

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE
MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR
ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE
UNIVERSITÉ KASDI MERBAH OUARGLA



Faculté des hydrocarbures, des énergies renouvelables et de science de la terre et de l'univers

Département forage et mécanique des chantiers pétroliers

MÉMOIRE

Pour obtenir le Diplôme de Master

Option: forage

Présenté par :

IYAH I Ahmedou Iyahi

SIDI YACOUB MOHAMED EL MOUSTAFA Sidi Mohamed

Thème

Etude de la possibilité d'utilisation d'huile de vidange traitée
comme lubrifiant d'une boue à base d'eau (WBM)

Soutenu publiquement le 16/06/2025

Devant le jury composé de :

TOUKHA Mebarka	MCB	UKMO	Présidente
BOUHADDA Mebarka	MCB	UKMO	Encadreur
CHAICHE Zeineb	MCA	UKMO	Examinatrice

Année universitaire : 2024/2025

Remerciements

Tout d'abord, nous remercions Dieu Tout-Puissant de nous avoir donné la force et la persévérance pour mener à bien cette œuvre.

Nous tenons à exprimer notre profonde gratitude au **Dr BOUHADDA Mebaraka**, notre encadrante lors de la réalisation de ce travail, pour le soutien scientifique, les précieux conseils et l'encadrement continu qu'elle nous a apportés tout au long de ce travail. Son expérience et ses observations pertinentes ont grandement contribué à l'achèvement de cette thèse. Nous espérons que vous trouverez ici l'expression de notre sincère gratitude.

Nous remercions également tous les professeurs de la Faculté des Hydrocarbures et des Énergies Renouvelables et des Sciences de la Terre et de l'Univers et spécialement les enseignants de département de Forage et Mécanique des Chantiers Pétroliers pour la qualité de leur enseignement et leurs efforts continus pour nous transmettre leurs connaissances et nous former académiquement et professionnellement.

Nous remercions également nos collègues et amis du département de forage, avec qui nous avons partagé ce voyage universitaire. Leur présence, leurs échanges et leur soutien ont été pour nous une grande source de réconfort et une aide précieuse durant ces années académiques.

Nous ne devons pas oublier d'exprimer nos sincères remerciements à nos familles pour leur soutien moral, leur patience et leurs encouragements constants.

Ce travail expérimental a été réalisé au **laboratoire de géologie du Centre de Recherche Scientifique**, et nous tenons à adresser nos vifs remerciements à **Dr. HOUSSEINI Massoud**, chef du laboratoire de géologie, pour son accueil et sa disponibilité, ainsi qu'à **l'ingénieur QAJA Omar**, responsable du laboratoire, pour son accompagnement technique et son aide précieuse tout au long des expérimentations.

À tous ceux qui nous ont soutenus directement ou indirectement dans la réalisation de ce travail, nous disons du fond du cœur : Merci.

Dédicaces

Nous dédions humblement ce travail :

À nos chers parents, qui nous ont appris à aimer le savoir, et qui ont tant sacrifié pour notre avenir toute notre gratitude et notre amour.

À nos frères et sœurs, toujours présents à nos côtés avec soutien et encouragement.

À nos enseignants respectés, pour leur encadrement et leurs conseils tout au long de notre parcours.

À nos amis et camarades, compagnons d'efforts et de réussite.

À tous ceux qui, de près ou de loin, ont contribué à la réalisation de ce mémoire...
Nous vous dédions le fruit de notre travail, avec reconnaissance et respect.

Liste des abréviations

API: American Petroleum Institute

ASTM: American Society for Testing and Materials

CMC: *Carboxy Methyl Cellulose*

EP: Extreme Pressure

OBM: *Oil-Based Mud*

PAC: *Polyanionic Cellulose*

PAG: *PolyAlkylene Glycol*

PHPA: *Partially Hydrolyzed PolyAcrylamide*

TDA: *Total Dissolved Anions*

WBM: *Water-Based Mud*

WBMS: *Water-Based Mud System*

Table de matière

Remerciements	II
Dédicaces.....	III
Liste des abréviations	IV
Résumé.....	VIII
Introduction Générale	II
Chapitre I. Généralités sur les fluides de forage.....	2
I.1. Définition Fluide de forage.....	3
I.2. Les fonctions du fluide de forage	3
I.3. Le circuit de la boue dans le sondage	5
I.4. Types des fluides de forage	6
I.4.1. Les Boues à base d'eau (WBM).....	6
I.4.2. Les fluides à base d'huile (OBM)	6
I.4.3. Les mousses	7
I.4.4. Les fluides de forage à air –gaz.....	7
I.4.5. Les boues aérées.....	7
I.5. Principaux produits à boue	7
I.5.1. Les viscosifiants	7
I.5.2. Les fluidifiants	7
I.5.3. Les réducteurs de filtrat.....	8
I.5.4. Les inhibiteurs de gonflement et de dispersion des argiles	8
I.5.5. Les alourdissant.....	8
I.5.6. Les colmatant	8
I.6. Propriétés des fluides de forage	8
I.6.1. . Densité.....	9
I.6.2. La viscosité.....	9
I.6.3. Filtration de la boue	9
Chapitre II. Lubrification et recyclage des huiles usées.....	10
II.1. Lubrification de moteur	11
II.1.1. Définition	11
II.1.2. La composition de l'huile moteur	11
II.1.2. Déclassement des huiles lubrifiantes pour moteurs	12
II.2. Le recyclage des huiles usées	13

II.2.1. Les méthodes du traitement d'huile usées.....	13
II.3. L'impact sur la santé humaine et sur l'environnement des huiles usées.....	17
II.4. Lubrifiants pour les fluides de forage.....	18
II.4.1. . Définition.....	18
II.4.2. Lubrifiants de forage : types et composition	18
II.4.3. Importance des lubrifiants dans le forage	19
II.4.4. Les caractéristiques physico-chimiques des Lubrifiants	20
II.4.5. Considérations relatives à la sécurité et à l'environnement	22
Chapitre III. Traitement et caractérisation d'huile usée	23
III.1. Matériels et Méthodes	24
III.1.1. Matériels utilisés.....	24
III.2. Procédure du traitement par acide H_2SO_4	25
III.2.1. Filtration sous vide	26
III.2.2. Centrifugation.....	27
III.2.3. Décantation.....	28
III.2.4. Distillation sous vide	28
III.2.5. Acidification /Neutralisation	29
III.3. Résultats et discussions	31
III.3.1. Viscosité	32
III.3.2. Point d'écoulement.....	33
III.3.3. Point d'éclair	34
III.3.4. Densité.....	34
III.4. Comparaison entre l'huile lubrifiante régénérée et les additifs lubrifiants de fluides de forage.....	36
Conclusion Générale.....	38
Références bibliographiques.....	39
Annexe.....	41

La liste des figures

Figure I.1: Cycle du fluide sur le site de forage (Schlumberger, 1997). [4]	6
Figure II.1: La composition des huiles lubrifiantes des moteurs. [10]	11
Figure II.2 : Diagramme de processus de traitement des huiles usagées en acide/terre. [15]	14
Figure II.3 : Schéma des processus de distillation sous vide et d'hydrogénation. [16]	15
Figure II.4: Diagramme de la technologie Viscolube. [17]	16
Figure II.5: L'impact des huiles usagées sur l'environnement. [10]	18
Figure III.1: Matériels utilisés..	25
Figure III.2: Etapes de processus du traitement. [22].	26
Figure III.3: Le montage de filtration sous vide.	27
Figure III.4: agitation mécanique par agitateur magnétique	27
Figure III.5: centrifugeuse.	28
Figure III.6: montages de distillation sous vide.....	29
Figure III.7 : agitation mécanique d'huile traitée et l'acide	29
Figure III.8: Neutralisation de l'acide.	30
Figure III.9: Effet du traitement sur la viscosité cinématique. [22] [23]	33
Figure III.10: Effet du traitement sur le point d'écoulement. [22]. [23].....	33
Figure III.11: Effet du traitement sur le point d'éclair. [22]. [23].....	34
Figure III.12: Effet du traitement sur le point d'éclair. [22]. [23].....	35

La liste des Tableaux

Tableau III-1: Les différents protocoles suivis dans nos expériences.	31
Tableau III-2: Résultats des tests de référence [22].	32
Tableau III-3: Résultats des travaux de la référence [23].	32
Tableau III-4: Tableau comparatif entre huile régénérée et lubrifiant de forage.	36

ملخص:

تستكشف هذه الدراسة إمكانية إعادة تدوير زيوت المحركات المستعملة لاستخدامها كمواد تشحيم بديلة في سوائل الحفر القائمة على الماء (WBM)، وبالتالي الجمع بين الفوائد الاقتصادية والبيئية. ويتمثل الهدف الرئيسي في معالجة الزيوت المستعملة 15W40، 5W30، و 15W40 (shell) عن طريق عملية كيميائية بحمض الكبريتيك (H_2SO_4)، ثم مقارنة خصائصها الفيزيائية الكيميائية مع تلك الخاصة بزيوت التشحيم التجارية المستخدمة في سوائل الحفر.

أظهرت الاختبارات المرجعية أن الزيت المعالج له لزوجة حركية منخفضة عند 40 درجة مئوية. (من 70.96 إلى 135.93 ملم²/ثانية مقارنة ب 103.5 إلى 155.97 ملم²/ثانية للزيت الجديد)، ونقطة وميض عالية (178-220 درجة مئوية)، وكثافة معتدلة (0.8726-0.784) ونقطة انسكاب ثابتة (-9 إلى -10 درجات مئوية). بالمقارنة مع زيوت التشحيم التجارية (Enerlube، GEM GP، TORQ-TRIM 22، LUBE-167)، يوفر الزيت المعاد تدويره استقرارًا حراريًا أفضل (نقطة وميض أعلى) وتكاليف أقل. ومع ذلك، يمكن أن تؤدي لزوجته العالية إلى تعقيد عملية دمجه في سوائل الحفر القائمة على الماء (WBM)، كما أن عدم قابليته للذوبان في الماء يحد من تجانسه. بالإضافة إلى ذلك، لم يتم اختبار قابليته للتحلل البيولوجي.

الكلمات المفتاحية: سائل الحفر، إعادة التدوير، زيوت تشحيم الحفر، المعالجة بالأحماض، الخواص الفيزيائية الكيميائية.

Résumé

Cette étude explore la possibilité de recycler des huiles de moteur usagées pour les utiliser comme lubrifiants alternatifs dans les fluides de forage à base d'eau (WBM), combinant ainsi des avantages économiques et environnementaux. L'objectif principal est de traiter des huiles usagées (15W40, 5W30, 15W40) via le procédé de traitement à l'acide sulfurique (H_2SO_4), puis de comparer les propriétés physico-chimiques des huiles traitées avec celles des lubrifiants commerciaux ajoutés aux fluides de forage.

Les tests de référence montrent que l'huile traitée présente une viscosité cinématique à 40°C réduite (70,96 à 135,93 mm²/s contre 103,5 à 155,97 mm²/s pour l'huile neuve), un point d'éclair élevé (178–220°C), une densité modérée (0,784–0,8726) et un point d'écoulement stable (-9 à -10°C). Comparée aux lubrifiants commerciaux (Enerlube, GEM GP, TORQ-TRIM 22, LUBE-167), l'huile recyclée offre une meilleure stabilité thermique (point d'éclair supérieur) et des coûts réduits. Cependant, sa viscosité élevée pourrait compliquer son intégration dans les WBM, et son insolubilité dans l'eau limite son homogénéité. De plus, sa biodégradabilité n'a pas été testée.

Mots-clés: *Fluide de forage, Recyclage, huile de moteur, lubrifiants, traitement à l'acide, propriétés physico-chimiques.*

Abstract

This study explores the possibility of recycling used motor oils for use as alternative lubricants in water-based drilling fluids (WBM), thus combining economic and environmental benefits. The main objective is to treat used oils (15W40, 5W30, 15W40) via a chemical process with sulfuric acid (H_2SO_4), then to compare their physicochemical properties with those of commercial lubricants used in drilling fluids.

