuer les déchets

Les conditions de collecte varient en fonction des pays. Elles dépendent du cadre juridique du pays et du volume d'huile usagée à collecter.

3.7.2 Stockage

Il est possible de stocker les huiles usagées dans des installations étanches auxquelles les véhicules collecteurs doivent pouvoir accéder.

Tableau 2 Bonnes pratiques concernant le stockage des huiles usagées

Recommandation de stockage des huiles usagées	Objectifs
Stockage dans un local hors gel	Eviter le gel.
Stockage dans un environnement sec avec une température constante	Eviter la condensation des futs et la présence d'eau dans les lubrifiants et faciliter la distribution des huiles
Stockage dans un environnement propre et à l'abri de la poussière ou la pollution industrielle	Eviter la pollution des futs et de l'huile lors des ouvertures
Stockage avec rétention suffisante selon les volumes et types de produits	Eviter les risques de pollution des sols et risques de chutes (sol glissant)
Stockage des futs à l'horizontal (les bouchons positionnés à 3 et 9 heures en position horizontale) ou à la verticale avec la protection des parties supérieures des futs	Eviter le dessèchement des joints et l'entrée d'air dans les futs. Réduire les opérations de lavage et manutention des futs avec un stockage des futs à la verticale
Stocker les lubrifiants permettant une gestion	Eviter le stockage des huiles vieilles

selon le principe FIFO (First In First Out). Noter la date de réception et d'ouverture des futs.	La durée préconisée de stockage des lubrifiants est en général de 5 ans maximum (selon les conditions de stockage)
Stocker séparément les futs fermés et les futs ouverts	Faciliter la gestion et la distribution des lubrifiants
Identifier les lubrifiants avec un affichage spécifique des codes couleurs dans la zone de stockage	Eviter le mélange et la pollution des huiles



Figure 8 Cuve de stockage d'huiles usagées



Figure 7 Stockage avec bacs de rétention

3.7.3 Valorisation énergétique

La valorisation énergétique des huiles usagées se définit comme une activité de réutilisation et de recyclage. Elle consiste à utiliser la matière résiduelle (l'huile usée dans ce cas-ci) comme carburant, en remplacement de matières premières.

Après un traitement rapide de décantation et de filtration, les lubrifiants sont utilisés comme mazout et jouent ainsi le rôle d'un combustible d'appoint utilisé par les industries lourdes, comme les cimenteries ou les serres.

Cependant, il n'est pas à la portée de toutes les entreprises d'utiliser des huiles usées comme combustible. Pour qu'une industrie puisse utiliser des huiles usagées à des fins énergétiques,

elle doit être dotée d'un équipement de combustion d'une puissance d'au moins 3 MW. De plus, l'huile usagée ne doit pas excéder certaines concentrations de contaminants.

3.7.4 Elimination des huiles usagées

Actuellement, l'élimination des huiles se fait uniquement par incinération. Les huiles usagées contaminées qui contiennent trop de polluants tels que des solvants, du liquide de frein ou autres ne peuvent souvent qu'être incinérées. Cette méthode n'étant pas écologique, il faut toujours veiller à une bonne séparation des huiles.

Les huiles usées qui ne peuvent pas être recyclées doivent être apportées dans un centre de traitement des déchets dangereux. Certaines huiles peuvent être mélangées à du charbon lors de l'incinération ce qui peut apporter plus de pouvoir calorifique au charbon et produire encore plus d'énergie.

3.8 Recommandations aux détenteurs d'huiles usagées

- Ne pas mélanger les huiles usagées avec d'autres produits (PCB, eau, solvants...).
- Séparer les huiles noires des huiles claires car elles suivent des circuits de traitement différents.
- Stocker les huiles noires dans des contenants et dans des lieux spécifiques.
- Conserver les bons d'enlèvement et les échantillons pour une parfaite traçabilité.

4 Chapitre 4 : Possibilité de régénération des huiles usagées

4.1 Introduction

Les huiles usagées peuvent suivre différentes filières de traitement comme nous l'avons vu précédemment. Il y a la valorisation énergétique, le recyclage et la régénération.

La régénération des huiles usées est très bénéfique d'un point de vue environnemental. En effet, ce procédé génère 80 % moins de gaz à effet de serre au litre que la production d'huile neuve à moteur à partir de pétrole brut.

Les différents processus actuels de régénération ont pour objectif l'obtention d'huiles de base qui seront utilisées pour la production de nouvelles huiles, en général avec les mots « huile recyclée » ou « huile reconditionnée » on se réfère à l'utilisation de systèmes de filtrage pour l'élimination des impuretés (26).

4.2 Régénération de l'huile à l'acide sulfurique

Il existe d'autres procédés qui permettent de régénérer l'huile et la rendre apte à la réutilisation sans produire une nouvelle huile.

Le procédé de régénération dans lequel un traitement à l'acide sulfurique est utilisé après avoir soumis l'huile à différents traitements comme la filtration sous vide pour éliminer les impuretés, telles que les copeaux métalliques, sable, poussière, particules et micro impuretés ; et la distillation pour retirer l'eau et des combustibles imbrûlés présents dans l'huile tel que l'essence.

Le traitement à l'acide sulfurique de l'huile usagée crée une réaction chimique entre H_2SO_4 et les impuretés présentes dans l'huile usée, puis ces impuretés sont retrouvées sous forme de boues mélangées à l'acide qui a été utilisé au préalable.

Ces boues sont considérées comme résidus du procédé de régénération. Un autre résidu en ressort : grâce à ce procédé, l'huile usagée retrouve ses caractéristiques de base qui sont semblables à une huile neuve.