The reference tests show that the treated oil has a reduced kinematic viscosity at 40°C. (70.96 to 135.93 mm²/s compared to 103.5 to 155.97 mm²/s for new oil), a high flash point (178-220°C.), a moderate density (0.784–0.8726) and a stable pour point (-9 to -10°C.). Compared to commercial lubricants (Enerlube, GEM GP, TORQ-TRIM 22, LUBE-167), recycled oil offers better thermal stability (higher flash point) and reduced costs. However, its high viscosity could complicate its integration into WBM, and its insolubility in water limits its homogeneity. In addition, its biodegradability has not been tested.

Keywords: *Drilling Fluid, Recycling, Drilling Lubricants, Acid Treatment, Physico-Chemical Properties.*

Introduction Générale

Introduction générale

Les opérations de forage dans l'industrie pétrolière et gazière reposent en grande partie sur les performances des fluides de forage, dont les fonctions incluent le nettoyage du puits, le maintien des parois, le refroidissement des outils et la lubrification. Parmi ces fonctions, la lubrification joue un rôle clé pour réduire les frottements, prévenir l'usure des équipements et optimiser l'efficacité du forage. [1]

Parallèlement, la gestion des huiles lubrifiantes usagées, représente un défi écologique et économique intéressant. Ces huiles, souvent éliminées de manière non durable, pourraient pourtant être valorisées dans un contexte d'économie circulaire. Ce mémoire s'inscrit dans ce contexte dont l'objectif est le recyclage des huiles usagées pour les intégrer comme lubrifiants dans les fluides de forage à base d'eau (WBM). Cette approche vise à concilier performance technique, réduction des coûts et respect de l'environnement.

Ce mémoire contient :

- Une introduction générale,
- Un premier chapitre qui présente les principes fondamentaux des fluides de forage, détaillant leurs fonctions critiques telles que le nettoyage du puits, le maintien des parois, le contrôle des pressions, et leur composition variée (boues à base d'eau, d'huile, mousses, etc.),
- Un deuxième chapitre qui aborde le cycle de vie des huiles lubrifiantes, leurs impacts sur la santé humaine et l'environnement et les méthodes de leur recyclage (telles que le traitement acide ou la distillation sous vide).
- Un troisième chapitre qui décrit les expériences de traitement des huiles usagées par acidification, les résultats obtenus ainsi que la comparaison entre les propriétés des huiles traitées et celles de quelques lubrifiants commerciaux des boues de forage pour avoir la possibilité d'utilisation de ces huiles comme alternatives à ces derniers,
- Une conclusion générale.

Chapitre I. Généralités sur les fluides de forage

Un élément majeur du succès des opérations de forage est la performance du fluide de forage. La mesure de la performance des fluides nécessite l'évaluation de tous les paramètres de forage clés et de leur coût associé. En termes simples, l'efficacité d'un fluide est jugée par son influence sur le coût global du puits. Ce chapitre est consacré à la présentation des différents principes fondamentaux des fluides de forage et de leurs performances dans l'assurance d'une opération de forage sûre et rapide avec un coût global minimal. [1]

I.1. Définition Fluide de forage

La boue de forage est un élément essentiel du processus de forage, elle joue un rôle essentiel dans la réussite des opérations de forage. Elle est conçue spécialement pour être utilisée pendant les opérations de forage afin de remplir plusieurs fonctions qu'on va les mentionnées ci-après.

Il s'agit d'un mélange d'eau, d'argile et de divers additifs, tels que des polymères, des tensioactifs et des agents alourdissant. La composition de la boue de forage peut varier selon le type de l'opération de forage, la formation en cours de forage et les réglementations environnementales. [2]

I.2. Les fonctions du fluide de forage

Les fluides de forage répondent à de nombreux besoins dans leur capacité à effectuer les opérations suivantes : [3]

- **Nettoyage du puits :** La circulation du fluide remontant dans l'annulaire tige/trou doit entraîner les déblais du front de taille jusqu'à la surface.
- **Le maintien des parois du trou foré :** La pression hydrostatique est contrôlée par la masse volumique de la boue. Cette pression doit être assez élevée pour maintenir les parois du puits mais pas trop grande pour éviter la fissuration de la roche.
- **Le contrôle des fluides des formations traversées :** Afin d'éviter le débit dans le sondage des fluides contenus dans les réservoirs rencontrés en cours de forage, la boue doit exercer une pression hydrostatique suffisante pour équilibrer les pressions de gisement. La pression hydrostatique souhaitée est maintenue en ajustant la densité entre des valeurs maximale et minimale.

- **Le maintien des déblais en suspension après arrêt de la circulation :** Pour permettre les ajouts de tige de forage, il faut stopper la circulation du fluide de forage. Pendant ce temps, les déblais en cours de remontée dans l'annulaire ne sont plus soumis au courant ascensionnel et peuvent sédimenter. C'est le caractère thixotrope du fluide de forage qui retient les déblais en suspension, par sa gélification lorsqu'il n'est plus en mouvement.
- **Dépôt d'un cake imperméable :** Grasse à la différence de pression entre le fluide et la formation forée, la boue va filtrer dans les formations perméables et dépose un film à la paroi appelé cake de filtration. Ce gâteau permet de réduire la perméabilité des parois et d'isoler le fluide de forage de la formation à moins que ce film ne doive pas être épais à fin d'éviter une diminution du diamètre nominal du trou et un risque de coincement de l'outil.
- **Refroidir et lubrifier de l'outil de forage :** L'outil de forage s'échauffe par la température de fond (degré géothermique) et par les frottements mécaniques transformés en calories. La circulation du fluide de forage joue le rôle de liquide de refroidissement, l'échangeur étant les bacs de surface du quartier boue. D'autre part, le fluide de forage diminue le coefficient de frottement entre la garniture de forage et la paroi du puits. On améliore parfois cette fonction par l'adjonction de produits anti-friction comme de l'huile ou des additifs spéciaux. [4]
- **La transmission de la puissance au moteur de fond :** Dans certains cas l'outil de forage est entraîné en rotation par le fluide de forage.
- **La remontée des informations géologiques :** Les déblais remontés par la boue sont la principale source d'information du géologue, ainsi que l'évolution physico-chimique du fluide de forage (pH, température, taux de chlorure, etc).
- **Corrosion, usure du matériel :** La boue ne doit pas être corrosive ni abrasive pour l'équipement car elle peut accélérer l'usure du matériel de sondage, par une action mécanique, si elle contient des matériaux abrasifs. Elle peut aussi être corrosive par une action électrolytique due à un déséquilibre chimique.

- **Toxicité et sécurité :** La boue de forage ne devra pas présenter de danger pour la santé du personnel ni créer de risques d'incendie, tout particulièrement dans l'utilisation de boues à base d'huile.

I.3. Le circuit de la boue dans le sondage

Selon [5], lors de l'opération de forage, la boue est en circulation continue, on peut décrire ce circuit comme suit (voir **Figure I.1**) :

- a) La boue est mélangée et conservée dans le bassin de décantation.
- b) Une pompe achemine la boue dans la tige de forage qui descend jusqu'au fond du puits.
- c) Elle sort de l'extrémité de la tige de forage et tombe au fond du puits où le trépan est en train de forer la formation rocheuse.
- d) Elle emprunte ensuite le chemin inverse en remontant à la surface les morceaux de roche, appelés déblais, qui ont été arrachés par le trépan.
- e) A la surface, la boue circule dans la conduite d'aspiration de la boue, une tige qui mène au tamis vibrant.
- f) Les tamis vibrants se composent d'un ensemble de crépines métalliques vibrantes servant à séparer la boue des déblais. La boue s'égoutte dans les crépines et est renvoyée vers le bassin de décantation.
- g) Un traitement plus élaboré est effectué par un ensemble d'équipements d'épuration mécanique.
- h) Les déblais de la roche glissent le long de la glissière du tamis pour être rejetés. En fonction des impératifs environnementaux, notamment, ils peuvent être lavés avant leur rejet. Une partie des déblais est prélevée pour être examinée par des géologues afin d'étudier les propriétés des roches souterraines présentes au fond du puits.

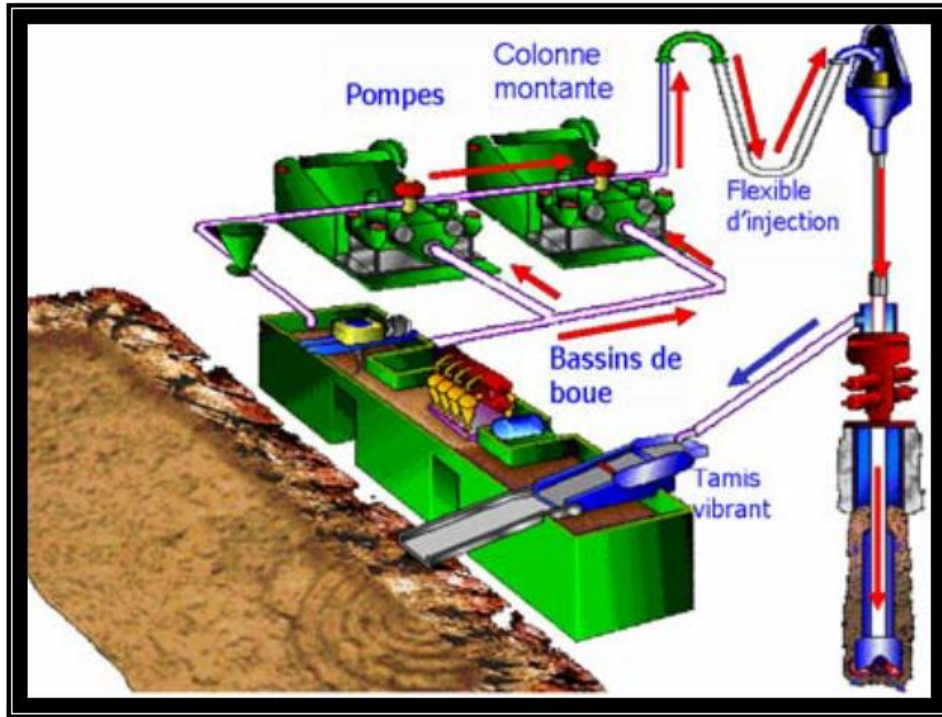


Figure I.2: Cycle du fluide sur le site de forage [7]

I.4. Types des fluides de forage

On peut, malgré la particularité de chaque formulation, classer les fluides de forage suivant la phase continue qui les compose. On retrouve ainsi :[6]

I.4.1. Les Boues à base d'eau (WBM)

Les fluides à base d'eau sont utilisés généralement pour forer 80% des puits environ. Le fluide de base peut être l'eau fraîche, l'eau de mer ou de l'eau de saumure. Le choix d'un type est fonction des conditions anticipées du puits.

I.4.2. Les fluides à base d'huile (OBM)

Le fluide de base peut être du gasoil, huile minérale ou des paraffines de faible toxicité. Ces systèmes sont des émulsions inverses de type eau/huile car l'huile constitue la phase continue.

I.4.3. Les mousses

Ces fluides sont formulés par injection d'eau et d'agents moussants créant ainsi une mousse stable et visqueuse. Ils sont intéressants par leur faible pression hydrostatique au fond et leur bonne aptitude à remonter les débris en surface, néanmoins ils possèdent un inconvénient majeur celui de ne pas refroidir les formations traversées et de ne pas former de cake sur les parois du puits.

I.4.4. Les fluides de forage à air –gaz

Ces systèmes de fluide sont composés d'air ou de gaz naturel mélangés avec de l'eau. Ils sont utilisés couramment dans les formations contenant des quantités importantes d'eau ou régié une pression élevée.

I.4.5. Les boues aérées

Ces fluides sont formés par injection d'air ou de gaz dans une boue. Le rôle cette boue est de réduire la pression hydrostatique, de prévenir les pertes de circulation dans les zones à faible pression, elle permet aussi d'augmenter le taux d'avancement du forage.

I.5. Principaux produits à boue

Pour donner au fluide de forage toutes les fonctions nécessaires au bon déroulement du forage, la formulation doit être réalisée avec une attention particulière. L'ajout de certains constituants va directement influencer telle ou telle fonction. : [7]

Plusieurs additifs sont recommandés pour une bonne formulation de la boue, on peut citer

I.5.1. Les viscosifiants

Sont représentés par des bentonites, des polymères synthétiques ou des biopolymères.

I.5.2. Les fluidifiants

I.5.2.1. Les lignosulfonates : Les lignosulfonates de ferrochrome fonctionnent pratiquement, dans toutes les boues à base d'eau. Ces produits possèdent la particularité de se comporter, comme un fluidifiant entre 2 et 8 g/l de concentration, et comme un inhibiteur de gonflement et de dispersion des argiles à des doses plus élevées.

Les autre fluidifiants et défloculants est Les poly phosphates, Les tanins, Les lignines Chromées.

I.5.3. Les réducteurs de filtrat

On utilise des amidons, des carboxyméthylcelluloses (CMC), des celluloses poly anioniques (PAC) ou des résines qui sont employées pour consolider le cake de filtration et minimiser ainsi l'invasion.

I.5.4. Les inhibiteurs de gonflement et de dispersion des argiles

On peut citer le chlorure de potassium (KCl), le glycérol, les silicates, divers polymères comme le polyacrylamide partiellement hydrolysé (PHPA), les polyalkylèneglycols (PAG).

I.5.5. Les alourdissant

Comme la barytine ("barite" ou sulfate de baryum BaSO_4) et la calcite (carbonate de calcium CaCO_3) qui sont les plus utilisés pour assurer à la boue une densité convenable. On note aussi l'utilisation de l'hématite (Fe_2O_3) ou de la galène (PbS). La calcite est souvent recommandée pour le forage de la phase réservoir à cause de sa solubilité dans l'acide et de son utilisation selon une granulométrie variable pour réduire les problèmes de pertes et d'endommagement.

I.5.6. Les colmatant

Additifs plutôt exotiques comme des granuleux (coquilles de noix), des fibreux (fibres de bois, canne à sucre), et des lamellaires (coquilles d'huîtres, céréales).

I.6. Propriétés des fluides de forage

Tout comme la formulation des boues, le contrôle et la caractérisation des boues de forage sont réalisés selon des normes précises éditées par l'API. Les tests relatifs à l'étude des caractéristiques des fluides de forage sont généralement basés sur quatre paramètres : densité, viscosité, filtrat et réactivité.

Certaines mesures sont réalisées systématiquement sur tous les forages (viscosité, densité, filtration) et d'autres en fonction des besoins (taux de gaz, alcalinité). A partir des mesures réalisées et des connaissances acquises, on ajuste si nécessaire la composition de la boue en "temps réel" en ajoutant certains produits ou en reformulant la boue.

I.6.1. . Densité

La densité est un paramètre important des boues de forage. Elle doit être suffisamment élevée pour que la pression hydrostatique exercée par boue sur les formations et les fluides qu'elles contiennent empêche l'éboulement des formations et les venues de fluides. Mais, Elle ne doit pas être trop élevée pour que la pression hydrostatique soit inférieure à la résistance des roches en tout point du découvert, afin de ne pas créer des fractures dont une des conséquences est la perte de circulation puis la venue possible d'un fluide.

I.6.2. La viscosité

La viscosité dépend avant tout de la teneur en solides contenue dans la boue et de la présence des polymères. Une augmentation de viscosité ne pourra donc être combattue que par l'élimination de solides.

I.6.3. Filtration de la boue

Lorsque la boue est en contact avec des parois plus ou moins poreuses, la partie liquide filtre dans la formation tandis que la partie solide se dépose sur les parois en formant le cake, jusqu'à ce que l'épaisseur du cake empêche la filtration. Ainsi, plus le cake se forme rapidement, moins la formation est envahie.

Le cake a donc pour avantage de colmater les formations poreuses, et évite les pertes de boue. Par contre, une filtration trop importante peut entraîner un délitage des formations délicates, une invasion des réservoirs et un cake trop épais qui peut coincer la garniture.

Chapitre II. Lubrification et recyclage des huiles usées

L'huile de lubrification est formulée d'une base, dopée d'un paquet d'additifs, convenablement choisis pour qualifier le lubrifiant à assurer sa fonction requise. L'huile est exposée lors de son utilisation, à des phénomènes désagréables générés par le fonctionnement du moteur et des conditions diverses. Ces phénomènes agissent de manière néfaste sur ses propriétés physico-chimiques de l'huile qui finit par perdre sa qualité lubrifiante. [8] Ce chapitre présente d'une manière générale la lubrification, la composition et les propriétés des huiles de moteurs, les différents mécanismes de contamination et de dégradation associés.

II.1. Lubrification de moteur

II.1.1. Définition

Le lubrifiant est un élément solide, liquide ou gazeux qui en s'interposant entre deux surfaces en contact permet de diminuer le coefficient de frottement entre celles-ci. Cette réduction de frottement implique en général une diminution de l'usure, donc de la dégradation des surfaces frottement par conséquent une augmentation de la longévité du système [9].

II.1.2. La composition de l'huile moteur

Les huiles lubrifiantes actuellement utilisées dans les moteurs sont généralement constituées d'un fluide de base appelé « huile de base » qui peut être d'origine minérale, synthétique, semi-synthétique ou végétale auquel sont ajoutés de nombreux additifs (1- 25%) dont la nature varie avec la destination du produit.



Figure II.1: La composition des huiles lubrifiantes des moteurs. [10]

Les huiles de base sont soit :

- **des huiles minérales** : Ce sont des huiles qui proviennent de la distillation du pétrole brut..
- **des huiles de semi synthèse** : Les huiles de semi synthèse s'obtiennent à partir d'un mélange d'huiles minérales et d'huiles de synthèse (généralement 70 à 80% d'huile minérale et 20 à 30% d'huile de synthèse).
- **Les huiles de synthèse ou synthétiques** : Dans le cas de l'huile synthétique, on fabrique la molécule dont on a précisément besoin. Si bien que l'on obtient une huile de base dont le comportement est voisin de celui d'un corps pur. En créant un produit dont les propriétés physiques et chimiques sont prédéterminées, on fait mieux que la nature.

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

Ces huiles elles offrent des performances supérieures telles que : un indice de viscosité plus élevé, meilleure tenue thermique et une meilleure résistance à l'oxydation. [11]

II.1.2. Déclassement des huiles lubrifiantes pour moteurs

Pour remplir sa fonction, le lubrifiant doit avoir des caractéristiques physico-chimiques déterminées. Or ces caractéristiques se trouvent modifiées sous l'action de phénomènes de contamination et dégradation qui finissent par rendre l'huile inapte à son emploi.

Elle se manifeste essentiellement sous deux formes :

II.1.2.1. Contamination liquide :

- L'eau est le contaminant le plus fréquent et le plus destructeur pour l'huile. Elle augmente avec le temps et peut causer de l'oxydation, réduire la viscosité et provoquer la corrosion des surfaces métalliques.
- L'eau peut également réagir avec certains additifs du lubrifiant, les déstabilisant et les rendant insolubles. La limite admissible est de 0,2 % à 1000 km.
- La dilution excessive de l'huile par l'essence ou le gasoil réduit la viscosité et peut affecter le graissage et la sécurité des moteurs. Une vidange est nécessaire si la teneur en diluant dépasse 5 %. [12]

II.1.2.2. Contamination solide :

- Les particules d'usure des métaux (aluminium, acier, fonte, cuivre, nickel, chrome, etc.) générées par les frottements des éléments mobiles.
- Les poussières atmosphériques introduites lors de l'ouverture du réservoir pour contrôler le niveau d'huile ou effectuer une vidange.
- Les résidus de combustion, incluant les matières charbonneuses issues de la décomposition des lubrifiants et la silice.
- Cette pollution solide peut être générée (usure, décomposition des lubrifiants), ingérée (lors de l'entretien ou par l'environnement), ou dû à la construction (usinage, soudure, peinture). [12]

II.2. Le recyclage des huiles usées

Le recyclage des lubrifiants usagés a été pratiqué à des degrés divers depuis les années 1930 et en particulier au cours de la seconde guerre mondiale, lorsque la rareté des approvisionnements adéquats en pétrole brut pendant le conflit a encouragé la réutilisation de tous les types de matériaux, y compris les lubrifiants [13].

Le principe de recyclage est basé sur les étapes suivantes :

- Ré-raffinage des huiles usagées pour obtenir une huile de base ;
- Récupération des huiles usagées pour une réutilisation directe ;
- Brûlage après retraitement des huiles usagées
- Combustion directe ou incinération. [14]

II.2.1. Les méthodes du traitement d'huile usées

Les différents procédés existants sont décrits ci-dessous :

- La méthode du traitement acide/terre.
- La méthode de distillation sous vide et l'hydrogénation.
- La méthode de distillation sous vide et le traitement des sols.

II.2.1.1. Procédés de traitement 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.

Les étapes élémentaires de ce procédé se présentent comme suit :

- Distillation : c'est une phase d'élimination d'eau et d'hydrocarbures légers.
- Traitement acide : ce qui permet d'éliminer certaines impuretés telles qu'additifs de viscosité et agent tensio-actif.
- Traitement en terre : ce qui améliore la couleur et les odeurs des huiles obtenues.
- Filtration : c'est une séparation de terre et d'huile.
- Distillation sous vide : ce qui permet d'obtenir différentes fractions réutilisables en tant qu'huile régénérée. [15]

La **Figure II-2** présente un résumé des étapes de ce procédé :

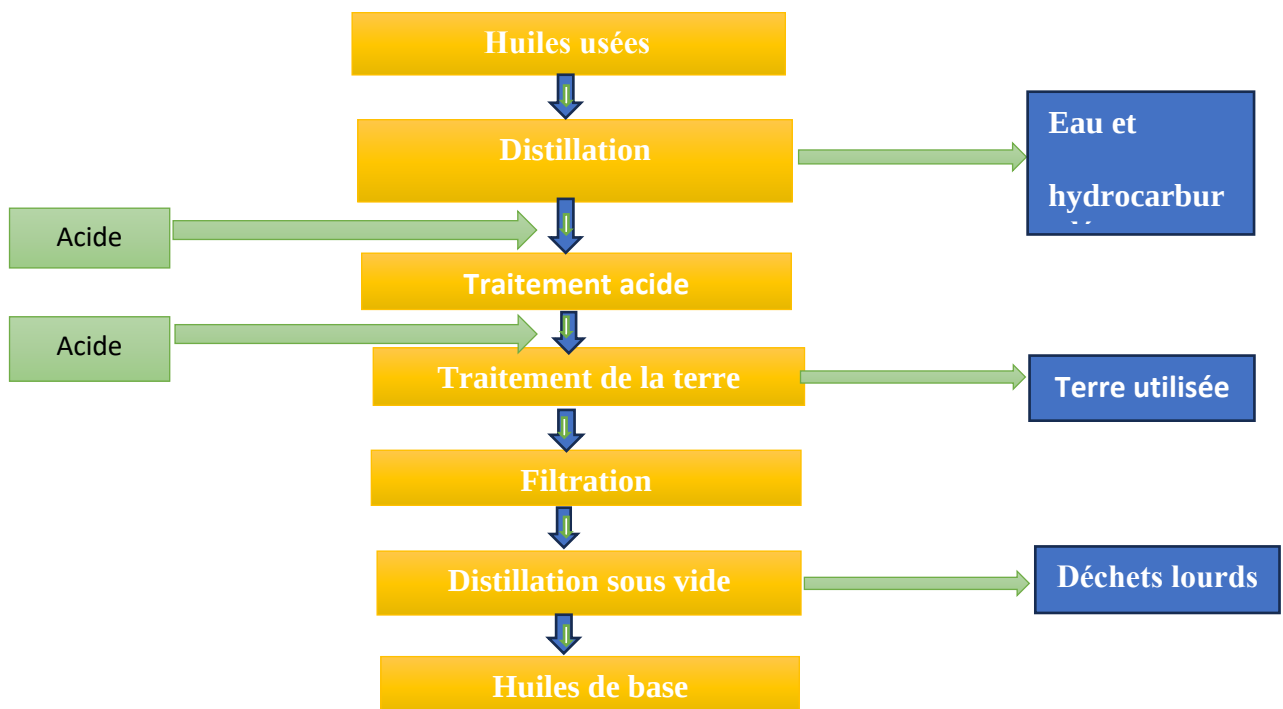


Figure II.2 : Diagramme de processus de traitement des huiles usagées en acide/terre. [15]

II.2.1.2. Procédés de distillation sous vide et d'hydrogénation

Ces procédés sont les plus répandus en Italie, où 93 % des déchets pétroliers collectés sont traités avec ces technologies. [16]

La (Figure II.3) offre un aperçu général des technologies basées sur la distillation sous vide et l'hydrogénation.