Le procédé utilisé est représenté dans le schéma suivant :

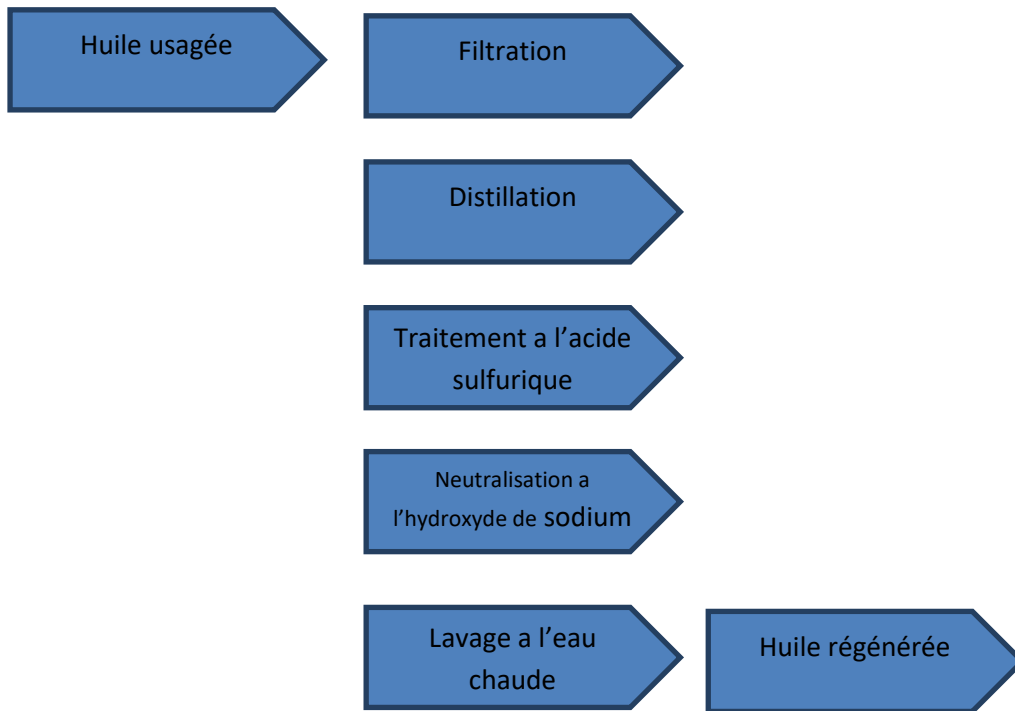


Figure 9 Procédé de régénération d'huile usagée

4.3 Valorisation des résidus issus de la régénération

La régénération des huiles usagées produit inévitablement des résidus. On peut en définir deux :

1 - Le résidu de distillation sous vide d'huiles usées déshydratées : ce résidu, selon les conditions opératoires de la distillation, peut représenter 10% à 15% en poids de l'entrée de la colonne.

2 - Les boues d'acide sulfurique résultant de l'action de l'acide sur l'huile.

La quantité de boues produites dépend du degré de raffinage de l'huile lors de l'ajout d'acide. Dans la version la plus standard (sans prétraitement thermique), l'acide est ajouté à l'huile déshydratée et la quantité de boues peut représenter 20% à 30% du poids de la charge d'huile. Lorsqu'ils sont ajoutés au bitume à faible pénétration dans des proportions appropriées, par exemple 15% à 20 % en poids, ces résidus peuvent améliorer certaines de ses propriétés (26)

Partie 2

Expérimentale

5 Chapitre 5 matériels et méthodes

5.1 Introduction

Dans ce chapitre, nous allons présenter les différentes méthodes et matériels utilisés dans les procédés de régénération d'huile usagée

5.2 Présentation du substrat d'expérimentation

Lors de ce procédés de régentions nous avons choisi une huile lubrifiante pour moteur essence de type 10w40 prélevée a l'issue d'une vidange d'une voiture ayant parcouru 9800 km

5.3 Matériels et méthodes

5.3.1 Échantillonnage

Nous avons procédé à l'échantillonnage au niveau d'un garage auto de vidange ou nous avons récupérer une quantité d'huile usagée sur la quel nous avons travaillé

5.3.2 Matériels

- | | |
|---------------------|------------------|
| -Ampoule à décanter | -Buchner |
| -Spatule | -Ballon bé colle |
| -Becher | -Papier filtre |
| -Support élévateur | -Thermomètre |
| -Eprouvette | -Tuyaux |
| -Erlenmeyer | |

5.3.3 Appareillages

- | | |
|-----------------|-----------------------------------|
| -Ph mètre | -Etuve |
| -Agitateur | -Plaque chauffante |
| -Pompe a vide | -Viscosimètres a tube capillaires |
| -Balance | -Réfrigérant |
| -Chauffe ballon | |

5.3.4 Produits chimiques

- Acide sulfurique H_2SO_4 à 98%
- Hydroxyde de Sodium NaOH
- Eau distillée H_2O

(Fournis par le responsable chargé du matériel scientifique)

5.4 Procédés de régénération d'huile usagée

Nous utilisons dans ce procédé de régénération plusieurs techniques de purification tel que la filtration la distillation le lavage à l'eau ou encore un traitement à l'acide sulfurique.

5.4.1 Filtration sous vide

5.4.1.1 Principe

La filtration est une technique utilisée depuis très longtemps pour séparer les mélanges hétérogènes (liquide / solide) elle permet de se débarrasser d'un solide présent dans un liquide ou inversement

5.4.1.2 Technique

La filtration sous vide est une technique de filtration pour séparer un solide d'un liquide grâce à une pompe à vide reliée à un Buchner qui permet de créer une pression pour aspirer le liquide présent dans un entonnoir positionné sur le Buchner afin de récupérer le filtrat

5.4.1.3 Objectif

L'objectif de cette filtration est de séparer les particules solides et les impuretés tel que la poussière les copeaux métalliques et autres impuretés présentes dans l'huile



Figure 10 Filtration sous vide



Figure 11 Résidu de filtration

5.4.2 Distillation

5.4.2.1 Principe

La distillation est un procédé de séparation de mélange de substance liquide dont les températures d'ébullition sont différentes elle permet de séparer les constituants d'un mélange homogène sous l'effet de la chaleur les substances se vaporisent successivement puis sont liquéfiées pour obtenir le distillat

5.4.2.2 Technique

Nous positionnons un ballon rempli d'une quantité d'huile sur un chauffe jusqu'à ébullition, le ballon est relié à un réfrigérant qui possède une sortie et une entrée d'eau froide afin de liquéfier la vapeur et les récupérer à la sortie

5.4.2.3 Objectif

L'objectif de cette distillation est de séparer les différentes substances piégées dans l'huile tel que l'eau est le carburant.