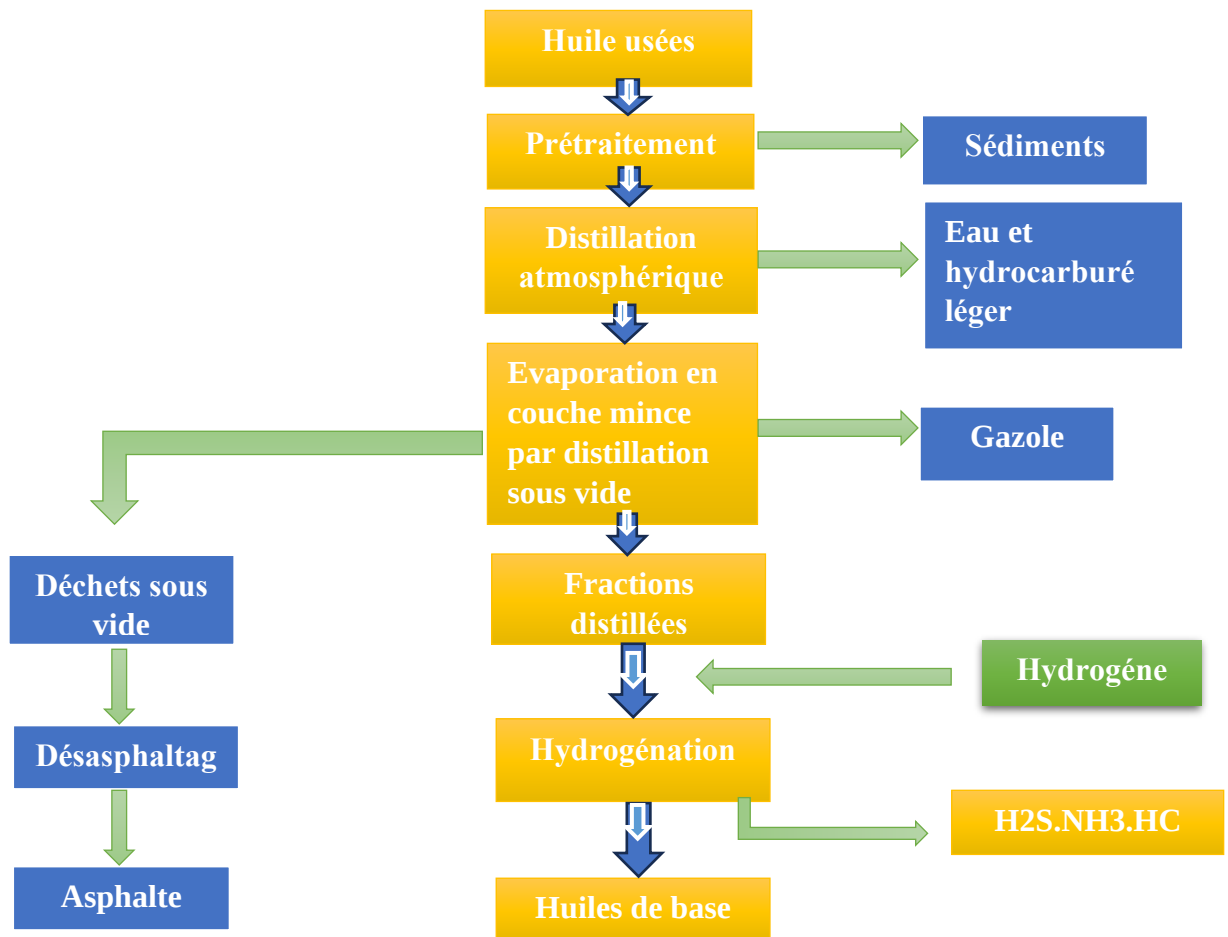


Figure II.4 : Schéma des processus de distillation sous vide et d'hydrogénation. [16]

II.2.1.3. Procédés de distillation sous vide et de traitement des terres

- **Technologie Viscolube**

La technologie Viscolube, aussi appelée TDA, repose sur l'utilisation du propane, suivie de la distillation sous vide et d'un traitement final des résidus. La première usine employant cette technologie a été inaugurée à Pieve Fissiraga (Milan, Italie) en 1992, et deux autres ont été établies depuis, une en Pologne en 1994 et une autre en Italie en 1995. [17]

Les phases fondamentales du processus sont illustrées dans la **Figure II.5**

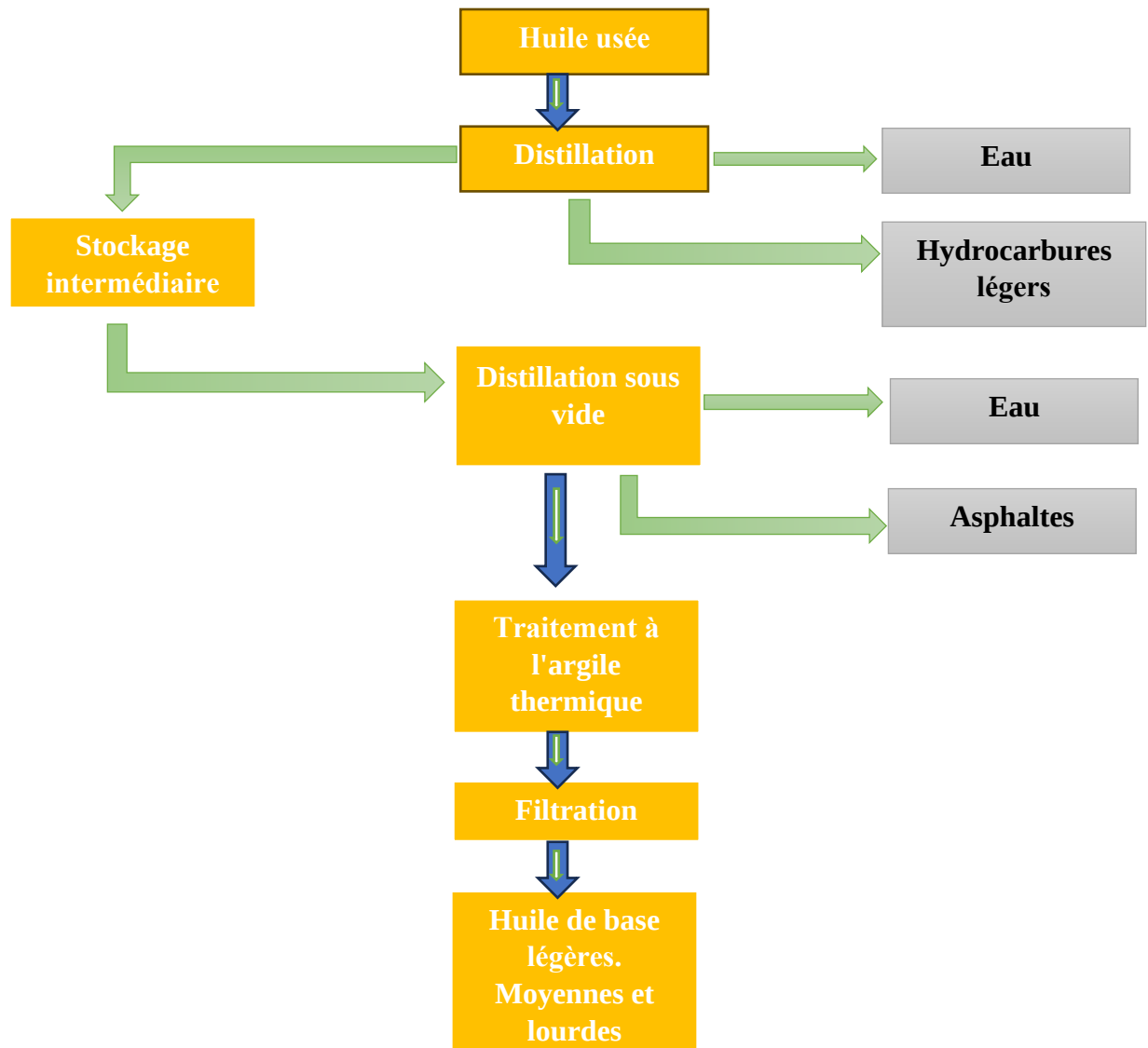


Figure II.6:Diagramme de la technologie Viscolube. [17]

II.3. L'impact sur la santé humaine et sur l'environnement des huiles usées

Certains contaminants concentrés dans les huiles usagées doivent faire l'objet d'une attention particulière en raison de leurs impacts négatifs sur la santé humaine et l'environnement. Les risques liés aux impacts de ces contaminants sont un élément majeur de la gestion durable des huiles usagées. Les techniques de gestion des huiles doivent donner la priorité à la réduction de ces risques à toutes les étapes de leur cycle de vie. [18]

La combustion à l'air libre est une méthode d'élimination des huiles usagées particulièrement préoccupante en raison de la production non contrôlée de cendres (contenant des métaux lourds) et d'émissions (comprenant des dioxines, des furanes, du monoxyde de carbone, des oxydes de soufre et des composés organiques). Les émissions peuvent se déposer dans les sources d'eau, s'accumuler dans les sols, persister dans la chaîne alimentaire et avoir un impact sur la santé humaine. Des contrôles stricts des émissions doivent être mis en place pour tous les systèmes de traitement des huiles usagées. [18]

Chaque pays aura des contrôles législatifs différents pour minimiser les impacts négatifs des huiles usagées. Il convient de les consulter lors du processus de prise de décision concernant les techniques de gestion des huiles usagées.

L'exposition aux huiles usagées peut entraîner les effets suivants :

- La contamination de l'eau potable avec des concentrations aussi faibles que 1 ppm.
- La destruction des ressources alimentaires et des habitats naturels.
- Les incidences sur la faune locale, notamment la contamination par des éléments toxiques, l'altération de la reproduction, les lésions du tractus intestinal, la réduction de l'isolation de la fourrure et de la déperlance des plumes.
- Des dommages chroniques et aigus pour la santé humaine.

Ainsi, les huiles usagées présentent un risque pour la santé humaine notamment en raison des propriétés suivantes :

- Cancérigène, génotoxique et phytotoxique.
- Répercussions sur les systèmes immunologique et reproducteur.
- Dommages aux reins, au foie, au cœur, aux poumons et au système nerveux.



Figure II.7: *L'impact des huiles usagées sur l'environnement. [10]*

II.4. Lubrifiants pour les fluides de forage

II.4.1. . Définition

Le contrôle de la lubrification du fluide de forage devient extrêmement important dans les trous soumis à un couple et une traînée importante. Ces problèmes sont plus prononcés dans un trou directionnel ou excessivement dévié, et des efforts considérables ont été consacrés à leur solution. L'application de lubrifiante extrême pression (EP) dans les fluides de forage a été conçue pour la première fois en 1958. Ces lubrifiants ont été introduits à l'origine pour augmenter la durée de vie du trépan mais, au fur et à mesure de l'avancement des travaux, des réductions notables du couple et de la traînée ont élargi le développement de lubrifiants pour fluides aqueux.