Figure 12 Distillation



Figure 13 Résidu de distillation

5.4.3 Traitement à l'acide sulfurique

5.4.3.1 Principe

Le principe de ce traitement est créé une réaction chimique entre l'acide et les impuretés présente dans l'huile afin de se débarrasser de ces dernières

5.4.3.2 Technique

Nous avons procédé au mélange de 15ml d' H_2SO_4 a 150 ml d'huile traitée .Le mélange est mis sous agitation modéré pendant 30 min a une température constante puis nous laissons le mélange décanter 24h dans une ampoule a décante puis nous séparons les deux phase formées a l'issue de ce traitement (boue/huile)

5.4.3.3 Objectif

Créée deux phase liquide et solide représenté respectivement par l'huile et des boues et ce débarrasser de ces boues et purifier l'huile

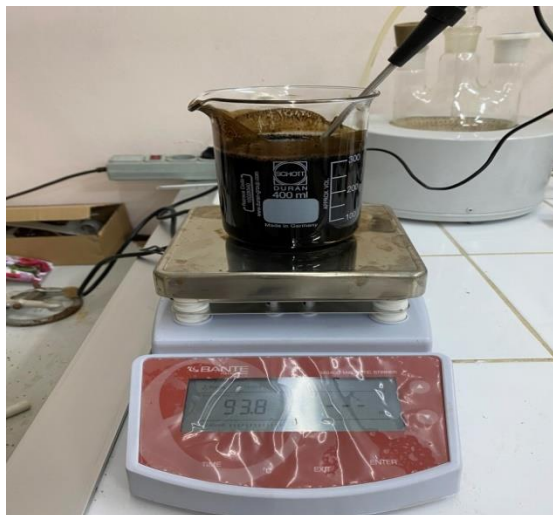


Figure 14 Traitement à l'acide sulfurique

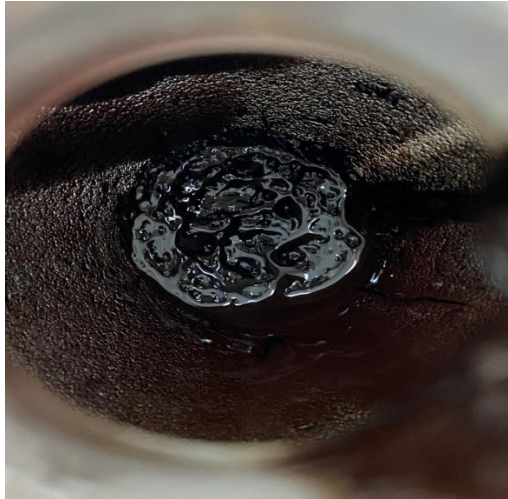


Figure 15 Boues issus du traitement à l'acide sulfurique

5.4.4 Neutralisation a l'hydroxyde de sodium

5.4.4.1 *Principe*

Le principe d'une neutralisation est de rendre une solution acide neutre a l'aide d'un réactif basique tel que l'hydroxyde de sodium

5.4.4.2 *Objectif*

L'objectif de cette neutralisation est de rétablir le ph de l'huile traitée a une valeur neutre car le ph de l'huile après le traitement a l'acide sulfurique s'avère logiquement très acide

5.4.4.3 *Technique*

On mélange une solution de 15g d'hydroxyde de sodium a l'huile traité le tout sous agitation pendant 15 min puis on laisse le mélange décanter pendant 24h puis on retire la couche inférieur présente dans le mélange et on garde l'huile. Après cela le ph de l'huile remonte pour atteindre une valeur quasi neutre.



Figure 16 Neutralisation a l'hydroxyde de sodium

5.4.5 Lavage a l'eau distillé chaude

5.4.5.1 Objectif

L'objectif de ce lavage est de ce débarrassé du surplus d'acide et d'hydroxyde de sodium présent dans l'huile.

5.4.5.2 Technique

On lave l'huile régénérée avec 15 ml d'eau distillé chaude puis nous laissant le mélange décanter pendant 10 min ensuite nous répétons cette opération 3 fois



Figure 17 Décantation après lavage à l'eau distillée

5.5 Analyses des caractéristiques physico chimique

5.5.1 Analyses du pH

5.5.1.1 Mode d'opérateur

Nous avons pris 3 échantillons d'huile (neuve/régénérée/usagée) .Puis nous avons mesuré le ph de chaque échantillon a l'aide d'un ph mètre.

5.5.2 Taux humidité

5.5.2.1 Mode d'opérateur

Nous avons pris 3 échantillons d'huile (neuve / régénérée / usagée) dont les quantités sont bien définie puis nous les avons placé dans une étuve pendant 24h afin de pouvoir calculer la teneur en eau de chaque échantillons a l'aide de la formule suivante :

$$H\% = 100 \times \frac{(mh - ms)}{ms}$$

Avec : mh : masse humide

ms : masse sèche

5.5.3 Densité

5.5.3.1 Mode d'opérateur

Nous avons pu établir la densité des 3 échantillons en calculant la masse volumique de chacun d'entre eux.

$$\rho = \frac{m}{v}$$

Avec :

m : la masse en g

v : le volume en ml

5.5.4 Viscosité cinématique (ASTM D 445)

5.5.4.1 Mode d'opérateur

-Remplir 3 viscosimètres a tube capillaire avec 3 échantillons d'huile (neuve / usagée / régénérée)

-Introduire les trois viscosimètres capillaires dans un bain d'eau a 40 pendant 30 min

-Retiré le bouchon en haut de chaque tube capillaire et chronométrer la monté de l'huile entre le point A et B qui représente la boule 1 puis entre le point B et C qui représente la boule 2

-Convertir le temps en seconde puis multiplié par les constantes K de chaque boule appartenant à chaque capillaire pour calculer la viscosité entre dans la boule 1 et la boule 2 puis prendre la moyenne pour obtenir la viscosité finale .

-Répéter le même mode opératoire à 100°C

Tableau 3 valeurs de constantes des viscosimètres

Échantillons d'huile	Type de Viscosimètres	Constante K boule 1	Constante k boule 2
Régénéré	400-4678	1.056233	0.71388
usagée	350-4785	0.47478	0.35004
neuve	400-4675	1.2	0.72



Figure 18 Viscosimètre

5.5.5 Point d'éclair ASTM D 93

5.5.5.1 *Principe*

Le point d'éclair correspond à la température la plus basse à la quel un corps combustible émet suffisamment de vapeurs pour former avec l'air ambiant un mélange gazeux qui s'enflamme sous l'effet d'une source d'énergie calorifique tel qu'une flamme pilote mais pas suffisamment pour que la combustion s'entretienne d'elle-même.

5.5.5.2 *Mode d'opérateur*

Nous introduisons dans le vase de l'appareil testeur de point d'éclair quantité d'huile.

Cette quantité est chauffée à une vitesse constante de montée de température puis une petite flamme est approchée de la surface de l'échantillon d'huile à intervalle régulier.

L'appareil note ensuite la température exacte à laquelle le mélange gazeux crée une étincelle, c'est ainsi que le point d'éclair est définie .



5.5.6 Point d'écoulement ASTM D 97

5.5.6.1 Principe

Le point d'écoulement est la température la plus basse à laquelle un liquide cesse de couler au-delà de cette température nous considérons ce point comme point de congélation

5.5.6.2 Mode d'opérateur

L'échantillon doit être à une température de départ de 27°C

Introduire l'échantillon successivement dans les 5 bains de refroidissement

Puis vérifier entre chaque bain si le liquide émet des signes d'écoulement pendant 5 secondes et noter la température à l'aide d'un thermomètre

Si le liquide continue de couler passer au bain suivant

Arrêter l'opération quand l'échantillon cesse de couler

Noter le point d'écoulement en ajoutant 3°C à la température trouvé

Bain	Température du bain (°C)	Température de l'échantillon (°C)
1	24	Début a 27
2	0	27 à 9
3	-18	9 à -6
4	-33	-6 à -24
5	-51	-24 à -42
6	-69	-42 à -60

Tableau 4 Détermination du point d'écoulement ASTM D 97



Figure 19 Détermination du point d'écoulement

Partie 3

Résultats et discussions

6 Chapitre 6 : résultats et discussions

6.1 Résultats

6.1.1 pH

Type d'huile	pH
Huile neuve	7.07
Huile régénérée	8.04
Huile usagées	5.33

Tableau 5 Résultats Ph

6.1.2 Taux humidité

Nous avons calculé le taux d'humidité de chaque huile

$$H\% = 100 \times \frac{(mh - ms)}{ms}$$

Type d'huile	neuve	usagée	régénérée
Teneur en eau %	1	4.2	2.1

Tableau 6 Teneur en eau

6.1.3 Densité

Nous avons calculé la masse volumique de chaque huile

$$\rho = \frac{m}{v}$$

Type d'huile	Neuve	Usagée	Régénéré
densité g/ml	0.866	0.879	0.861

Tableau 7 Densité

6.1.4 Viscosité cinématique (ASTM D445)

Viscosité à 40° C et 100 °C en mm /s²

Type d'huile	Neuve	Usagée	Régénérée
Viscosité a 40°	100.2	38.47	101.9

Viscosité a 100°	14.7	9.84	13.2
------------------	------	------	------

Tableau 8 Viscosité cinématique à 40°C et 100°C

6.1.5 Point d'éclair ASTM D 93

Type d'huile	Neuve	Usagée	Régénérée
Point d'éclair °C	206	186	200

Tableau 9 Point d'éclair

6.1.6 Point d'écoulement (ASTM D97)

Type d'huile	Neuve	Usagée	Régénérée
Point d'écoulement (°C)	-25	-17	-21

Tableau 10 Point d'écoulement

6.2 Discussion des résultats

6.2.1 Introduction

Suite au traitement subi à l'huile concernant la régénération et les analyses effectuées nous avons obtenu des résultats représentés dans le tableau dont nous allons procéder à leur interprétation.

Caractéristiques	Huile neuve	Huile usagées	Huile régénérée
Viscosité cinématique à 40°C (mm ² /s)	100.2	38.47	101.9
Viscosité cinématique à 100°C (mm ² /s)	14.7	9.84	13.2
Point d'éclair (°C)	206	186	200
Point d'écoulement (°C)	-25	-17	-21
densité	0.866	0.879	0.861
Taux d'humidité %	1.2	4.2	2.1

Tableau 11 Résultats des Caractéristiques

6.2.2 Viscosité

Nous remarquons que la viscosité de l'huile régénérée est quasiment proche de la viscosité de l'huile neuve contrairement à l'huile usagée qui présente des résultats médiocres en terme de viscosité ce qui est dû à la dégradation de l'huile et de ces additifs et à divers contaminants présents dans l'huile.

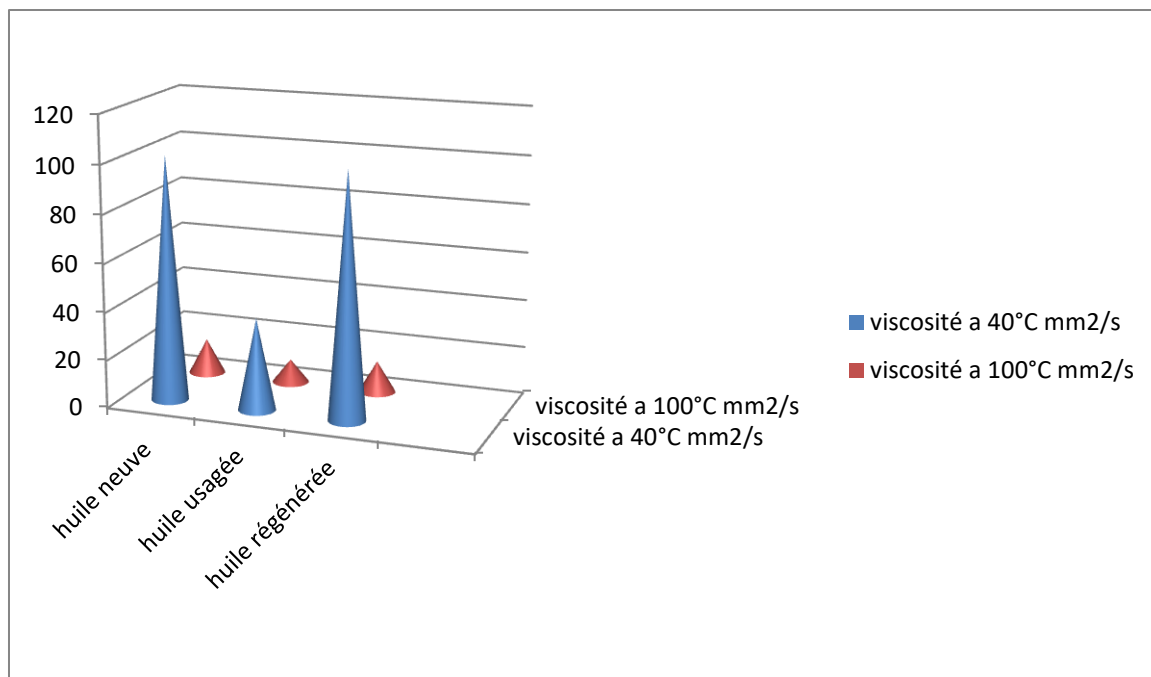


Figure 20 Comparaison de la viscosité cinématique a 40°C et 100°C des 3 échantillons d'huiles

6.2.3 Calcul de l'indice de viscosité

Grace a un calculateur d'indice de viscosité nous a avons pu déterminer l'IV de chaque huile a l'aide des viscosités a 40°C et 100°C