Le problème associé au développement de lubrifiants efficaces provient du fait que certains produits lubrifiants forment une bonne couche limite de protection mais, sous des pressions extrêmes et les températures élevées associées produites par le frottement, ces lubrifiants se décomposent. [1].

II.4.2. Lubrifiants de forage : types et composition

Les lubrifiants de forage sont des substances spécialement formulées pour résister aux températures, pressions et conditions environnementales élevées rencontrées lors du forage. Ces lubrifiants sont composés d'une variété d'huiles de base synthétiques et naturelles, ainsi que d'additifs qui améliorent leurs performances.

Explorons quelques-uns des types de lubrifiants de forage couramment utilisés :

II.4.2.1. Lubrifiants à base de boue à base d'eau

Ces lubrifiants sont largement utilisés dans les opérations de forage en raison de leur rentabilité et de leur disponibilité. Les lubrifiants à base de boue à base d'eau contiennent de l'eau comme fluide de base, ainsi que divers additifs tels que des argiles, des polymères et des tensioactifs. Ces lubrifiants offrent de bonnes propriétés de refroidissement et de lubrification, contribuant ainsi à minimiser la friction et à prolonger la durée de vie des équipements de forage. Ils sont particulièrement adaptés au forage dans des formations molles.

II.4.2.2. Lubrifiants à base d'huile

Les lubrifiants à base d'huile sont principalement composés d'huile, soit d'huile minérale, soit d'huile synthétique, comme fluide de base. Ces lubrifiants offrent une lubrification et une stabilité de température supérieures par rapport aux lubrifiants à base d'eau. Ils sont couramment utilisés dans les opérations de forage qui impliquent de forer à travers des formations dures ou dans des conditions de température extrêmes. Les lubrifiants à base d'huile offrent également une meilleure stabilité du gâteau mural et peuvent aider à prévenir les dommages causés par la formation.

II.4.2.3. Lubrifiants à base synthétique

Les lubrifiants à base synthétique constituent une catégorie spéciale de lubrifiants entièrement synthétiques et offrent des performances élevées dans les applications de forage. Ils sont généralement composés d'huiles de base synthétiques et d'additifs avancés qui offrent une lubrification, une stabilité thermique et une résistance à la corrosion supérieure. Les lubrifiants à base synthétique sont préférés dans les opérations de forage très exigeantes, telles que le forage en eau profonde ou le forage à des températures extrêmes. [19]

II.4.2.4. Graisses

Les graisses sont des lubrifiants semi-solides constitués d'une huile de base épaissie avec un savon ou d'autres épaississants. Ils sont couramment utilisés dans les opérations de forage impliquant un forage vertical ou horizontal. Les graisses offrent une excellente adhérence et restent en place pendant une période plus longue, fournissant une lubrification continue aux composants de forage critiques.

II.4.3. Importance des lubrifiants dans le forage

Maintenant que nous avons discuté des différents types de lubrifiants utilisés dans le forage, comprenons leur importance dans le processus de forage :

❖ Réduction de la friction

L'une des principales fonctions des lubrifiants est de réduire la friction entre les pièces mobiles. Pendant le forage, divers composants, tels que les trépan, les tiges de forage et les tubages, sont soumis à des pressions et des forces de rotation extrêmes. Les lubrifiants créent un film mince entre ces composants, réduisant ainsi la friction et la génération de chaleur. Cela évite non seulement une usure excessive, mais rend également le processus de perçage plus économe en énergie.

❖ Stabilité thermique

Le forage génère des quantités importantes de chaleur en raison de la rotation à grande vitesse du for et de la friction entre l'outil de forage et le puits de forage. Une chaleur excessive peut endommager l'équipement de forage et affecter ses performances. Les lubrifiants ayant une bonne stabilité thermique aident à dissiper efficacement la chaleur, évitant ainsi les pannes d'équipement et garantissant des opérations de forage sûres.

❖ Prévention de la corrosion

Les opérations de forage ont souvent lieu dans des environnements corrosifs, tels que l'eau salée ou des formations acides. Les lubrifiants avec additifs anticorrosion forment une barrière protectrice sur les surfaces métalliques, empêchant la corrosion et prolongeant la durée de vie de l'équipement. Ceci est particulièrement crucial pour les opérations de forage offshore où l'exposition à l'eau de mer constitue une préoccupation majeure.

❖ Protection du joint et de la formation

Les lubrifiants utilisés lors du forage peuvent également servir de barrière ou de joint entre le puits de forage et la formation forée. Par exemple, les boues lubrifiantes à base d'huile forment un gâteau de filtration sur les parois du puits de forage, empêchant ainsi l'invasion des fluides et maintenant l'intégrité du puits. De plus, les lubrifiants peuvent contribuer à réduire les dommages causés à la formation en empêchant la perte de fluides de forage dans la formation.

II.4.4. Les caractéristiques physico-chimiques des Lubrifiants

Les propriétés des huiles lubrifiantes pour moteur se classent en deux groupes :

- ❖ Les caractéristiques d'identification et d'utilisation (fonctionnement).
- ❖ Les caractéristiques de performances.

Les caractéristiques d'identification (densité, indice de réfraction, point d'écoulement, etc.) et d'utilisation, sont des propriétés physiques et/ou chimiques, habituellement désignées « propriétés physico-chimiques ». Nous avons par exemple de la compressibilité, de la viscosité dynamique... Ici nous allons étudier quelques caractéristiques et propriétés des huiles pour moteur sans tenir compte de ce classement.

II.4.4.1. La viscosité

La viscosité est la caractéristique la plus importante d'un fluide, et surtout pour les huiles moteur. Elle est définie comme le rapport de la force de cisaillement et l'épaisseur des films d'huile. La viscosité se caractérise par la résistance du fluide à l'écoulement aux fortes températures. [20]

II.4.4.2. Point d'écoulement

Le point d'écoulement d'une huile est la température la plus basse à laquelle l'huile coule encore lorsqu'elle est refroidie sans agitation, dans des conditions normalisées. La connaissance du point d'écoulement permet de définir les limites de température à respecter dans la mise en œuvre des produits, en particulier dans les régions froides et ce pour éviter la congélation de l'huile dans le moteur et pour les problèmes de démarrage à froid. [20]

II.4.4.3. Point 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 [13].

II.4.4.4. La 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 [13].

II.4.4.5. La couleur

C'est par transparence que l'on évalue la couleur d'une huile en le comparant à celles de verres étalons [21]

II.4.5. Considérations relatives à la sécurité et à l'environnement

Si les lubrifiants sont essentiels aux opérations de forage, il est crucial de considérer leur impact sur la sécurité et l'environnement. L'industrie pétrolière et gazière a travaillé avec diligence pour développer des lubrifiants respectueux de l'environnement qui offrent les performances souhaitées tout en minimisant les dommages à la santé humaine et à l'environnement. Voici quelques considérations clés :

➤ Biodégradabilité

Les lubrifiants à base d'eau sont généralement plus biodégradables que les lubrifiants à base d'huile. Les lubrifiants biodégradables se décomposent naturellement avec le temps, minimisant ainsi l'impact environnemental.

➤ Toxicité

Les lubrifiants doivent avoir de faibles niveaux de toxicité pour éviter de nuire aux travailleurs et à l'environnement. Des tests rigoureux sont effectués pour garantir que les lubrifiants utilisés dans les opérations de forage répondent aux normes réglementaires en matière de toxicité.

➤ Gestion des déversements

En cas de déversement de lubrifiant, des procédures appropriées doivent être en place pour contenir et nettoyer efficacement le déversement. Ces procédures minimisent le risque de contamination de l'environnement et de dommages à la faune. [19].

Chapitre III. Traitement et caractérisation d'huile usée

Afin de réaliser l'objectif du présent travail, qui est l'obtention d'une huile traitée pour l'utiliser comme une alternative moins chère et respectueuse de l'environnement dans les boues de forage à base d'eau (comme lubrifiant), nous avons réalisés quelques expériences aux niveaux de laboratoire de Géologie de l'université. Nous avons collecté trois échantillons des huiles de moteurs usagées 15W40, 5W30 et 15W40(SHELL) ensuite nous avons les traités en utilisant le procédé de traitement par l'acide sulfurique.

Dans le présent chapitre, nous allons décrire les travaux expérimentaux réalisés.

III.1. Matériels et Méthodes

III.1.1. Matériels utilisés

Les équipements utilisés pour effectuer le traitement des huiles usées sont montrés dans la figure suivante :

		
Entonnoir	Béchers	balance électronique
		
Papier filtre	Erlenmeyer	Ballon à fond rond

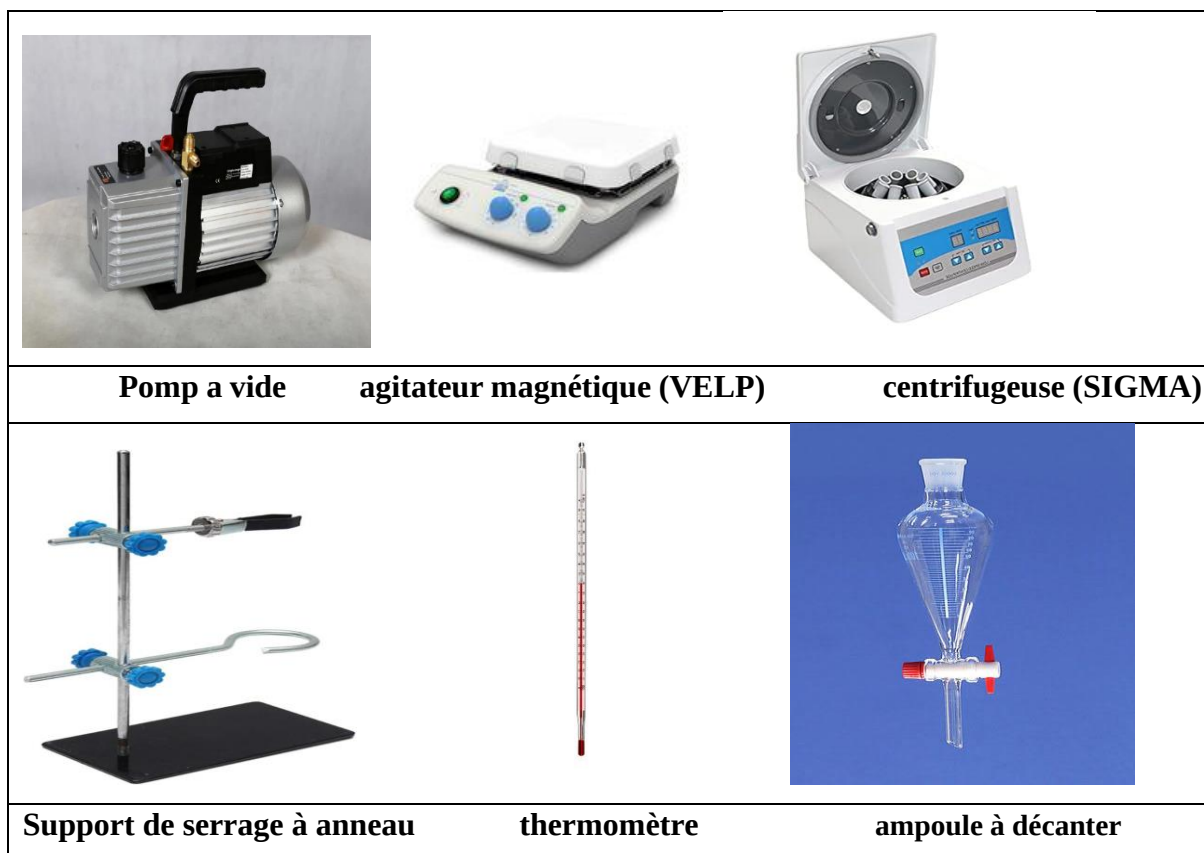


Figure III.1: Matériels utilisés..

III.2. Procédure du traitement par acide H_2SO_4

Pour éliminer les impuretés de l'huile lubrifiante usées, diverses expériences ont été menées de manière systématique. En appuyant sur la diversité des expériences et des recherches menées précédemment par les scientifiques, nous avons sélectionné certaines méthodes comme base pour notre travail expérimental. Les étapes de processus de traitement adapté sont montrées dans la figure (III.2) [22].

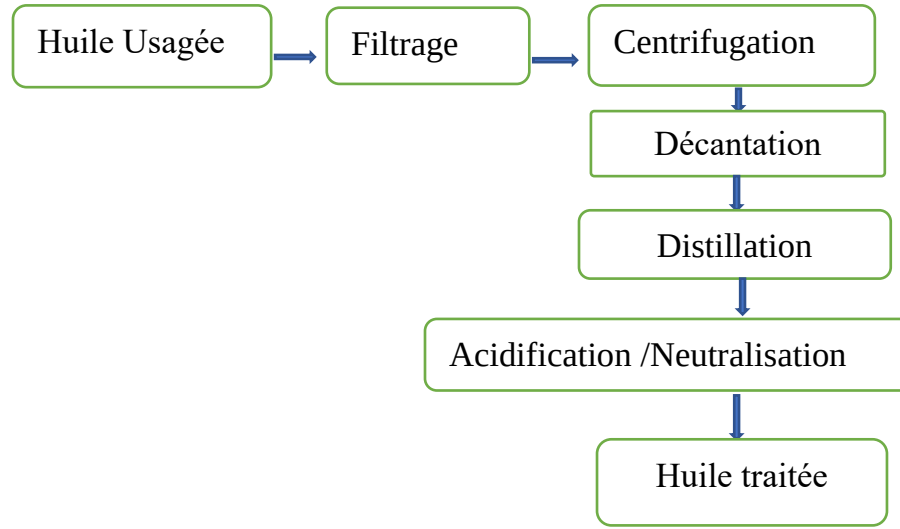


Figure III.2: Etapes de processus du traitement. [22].

III.2.1. Filtration sous vide

La filtration sous vide est une technique rapide de séparation des solides et des liquides, utilise une différence de pression créée par un vide partiel pour aspirer le liquide à travers un filtre, retenant ainsi les particules solides. Ce type de filtration est couramment utilisé en laboratoire pour des liquides visqueux comme les huiles, car il est plus rapide et plus efficace que la filtration gravitationnelle simple.

Pour les trois échantillons d'huile usées nous avons filtré deux litres, à l'aide de l'équipement de filtration sous vide décrit ci-dessous. Le système est composé d'une fiole à vide ou de Büchner reliée à la pompe à vide avec un tube en raccord, d'un entonnoir en verre, des colliers et d'un papier filtre pour retenir les impuretés solides.

Une fois que l'huile usée a été versée dans l'entonnoir, une pompe à vide génère une dépression dans la fiole, qui accélère l'ensemble du processus de filtration. Cela garantit que les particules solides en suspension dans l'huile séparée. Par conséquent, l'huile devient claire. (Voir la figure ci-dessous).



Figure III.3: *Le montage de filtration sous vide.*

III.2.2. Centrifugation

Après avoir filtré les huiles usées, 450 ml de deux échantillons à traiter à savoir celle de type 5W30 et de type 15W40, ont été prélevés, à chacun, nous avons ajouté 150 ml d'essence, afin de réduire la viscosité de faciliter et améliorer la distillation.

Les volumes sont agités mécaniquement en utilisant un agitateur magnétique pendant 5 minutes à la température ambiante jusqu'à obtention de mélanges homogènes, la figure (III.4)



Figure III.4: *agitation mécanique par agitateur magnétique*

Ensuite, les mélanges ont été versés dans des tubes et posés dans une centrifugeuse la figure (III.5) pendant quelque minute à une vitesse de 1500 tr/min. Les fractions solides, les impuretés lourdes et l'eau résiduelle sont par conséquent séparées en fonction des différences de densité, formant les couches sous l'effet de la force centrifuge.



Figure III.5: centrifugeuse.

III.2.3. Décantation

Une fois la centrifugation est achevée, les échantillons d'huile sont laissés au repos pendant 30 minutes pour permettre une décantation partielle. Cette démarche vise à pousser les phases restantes à se séparer gravitationnellement. Elles comprendraient notamment les microgouttelettes d'eau, les résidus lourds ou toute autre impureté non filtrée. En dehors de son effet désiré, la décantation permet de clarifier davantage l'huile en faisant appel à la différence de densité entre les constituants. La phase supérieure, principalement constituée d'huile nettoyée,

III.2.4. Distillation sous vide

Après la séparation de la phase huileuse, celle-ci est distillée sous vide pour éliminer les composés volatils restants. Cette étape est cruciale car elle permet de supprimer la majeure partie de l'essence additionnée et une petite fraction des solvants restants sans dénaturer les constituants thermosensibles de l'huile.

Le montage de distillation (montré dans la figure ci-dessous) comprend un ballon chauffant, un condensateur et une pompe à vide. Les conditions opératoires sont soigneusement contrôlées de manière à ce que la séparation des solvants résiduels et des composés légers indésirables ne sont ciblés.



Figure III.6: montages de distillation sous vide.

III.2.5. Acidification /Neutralisation

L'huile résulte de distillation sous vide est laissée refroidie à la température ambiante ensuite on y ajoute 10 ml d'acide sulfurique concentré, H_2SO_4 à 98%. Le mélange acide/échantillon est ensuite agité pendant 20 minutes sur la plaque chauffante à l'aide d'un agitateur magnétique pour garantir un contact uniforme de l'huile et de l'acide.



Figure III.7 : agitation mécanique d'huile traitée et l'acide

Ce traitement acide vise à précipiter les impuretés résiduelles, les composés oxydés et les sous-produits de dégradation présents dans l'huile. Après agitation, le mélange est transféré dans une ampoule à décanter où il est laissé au repos pendant 48 heures. Cette longue période de décantation permet une séparation claire entre la phase huileuse et les sous-produits acides, qui se déposent en bas de l'ampoule.

Après l'ajout d'acide, aucun processus de séparation de l'huile n'a eu lieu, ce qui signifie que l'expérience a échoué, De quoi augmenter la viscosité de l'huile due à l'acide concentré !

Neutralisation

Après le traitement par l'acide sulfurique on ajoute l'hydroxyde de sodium pour la neutralisation de l'acide restant dans l'huile usée.

Pour neutraliser l'huile usée qui traitée par l'acide, nous avons préparé 100ml de NaOH à 10%.

Dans l'ampoule à décanter qui contient l'huile prétraitée restent on ajout de solution Na OH sans agitation du mélange pendant 30 min



Figure III.8: *Neutralisation de l'acide.*

Remarque importante

Nous avons suivi le protocole décrit ci-dessus pour traiter l'échantillon 15W40 et 5W30 cependant, nous n'avons aucun résultat, ensuite nous avons suivi un autre protocole de traitement, celui réalisé dans la référence. [21]

Le tableau (III.1) résume des trois protocoles suivis.

Tableau III-1: Les différents protocoles suivis dans nos expériences.

	Protocole 1	Protocole 2	Protocole 3
Filtration	existe	existe	existe
Centrifugation	existe		Existe
Distillation	existe		Existe
Ajout de H₂SO₄ à 98%	10ml	10ml, 20ml, 40ml	15ml
Ajout de NaOH à 10%	100ml en 30min	33ml en 24	50ml en 24
Temps	48H	48H	72H

III.3. Résultats et discussions

Portant que nous avons réalisé trois protocoles différents de traitement par l'acide, mais malheureusement nous n'avons accédé à aucun résultat positif, aucune séparation, aucune décantation ont lieu !

Pour cela, nous avons dû emprunter les résultats d'autres travaux, à rappeler, l'objectif de notre travail est de traiter une huile de moteur usée et de la caractériser (en mesurant ses propriétés (viscosité, densité et point de clarté) et de comparer ces propriétés avec celles des lubrifiants des boues de forage afin de voir la possibilité d'utilisation de cette huile recyclée comme une alternative moins chère et préférable pour l'environnement.

Tableau III-2: Résultats des tests de référence [22].

Caractéristiques	Huile neuve	Huile traitée	Huile usée
Type d'huile utilisée	20w50		
Viscosité cinématique (mm ² /s) à 40 °C	155.97	135.93	121.14
Viscosité cinématique (mm ² /s) à 100 °C	18.03	14.95	13.20
Indice de viscosité	129	147	106
Point d'écoulement (°C)	-9	-9	-12
Point d'éclair (°C)	235	220	160
Densité	0.875	0.784	0.895

Tableau III-3: Résultats des travaux de la référence [23].

Caractéristiques	Huile neuve	Huile traitée	Huile usée
Type d'huile utilisée	15w40		
Viscosité Cinématique (mm ² /s) à 40°C	103.5	70.96	47.71
Point d'écoulement (°C)	-9.6	-10	-11.6
Point d'éclair (°C)	180	178	151
Densité	0.875	0.8726	0.883
Teneur en eau (%)	0.1	0.4	0.7

III.3.1. Viscosité

L'augmentation de la viscosité peut se produire en raison de l'oxydation ou à cause d'une contamination avec des éléments insolubles [22]. Selon la figure (III .8), nous pouvons constater une diminution de la viscosité cinématique de l'huile usagée, cela est dû à la contamination sous forme de boues de l'huile usagée. En général, l'huile est considérée comme inapte au service, si la viscosité originale augmente ou diminue considérablement.

Une diminution de la viscosité peut être causée par dilution de l'huile avec du carburant léger. Le résultat de l'essai de viscosité montre que l'huile usagée a perdue plus de sa viscosité en raison de la contamination. Cependant, le traitement a restauré à l'huile sa viscosité d'origine.

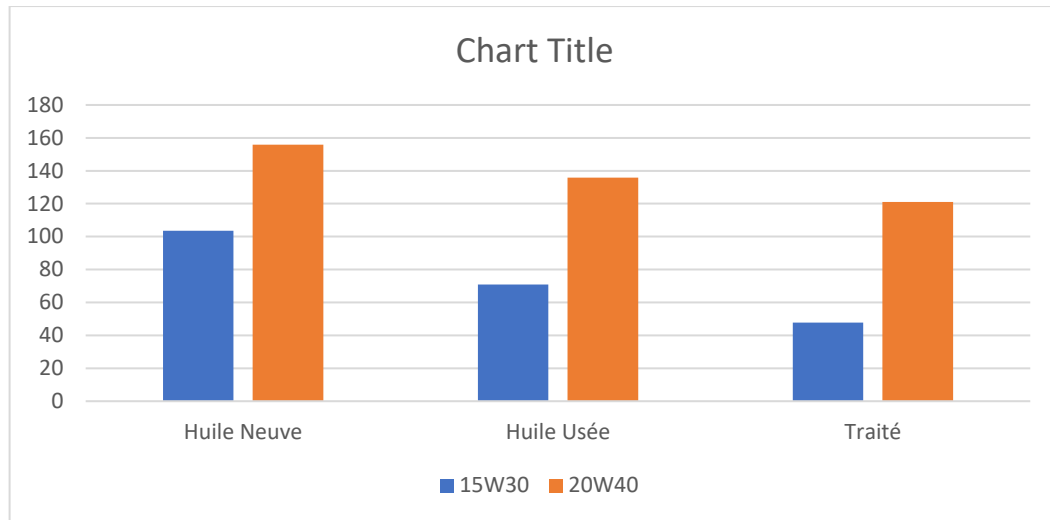


Figure III.9: Effet du traitement sur la viscosité cinématique. [22] [23]

III.3.2. Point d'écoulement

Le point d'écoulement et de congélation sont reliés aux quantités de paraffines présentes dans l'huile. À partir des résultats obtenus, on constate que le point d'écoulement d'huile de lubrification usagée est élevé à cause de la dégradation des additifs dans l'huile de lubrification [23]. Le point d'écoulement est d'un intérêt particulier, lorsque l'huile fonctionne dans des conditions relativement froides. La méthode de traitement à l'acide s'est révélée efficace en comparant le point d'écoulement de l'huile traitée à celle d'une huile neuve (**Figure III .9**).