Caractéristiques	Huile neuve	Huile usagées	Huile régénérée
Viscosité cinématique a 40°C(mm²/s)	102	38.47	101.9
Viscosité cinématique a 100°C (mm²/s)	14.7	9.84	13.2
Indice de viscosité IV	152	255	127

Tableau 12 Indice de viscosité

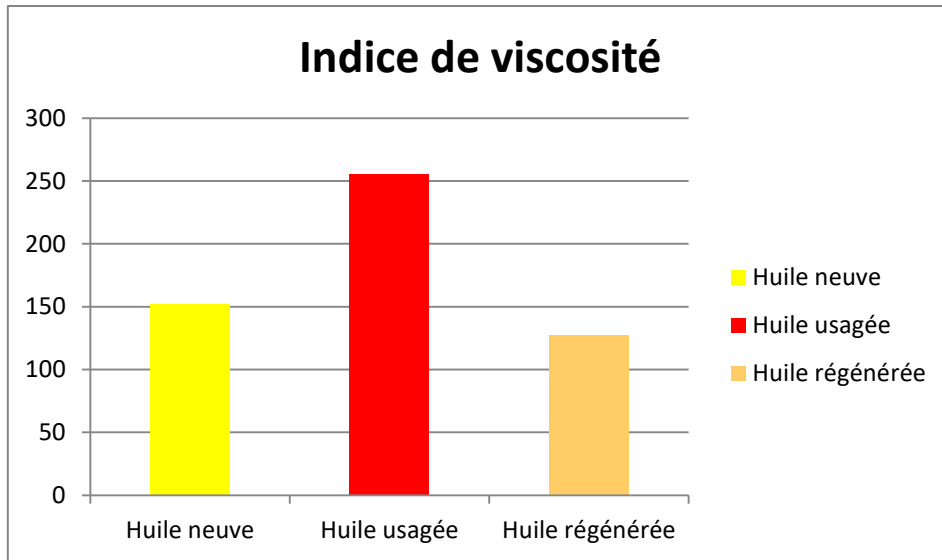


Figure 21 Comparaison de l'indice de viscosité

Nous pouvons en déduire que l'indice de viscosité de l'huile régénérée se rapproche plus de l'huile celui d'une huile neuve qu'une huile usagée

6.2.4 Point d'écoulement

Contenu des résultats obtenu nous pouvons dire que le point d'écoulement de l'huile régénéré est satisfaisant en le comparant a celui de l'huile neuve et régénérée, grâce au traitement à l'acide sulfurique qui attaque les contaminants présent dans l'huile nous avons pu améliorer le point d'écoulement qui fait partie des caractéristiques importantes d'une huile.

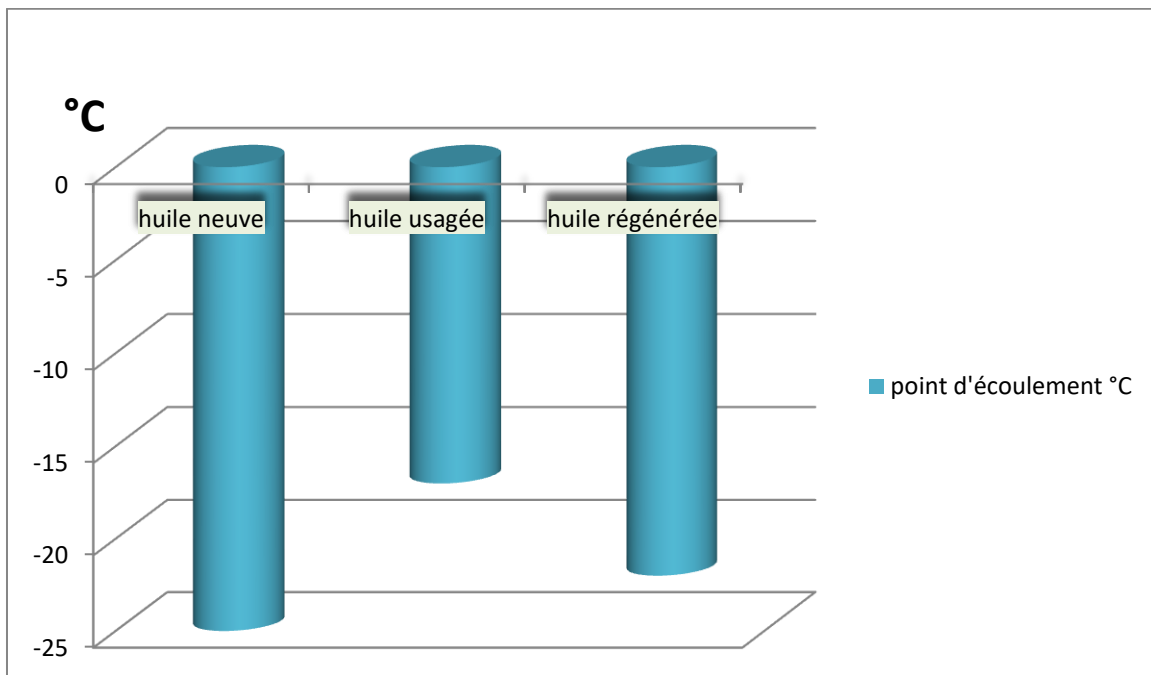


Figure 22 Comparaison du point d'écoulement des 3 échantillons d'huiles

6.2.5 Point d'éclair

Concernant le point d'éclair nous remarquons que l'huile usagée a un point d'éclair plus bas que l'huile neuve et régénérée cela est certainement dû au carburant piégé dans l'huile qui augmente l'inflammabilité ainsi que la dégradation des additif présent dans l'huile et grâce au traitement effectué nous avons pu purifier l'huile de ces contaminant et ainsi amélioré son point d'éclair.