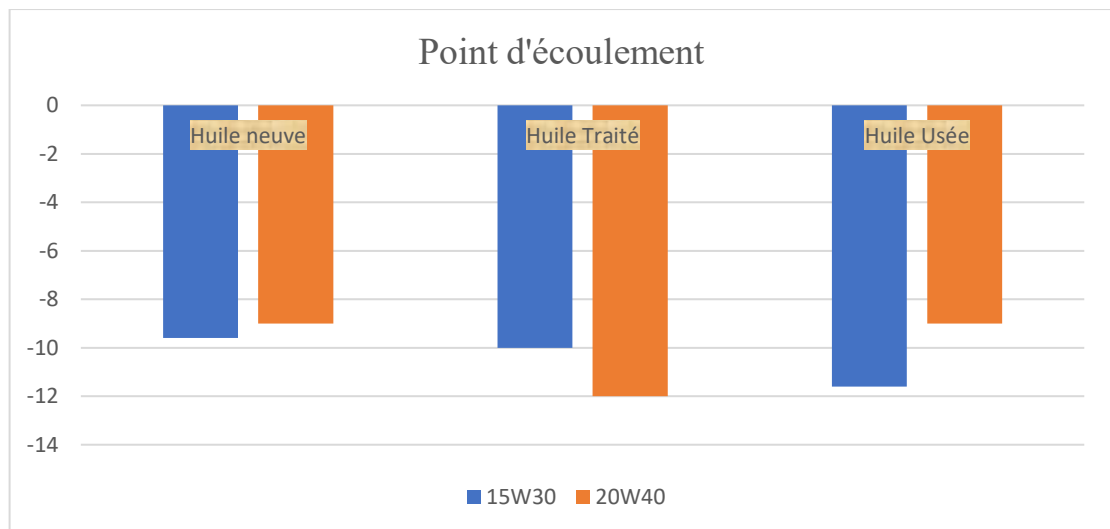


Figure III.10: Effet du traitement sur le point d'écoulement. [22]. [23]

III.3.3. Point d'éclair

Le point d'éclair est de 235 °C pour l'huile neuve, 160 °C pour l'huile usagée et 220 °C pour l'huile traitée. La diminution de la valeur du point d'éclair de l'huile usagée pourrait être le résultat de la présence des fractions légères d'huiles [23]. Après avoir subi la combustion et l'oxydation à haute température du moteur à combustion, l'huile se décompose en composants, qui comprennent des fractions légères.

La diminution du point d'éclair de l'huile usagée est due à la distillation avec le carburant, c'est que pour un véhicule automobile avec de mauvais segments de piston, le point d'éclair diminuera en raison de la distillation avec le carburant [20]. Par conséquent, le point d'éclair de l'huile traitée est acceptable en comparaison avec celui d'une huile neuve.

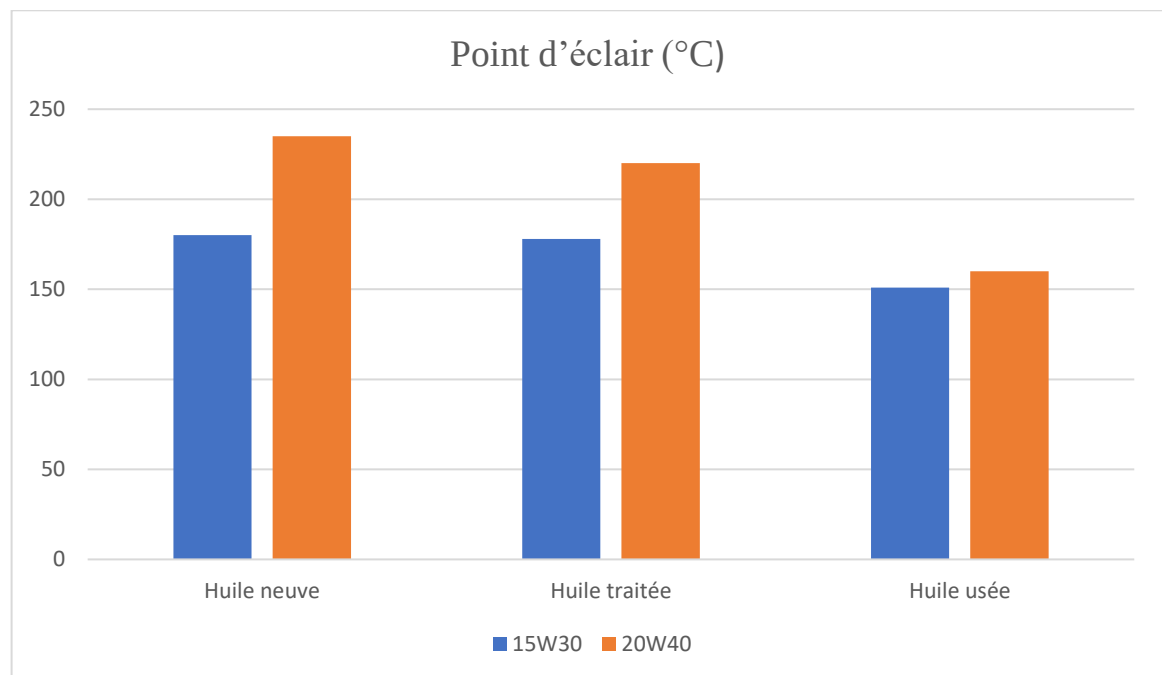


Figure III.11: Effet du traitement sur le point d'éclair. [22]. [23]

III.3.4. Densité

La densité de l'huile de lubrification usagée est supérieure à celle d'une huile neuve, et à celle d'une huile traitée. Les résultats pour l'huile lubrifiante neuve et usagée sont 0.875 et 0.895 respectivement, tandis que celle d'une huile régénérée est 0.784. La densité d'une huile contaminée pourrait être inférieure ou supérieure à celle de son lubrifiant vierge en fonction de la nature de la contamination. [23] Si l'huile de lubrification utilisée était contaminée en raison de la dilution du

carburant et / ou de l'eau en provenance à partir de la combustion du carburant dans le moteur et une contamination accidentelle par la pluie, sa densité sera inférieure que celle de son huile de lubrification fraîche ou celle régénérée.

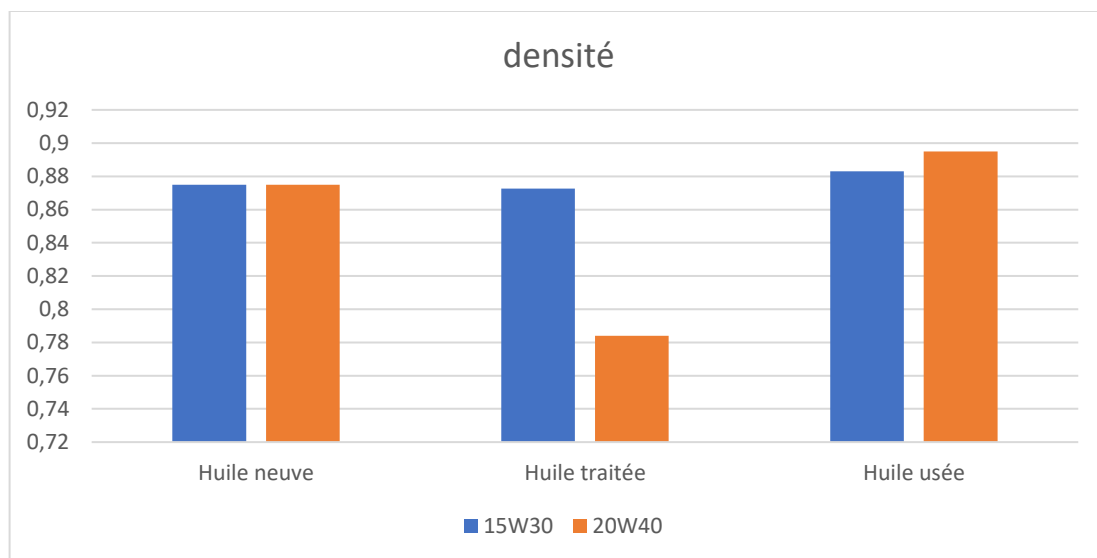


Figure III.12: *Effet du traitement sur le point d'éclair.* [22]. [23]

III.4. Comparaison entre l'huile lubrifiante régénérée et les additifs lubrifiants de fluides de forage

Afin de réaliser l'objectif visé, nous avons construit le tableau suivant, l'évaluation repose sur la performance, la compatibilité et l'impact environnemental.

Tableau III-4: *Tableau comparatif entre huile régénérée et lubrifiant de forage.*

Propriété	Huile régénérée[22].	Enerlube	GEM GP	TORQ-TRIM 22	LUBE-167
Aspect	Ambré	Dark amber	Liquide brun foncé	Liquide ambré trouble	Brun clair
Point éclair (°C)	220	86	-	-	116
Densité	0.784, 0.8726	0.90-0.91	1.01	1.01	0.96-1.01
Solubilité	Insoluble	Insoluble	Compatible avec l'eau	Dispersible	Dispersible
Viscosité à 40°C	135.93 mm ² /s	-	-	-	-
Avantages	Bas coût, bonnes propriétés lubrifiantes	Réduction friction métal	Stabilisateur argiles	Anti-collage, biodégradable	Lubrifiant universel sans mousse
Biodégradabilité	Pas tester	-	Oui	Oui	Oui

Le tableau (III.4) présente une comparaison des propriétés physico-chimiques et fonctionnelles de plusieurs lubrifiants utilisés dans les fluides de forage, et l'huile lubrifiante régénérée.

1. Aspect : L'huile régénérée et les autres produits ont des aspects variant de « ambre » à « brun clair/foncé », typiques des huiles usées ou formulées. Tous sont en phase liquide, ce qui est attendu pour leur usage dans des systèmes de forage.

2. Point éclair (°C) : L'huile régénérée possède un point éclair de 220°C, bien supérieur aux autres (le plus bas étant 86°C pour Enerlube). Cela indique une meilleure stabilité thermique et un moindre risque d'inflammabilité, ce qui est un point fort pour des conditions de forage à haute température.

3. Densité : L'huile régénérée présente une densité plus faible (0.784 - 0.8726), ce qui peut influencer sur son comportement de dispersion. Les autres produits ont des densités proches de l'eau (autour de 1), favorisant leur compatibilité avec les fluides de forage à base d'eau.

4. Solubilité : L'huile régénérée est insoluble, ce qui peut poser problème pour l'homogénéité dans les fluides WBM. GEM GP est compatible avec l'eau, TORQ-TRIM et LUBE-167 sont dispersibles, ce qui les rend plus facilement utilisables dans les systèmes à base d'eau.

5. Viscosité à 40°C : L'huile régénérée a une viscosité de 135.93 mm²/s, bien plus élevée que la moyenne des lubrifiants de forage. Cela indique de bonnes propriétés lubrifiantes, mais peut entraîner des problèmes de pompage ou de dispersion.

6. Avantages spécifiques : L'huile régénérée a des bonnes propriétés lubrifiantes à bas coût, mais sans effet anti-argiles ni action spécifique sur les métaux. Les autres produits offrent des fonctions spécialisées : réduction de friction métal (Enerlube), stabilisation des argiles (GEM GP), antiblocage et biodégradabilité (TORQ-TRIM), ou encore lubrification universelle sans mousse (LUBE-167).

7. Biodégradabilité : Un point critique pour l'environnement : L'huile régénérée : pas testée, ce qui constitue un handicap majeur vis-à-vis des normes environnementales. Les autres additifs sont tous biodégradables, ce qui leur confère un avantage réglementaire et écologique important.

Conclusion Générale

Cette recherche a évalué la faisabilité de recycler des huiles automobiles usagées pour les utiliser comme lubrifiants alternatifs dans les fluides de forage à base d'eau. Comme méthode de régénération, nous avons choisi la méthode de traitement par l'acide sur trois échantillons d'huile de moteur usagée à savoir : 15W40, 5W30 et 15W40 (SHELL)

Bien que les protocoles expérimentaux décrits n'aient pas permis d'obtenir une séparation efficace des phases lors du traitement à l'acide sulfurique, l'analyse comparative des résultats empruntés à d'autres travaux a révélé des perspectives intéressantes. Les huiles régénérées présentent une viscosité élevée et un point d'éclair supérieur à certains lubrifiants commerciaux, Par exemple, leur viscosité cinématique ($135,93 \text{ mm}^2/\text{s}$ à 40°C) et leur point d'éclair élevé (220°C) suggèrent une bonne stabilité thermique et une réduction des risques d'inflammation. ce qui suggère des propriétés lubrifiantes adéquates. Leur coût réduit constitue un avantage économique notable.

Cependant, des limites majeures persistent : la biodégradabilité n'a pas été testée, leur compatibilité avec l'eau complique leur intégration dans les WBM, et leur viscosité élevée pourrait entraver leur pompage. Pour une application industrielle, des recherches supplémentaires sont nécessaires pour optimiser les méthodes de traitement, valider la stabilité des huiles recyclées dans les fluides de forage et évaluer leur impact environnemental. En dépit de ces défis, cette étude ouvre une voie prometteuse vers une économie circulaire dans l'industrie du forage, alliant performance technique et durabilité

Références bibliographiques

- [1] **Baker Hughes INTEQ**. «Drilling Fluids Reference Manual», Edition reviser. Baker Hughes, 2006 pp1-51.
- [2] **MILPARK-CKS**, « Manuel Technique Fluides De Forage ». Tome 1 Billere Cedex. MILPARK-CKS ,1990, pp I8-I14. (I Chapitre)
- [3] **Nguyen, Jean-Paul**, « Techniques d'exploration pétrolières:le forage », Editions Technipe, Paris,1993 pp 123-130.
- [4] **Alexandre Ragouilliaux**,« Etude rhéophysique de systèmes émulsions inverses / argile organophile ; Applications aux boues de forage pétrolier », thèse de Doctorat de l'université Pierre Et Marie Curie, (France), pp 41-43.
- [5] **Elf aquitaine production**. « Manuel de forage à l'usage des géologues » .Edition par J .N.Furgier , oct 1995, pp 30-36.
- [6] **AKKAL Rezki**, « Optimisation des fluides de forage et endommagement de la formation », Thèse de Doctorat En Génie Minier, ENP 2014, pp 19-34.
- [7] **M. Khodja**,« Les fluides de forage ; Etude des performances et considérations environnementales », Thèse de Doctorat, Institut National Polytechnique de Toulouse, 2008, pp 4-20.
- [8] **Dongmo Kemgui Michel Loïc**, « Etude de la dégradation d'huile de lubrification moteur par analyse d'images», 2020 ENSET Ebolowa.
- [9] **Mohammed Arbaoui, François Robbe-Valloire**, « Caractérisation du pouvoir lubrifiant des huiles en frottement abrasif », 2015,3p.
- [10] **Benhabiles Neila /Khelfa Anissa**, « Percolation de l'huile usagée moteur SAE 20W50 sur le kieselguhr ». Ecole Nationale Polytechnique, En Génie chimique, 2002.1P.
- [11] M .Chorfi Sofiane « cor_lubrification »,ISTA Constantine le 14/12/2020 page 2-6.
- [12] : « Liqui Moly Les lubrifiants de A à Z Un condensé de connaissances techniques », 23P.
- [13] **Nofozo Tatang Raoul Dako** , « conception et réalisation d'un analyseur d'huile moteur (embarque) sur vehicule automobile», Université De Yaoundé I, 2021,17P.
- [14] **A. Jones**, 8«Lubricating Oil Through the Process of Refining Used Motor Oil», 2010, Online Available: ww.articlealley.com/article.
- [15] **Zeggouni Nabil Et Dida Nasreddine**. « Traitement des huiles usées », mémoire de Master en Génie de Raffinage, 2023.

Références bibliographiques

- [16] **Mlle. Bajine Zayda Et Mlle. Belilah Khawla**, « Etude prospective pour le recyclage et la valorisation des huiles moteurs usagées », mémoire de Master en Chimie de l'Environnement, Université Ahmed Daria Adrar, 2022, 34P.
- [17] Diagramme adapté de **Sánchez-Alvarracín, Carlos**, et al. « Characterization of Used Lubricant Oil in a Latin-American Medium-Size City and Analysis of Options for Its Regeneration ». Recycling 6.1 (2021).
- [18] **Mike Ritchie & Associates**, « Gestion des huiles usagée – Rapport sur les options technologiques Une soumission au PROE », 2022, 10p.
- [19] <https://fr.cnwinchemistry.com/info/what-lubricant-is-used-in-drilling--93671965.html>, 2023.
- [20] **Ameur Chafik/Fraihat Hassan Nabil**, « Etude de la cinétique de détérioration de l'huile lubrifiante 20 W 50 durant les premiers 1500 kilomètres », En Génie Chimique, 1993. 18p.
- [21] **Bouزيدani Djamel/ Abadi Mohamed Amine**, « Régénération des huiles de moteur usagées par traitement acide », Mémoire de Master, Université de Blida 1, 2018.
- [22] **Mazouzi R, Khelidj B, Karas A, Kellaci A**. « Régénération des huiles lubrifiantes usagées par processus de traitement à l'acide », Revue des Energies Renouvelables. 2014.
- [23] **RABHI Zeynab, MAMOUNI Khadidja**. « Étude de la possibilité de la régénération des huiles moteur usagées par processus de traitement à l'acide », Mémoire de Master académique. Adrar : Université Ahmed Draïa, 2019.

Annexe

Baroid Fluid Services

TORQ-TRIM® 22

Lubricant

Product Data Sheet

Product Description

TORQ-TRIM 22 blend of emulsifiers and alkaline surfactants is fully dispersible in water. It helps impart lubricity to most water-based drilling fluids at low concentrations (1.5-4 percent v/v). TORQ-TRIM 22 lubricant has been extensively tested and evaluated by most oil company's research laboratories and has been proven to be one of the most effective lubricant available. It helps reduce torque and it is an excellent metal to metal friction reducer which can minimize casing wear.

Applications / Functions

- Helps lower drilling torque by improving the lubricity of most water-based fluids
- Helps reduce metal to metal friction which helps protect casing in deviated holes
- Helps provide a slick filter cake and reduces the risk of differential sticking when used as a pretreatment

Advantages

- Can impart excellent lubricity
- Can readily biodegrade
- Has low toxicity and no sheen from discharges
- Contributes to API and HTHP filtration

Typical Properties

- | | |
|--------------------|----------------------------|
| • Appearance | Amber, slight hazy, liquid |
| • pH | 6.5 |
| • Specific gravity | 1.01 |

Recommended Treatment

Add 1.5-4% of TORQ-TRIM 22 lubricant by volume.

Packaging

TORQ-TRIM 22 lubricant is available in 55-gal (210-l) drums containing 464-lb (211-kg) net weight.

HALLIBURTON | Fluid Systems

Baroid Fluid Services • P.O. Box 1675 • Houston TX 77251 • 281-871-5516

Because the conditions of use of this product are beyond the seller's control, the product is sold without warranty either express or implied and upon condition that purchaser make its own test to determine the suitability for purchaser's application. Purchaser assumes all risk of use and handling of this product. This product will be replaced if defective in manufacture or packaging or if damaged. Except for such replacement, seller is not liable for any damages caused by this product or its use. The statements and recommendations made herein are believed to be accurate. No guarantee of their accuracy is made, however.

TORQ-TRIM is a registered trademark of Halliburton © 2005 Halliburton All Rights Reserved



Baroid Fluid Services

GEM™ GP

Shale Stabilizer

Product Data Sheet

Product Description	GEM GP polyalkylene glycol is used in water-based drilling fluids to help improve lubricity and shale stability. It is recommended for use in potassium and sodium based salt (5-22 percent by weight) systems in areas where low to medium reactive clays are anticipated.	
Applications / Functions	• Helps stabilize reactive formations • Helps increase mud lubricity • Helps reduce bit-balling tendencies	
Advantages	• Compatible with most water-based drilling fluids • Unaffected by contaminants • Environmentally responsible	
Typical Properties	• Appearance • pH • Specific gravity • Cloud point, See table	Dark brown liquid 7.8 1.01
Recommended Treatment	Add 2-6 percent by volume to the mud system	
Packaging	GEM GP stabilizer is available in 55-gal (208-l) drums containing 465-lb (211-kg) net weight.	

HALLIBURTON | Fluid Systems

Baroid Fluid Services • P.O. Box 1675 • Houston TX 77251 • 281-871-5516

Because the conditions of use of this product are beyond the seller's control, the product is sold without warranty either express or implied and upon condition that purchaser make its own test to determine the suitability for purchaser's application. Purchaser assumes all risk of use and handling of this product. This product will be replaced if defective in manufacture or packaging or if damaged. Except for such replacement, seller is not liable for any damages caused by this product or its use. The statements and recommendations made herein are believed to be accurate. No guarantee of their accuracy is made, however.

GEM is a trademark of Halliburton © 2005 Halliburton All Rights Reserved

1-2005

LUBE-167

LUBE-167* water-dispersible lubricant is designed to decrease the coefficient of friction in all water-base drilling fluids, which lowers torque and drag in the wellbore.

It also has a unique wettability characteristic which lowers the potential for Bottom-Hole Assembly (BHA) balling. Lube-167 lubricant contains no hydrocarbons and is compatible with all water-base fluids.

Typical Physical Properties

Physical appearance.....	Light brown liquid
Odor.....	Mild
Solubility in water.....	Insoluble
Specific gravity.....	0.96-1.01
pH.....	8.8-9.2 (1% solution)
Flash point.....	240°F (116°C) (PMCC)

Applications

LUBE 167 lubricant is completely water dispersible and blends easily into all mud systems. It does not foam and can be added to the mud system through the mixing hopper or directly to the surface system wherever good agitation is available.

LUBE-167 additive should be used at an initial concentration of 1 to 3% by volume (3.5 to 10.5 lb/bbl or 8.6 to 30 kg/m³) for optimum performance. For mud densities above 12 lb/gal, higher concentrations of LUBE-167 additive are normally required.

After the initial treatment, periodic treatments should be made to maintain the desired concentration. Higher concentrations can be necessary for pills and special applications. Treatment levels and product usage depend on the rate of penetration, solids-control equipment and dilution rates.

Advantages

- Effective, all-purpose lubricant for water-base mud systems
- Decreases the coefficient of friction which reduces torque and drag
- Does not increase rheology or gel strengths
- Contains unique metal-wetting additives which reduce the tendency of soft, sticky shales (gumbos) to cause bit and BHA balling
- May be used at all bottom-hole temperatures
- Does not cause foaming
- Does not cause a sheen when dispersed in drilling fluids at 4% by volume or less

Limitations

- May "grease" in mud systems with soluble hardness greater than 600 mg/l and high pH levels
- May cause slight foaming in freshly built, ultra-low-solids seawater systems

Toxicity and Handling

Bioassay information is available upon request.

Handle as an industrial chemical, wearing protective equipment and observing the precautions described in the Material Safety Data Sheet (MSDS).