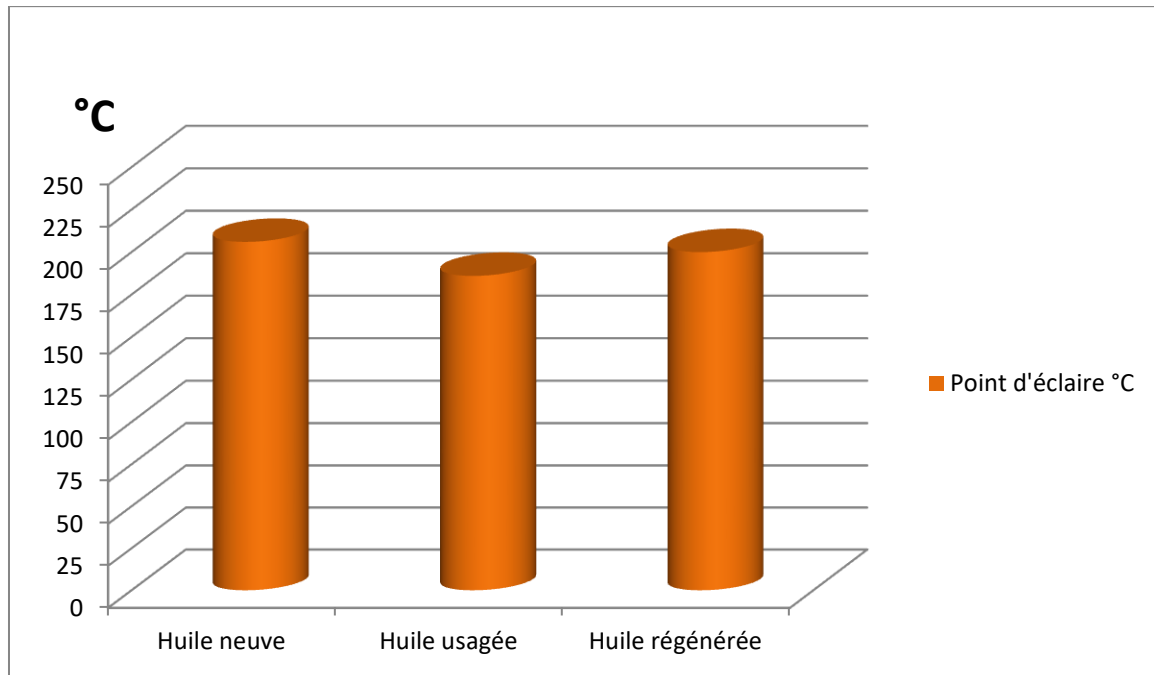


Figure 23 Comparaison du point d'éclair des 3 échantillons d'huiles

6.2.6 Densité

Nous remarquons que les densités de l'huile neuve et régénérée sont proche l'une de l'autre comparé à l'huile usagée .ceci nous laisse a déduire que la densité de l'huile est influencé par les contaminants présent dans l'huile tel que le carburant et l'eau qui peuvent considérablement faire augmenter la densité de l'huile.

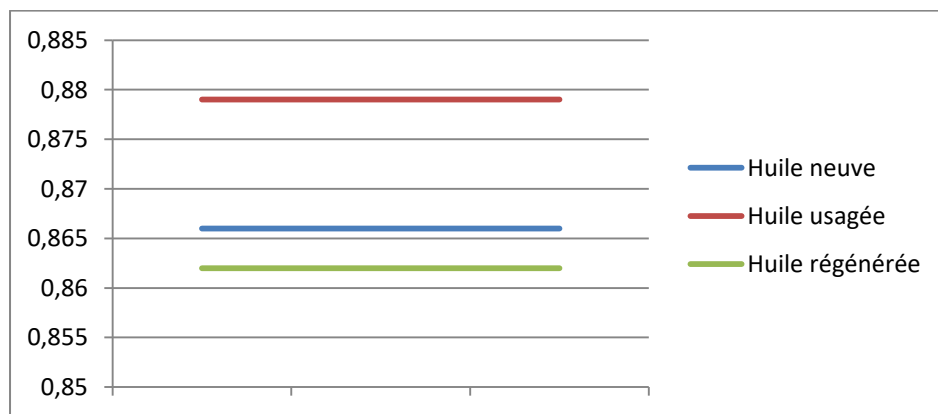


Figure 24 Comparaison de la densité des 3 échantillons d'huiles

6.2.7 Teneur en eau (l'humidité)

En comparant les valeurs de teneur en eau on remarque que la teneur en eau de l'huile usagée est 4 fois plus grande que celle de l'huile neuve et 2 fois plus que celle de l'huile régénérée ce qui confirme la différence de densité entre ces 3 huiles et l'influence de l'eau sur l'huile

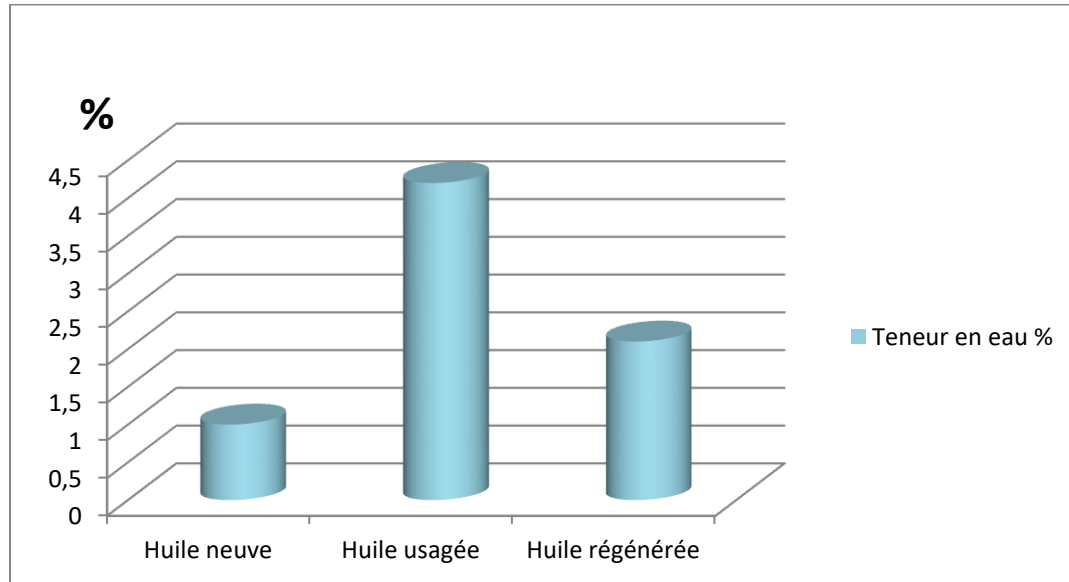


Figure 25 Comparaison de la teneur en eau des 3 échantillons d'huiles

Conclusion générale

La lubrification est indispensable pour le fonctionnement des moteurs de tout type de véhicule, car elle permet d'éviter que les différents frottements des pièces qui constitue le moteur mènent à l'usure de ce dernier, mais ces huiles ont une durée d'utilisation définie, c'est pour cela que les huiles lubrifiantes sont produites et consommées en grandes quantités chaque année.

Ces huiles se dégradent au fur et à mesure de leur utilisation, une fois usagées elles perdent leur fonction de lubrification et doivent être remplacées par des huiles neuves. Ces huiles usagées représentent par la suite un risque majeur pour l'environnement et la santé humaine dans le cas d'une mauvaise gestion, ce risque est dû essentiellement à la contamination de ces huiles par des métaux lourds et d'autres contaminants tel que les suies, poussières, carburant etc. C'est pour cela que ces huiles usagées sont considérées comme déchets spéciaux dangereux et nécessitent un traitement spécial, réglementaire et bien précis allant de la collecte, en passant par le stockage jusqu'à l'élimination.

une solution économique mais aussi environnementale est à notre portée concernant le traitement de ces huiles usagées, il s'agit comme nous l'avons vu dans ce projet de la régénération des huiles usagées qui s'avère très efficace, car ce procédé nous permet de purifier une huile usagée et de restaurer ses caractéristiques tel que la viscosité, le point d'éclair et le point d'écoulement qui sont semblables à celle d'une huile neuve qui lui permettent d'assurer sa fonction avec un taux de rendement général concernant la régénération qui est estimé à 89 %.

Des résidus en ressortent à l'issue de ce traitement, il s'agit de boues contenant les contaminants qui se trouvaient dans l'huile mais aussi des quantités de carburants pouvant tous deux être réutilisés et valorisés en tant que coke que l'on peut rajouter au bitume concernant les boues après leur séchage, ou comme combustible vu leur pouvoir calorifique élevé, pareil pour le carburant qui peut être aussi utilisé comme combustible dans les incinérateurs ou les cimenteries.

Pour finir la régénération des huiles usagées est l'une des meilleures solutions concernant la façon de traiter ces déchets vu leur impact néfaste sur l'environnement et la santé humaine, ce procédé nous permet de faire des économies d'énergies mais aussi de ressources car produire une huile neuve est certainement plus coûteux et plus polluant que d'utiliser une huile régénérée.

Références bibliographiques

1. **auto, Alpha.** *grand encyclopédie de l'automobile.* mai 1997.
2. **Groff, Jean.** *L'Organisation du graissage dans l'industrie.* paris : maison de la chimie, 1946.
3. **,COMPOSTION LUBRIFIANTE POUR MOTEUR INDUSTRIELS A POTENTIEL FE AMPLIFIE ; rapport de recherche internationatl. Stéphane, Gavard, Sophie, Oppiliart et Bernard, Lamy.** 21, (2019).
4. **Totalénergie.** composition huile moteur. *totalénergie.fr.* [En ligne]
5. **vidange carter cash.** Additifs huile moteur. [En ligne] <http://www.forfait-vidange.info/vidange-moteur/additifs>.
6. *les huiles usagées (raffinage et valorisation énergétique).* **audibert, François.** s.l. : édition TECHNIP, 2003.
7. **lubricants total.** what-motor-oil-vi. [En ligne] www.lubricants.total.com/what-motor-oil-vi.
8. *How Polymers Behave as Viscosity Index Improvers in Lubricating Oils.* **Covitch, M.J. and Trickett, K.J.** 2015.
9. **ASTM.** ASTM International 'D7042 - 16e3 Standard Test Method for Dynamic Viscosity and Density of Liquids by Stabinger Viscometer. [En ligne] www.astm.org/standards/d7042.htm.
10. —. ASTM International 'D445 - 17a Standard Test Method for Kinematic Viscosity of Transparent and Opaque Liquids. [En ligne] www.astm.org/standards/d445.htm.
11. **ASTM .** ASTM International 'ASTM D341 - 17 Standard Practice for Viscosity-Temperature Charts for Liquid Petroleum Products'. [En ligne] www.astm.org/Standards/D341.htm.
12. **OelCheck.** 'Viscosity – Viscosity changes – Viscosity-temperature behaviour. [En ligne] en.oelcheck.com/wiki/Viscosity .
13. **ISO.** ISO - International Organization for Standardization 'ISO 2909:2002 Petroleum products -- Calculation of viscosity index from kinematic viscosity' .: . [En ligne] www.iso.org/standard/29953.html.
14. —. ISO - International Organization for Standardization 'ISO 2909:2002 Petroleum products -- Calculation of viscosity index from kinematic viscosity. [En ligne] www.iso.org/standard/29953.html.
15. **E.Zadorozhanya, I.Levanov et O.OSKINA.** ,study of hths viscosity of modern motor oil,procedia Engineering,2nd internatinal conference on industrial engineering . 2016, Vol. 150.
16. **Anton Paar.** Automotive Lubricant Viscosity Grades: Engine Oils – SAE J 300. [En ligne] 1999.
17. **US STEEL.** National Tube Division, United States Steel. Lubrication Engineers Manual. Lubricants Testing Laboratory. [En ligne] 1960.
18. **ISO.** ISO 3016:, Produits pétroliers. Détermination du point d'écoulement. [En ligne] 1994.

19. *Report for the European Economic Community (EEC); National Institute for Wastewater Treatment.* **Hopmans, J. J.** Dordrecht, The Netherlands : s.n., 1974.
20. *Re-refining makes quality oils. Hydrocarb. Process.* **Whisman, M. L., et al., et al.** 1978, Vol. 57.
21. **(CCME), Conseil canadien des ministres de l'environnement.** *Code de pratique de gestion des huiles usées au Canada. CCME-TS/WM-TRE006E.* 1989.
22. **S.Evans, jhon.** *comment l'huile se dégrade t-elle ?bultain technique; wear check.* 52.
23. **Agence nationale des déchets.** bulletin de veille technologique. 2019. Vol. 1.
24. *Guide de la Gestion Écologiquement Rationnelle des Huiles Usagées en Méditerranée.*
25. *centre national de technologie de production plus propre . Editorial .* 2010. Vol. 7.
26. **audibert, françois.** *les hguils usagées :raffinage et valorisation énergétique.* s.l. : édition technip.
27. **Lubrifiants, Centre Professionnel des.** Centre Professionnel des Lubrifiants, données 2016.

Annexes

Annexe 1

Valeurs mesurées de L et H pour la viscosité cinématique

Viscosité cinématique à 100 °C mm ² /s	L	H
2	7,994	6,394
2,1	8,64	6,894
2,2	9,309	7,41
2,3	10	7,944
2,4	10,71	8,496
2,5	11,45	9,063
2,6	12,21	9,647
2,7	13	10,25
2,8	13,8	10,87
2,9	14,63	11,5
3	15,49	12,15
3,1	16,36	12,82
3,2	17,26	13,51
3,3	18,18	14,21
3,4	19,12	14,93
3,5	20,09	15,66
3,6	21,08	16,42
3,7	22,09	17,19
3,8	23,13	17,97
3,9	24,19	18,77
4	25,32	19,56
4,1	26,5	20,37
4,2	27,75	21,21
4,3	29,07	22,05
4,4	30,48	22,92
4,5	31,96	23,81
4,6	33,52	24,71
4,7	35,13	25,63
4,8	36,79	26,57
4,9	38,5	27,53
5	40,23	28,49
5,1	41,99	29,46
5,2	43,76	30,43
5,3	45,53	31,4
5,4	47,31	32,37
5,5	49,09	33,34
5,6	50,87	34,32

5,7	52,64	35,29
5,8	54,42	36,26
5,9	56,2	37,23
6	57,97	38,19
6,1	59,74	39,17
6,2	61,52	40,15
6,3	63,32	41,13
6,4	65,18	42,14
6,5	67,12	43,18
6,6	69,16	44,24
6,7	71,29	45,33
6,8	73,48	46,44
6,9	75,72	47,51
7	78	48,57
7,1	80,25	49,61
7,2	82,39	50,69
7,3	84,53	51,78
7,4	86,66	52,88
7,5	88,85	53,98
7,6	91,04	55,09
7,7	93,2	56,2
7,8	95,43	57,31
7,9	97,72	58,45
8	100	59,6
8,1	102,3	60,74
8,2	104,6	61,89
8,3	106,9	63,05
8,4	109,2	64,18
8,5	111,5	65,32
8,6	113,9	66,48
8,7	116,2	67,64
8,8	118,5	68,79
8,9	120,9	69,94
9	123,3	71,1
9,1	125,7	72,27
9,2	128	73,42
9,3	130,4	74,57
9,4	132,8	75,73
9,5	135,3	76,91
9,6	137,7	78,08
9,7	140,1	79,27
9,8	142,7	80,46

9,9	145,2	81,67
10	147,7	82,87
10,1	150,3	84,08
10,2	152,9	85,3
10,3	155,4	86,51
10,4	158	87,72
10,5	160,6	88,95
10,6	163,2	90,19
10,7	165,8	91,4
10,8	168,5	92,65
10,9	171,2	93,92
11	173,9	95,19
11,1	176,6	96,45
11,2	179,4	97,71
11,3	182,1	98,97
11,4	184,9	100,2
11,5	187,6	101,5
11,6	190,4	102,8
11,7	193,3	104,1
11,8	196,2	105,4
11,9	199	106,7
12	201,9	108
12,1	204,8	109,4
12,2	207,8	110,7
12,3	210,7	112
12,4	213,6	113,3
12,5	216,6	114,7
12,6	219,6	116
12,7	222,6	117,4
12,8	225,7	118,7
12,9	228,8	120,1
13	231,9	121,5
13,1	235	122,9
13,2	238,1	124,2
13,3	241,2	125,6
13,4	244,3	127
13,5	247,4	128,4
13,6	250,6	129,8
13,7	253,8	131,2
13,8	257	132,6
13,9	260,1	134
14	263,3	135,4
14,1	266,6	136,8
14,2	269,8	138,2
14,3	273	139,6
14,4	276,3	141
14,5	279,6	142,4
14,6	283	143,9

14,7	286,4	145,3
14,8	289,7	146,8
14,9	293	148,2
15	296,5	149,7
15,1	300	151,2
15,2	303,4	152,6
15,3	306,9	154,1
15,4	310,3	155,6
15,5	313,9	157
15,6	317,5	158,6
15,7	321,1	160,1
15,8	324,6	161,6
15,9	328,3	163,1
16	331,9	164,6
16,1	335,5	166,1
16,2	339,2	167,7
16,3	342,9	169,2
16,4	346,6	170,7
16,5	350,3	172,3
16,6	354,1	173,8
16,7	358	175,4
16,8	361,7	177
16,9	365,6	178,6
17	369,4	180,2
17,1	373,3	181,7
17,2	377,1	183,3
17,3	381	184,9
17,4	384,9	186,5
17,5	388,9	188,1
17,6	392,7	189,7
17,7	396,7	191,3
17,8	400,7	192,9
17,9	404,6	194,6
18	408,6	196,2
18,1	412,6	197,8
18,2	416,7	199,4
18,3	420,7	201
18,4	424,9	202,6
18,5	429	204,3
18,6	433,2	205,9
18,7	437,3	207,6
18,8	441,5	209,3
18,9	445,7	211
19	449,9	212,7
19,1	454,2	214,4
19,2	458,4	216,1
19,3	462,7	217,7
19,4	467	219,4

19,5	471,3	221,1
19,6	475,7	222,8
19,7	479,7	224,5
19,8	483,9	226,2
19,9	488,6	227,8
20	493,2	229,5
20,2	501,9	233
20,4	510,8	236,4
20,6	519,9	240,1
20,8	528,8	243,5
21	538,4	247,1
21,2	547,5	250,7
21,4	556,7	254,2
21,6	566,4	257,8
21,8	575,6	261,5
22	585,2	264,9
22,2	595	268,6
22,4	604,3	272,3
22,6	614,2	275,8
22,8	624,1	279,6
23	633,6	283,3
23,2	643,4	286,8
23,4	653,8	290,5
23,6	663,3	294,4
23,8	673,7	297,9
24	683,9	301,8
24,2	694,5	305,6
24,4	704,8	309,4
24,6	714,9	313,2
24,8	725,7	317
25	736,5	320,9
25,2	747,2	324,9
25,4	758,2	328,8
25,6	768,8	332,7
25,8	779,7	336,7
26	790,4	340,5
26,2	801,6	344,4
26,4	812,8	348,4
26,6	824,1	352,3
26,8	835,5	356,4
27	847	360,5
27,2	857,5	364,6
27,4	869	368,3
27,6	880,6	372,3
27,8	892,3	376,4
28	904,1	380,6
28,2	915,8	384,6
28,4	927,6	388,8

28,6	938,6	393
28,8	951,2	396,6
29	963,4	401,1
29,2	975,4	405,3
29,4	987,1	409,5
29,6	998,9	413,5
29,8	1 011	417,6
30	1 024	421,7
30,5	1 055	432,4
31	1 086	443,2
31,5	1 119	454
32	1 151	464,9
32,5	1 184	475,9
33	1 217	487
33,5	1 251	498,1
34	1 286	509,6
34,5	1 321	521,1