



**HAL**  
open science

## Validation d'une méthode de valorisation matière et énergie des huiles de vidange

Mbomen Mbomen Louis Merlin, Nanfack-Minkeu Ferdinand, Nangue Mbomen Raoul, Teponno Rémy Bertrand, Kagou Dongmo Armand

### ► To cite this version:

Mbomen Mbomen Louis Merlin, Nanfack-Minkeu Ferdinand, Nangue Mbomen Raoul, Teponno Rémy Bertrand, Kagou Dongmo Armand. Validation d'une méthode de valorisation matière et énergie des huiles de vidange. Environnement, Ingénierie & Développement, 2020, N°83 - mars 2020, pp.3-9. 10.4267/dechets-sciences-techniques.4244 . hal-03156350

**HAL Id: hal-03156350**

**<https://hal.science/hal-03156350>**

Submitted on 2 Mar 2021

**HAL** is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

# Validation d'une méthode de valorisation matière et énergie des huiles de vidange

**Mbomen Mbomen Louis Merlin<sup>1,\*</sup>, Nanfack-Minkeu Ferdinand<sup>2</sup>, Nangue Mbomen Raoul<sup>3</sup>, Teponno Rémy Bertrand<sup>1</sup>, Kagou Dongmo Armand<sup>1</sup>**

(1) Faculté des Sciences Université de Dschang, BP 67, Dschang, Cameroun

(2) Faculté des Sciences, Département de Biochimie, Université de Yaoundé I, BP : 812 Yaoundé, Cameroun

(3) Les Laboratoires Biopharma, BP : 1674, Douala, Cameroun

**\* Auteur correspondant : mbomen@yahoo.fr**

## RÉSUMÉ

Au Cameroun, plus de 25 200 tonnes d'huiles de vidange sont gérées annuellement par des méthodes non réglementaires comme par exemple la combustion en foyers non adaptés, voire le rejet direct dans le milieu naturel. Or, ces huiles sont classées parmi les déchets dangereux tant pour l'homme que pour tous les compartiments de l'environnement. Ce travail a pour objectif la valorisation matière et énergie en chaudière de ces huiles par une méthode combinant l'action des sels fondus, distillation sous pression réduite et traitement sur terre absorbante activée (ASFDPRITA). Il s'agit d'un enchaînement de techniques chimiques simples dans des conditions opératoires particulières pour un résultat tout aussi particulier. L'huile usée, traitée par cette méthode, fournit un combustible (écofuel) avec des taux de polluants extrêmement réduits respectant les normes en vigueur. D'autre part, ce combustible présente des caractéristiques physico-chimiques très proches de celles du gazole, permettant son utilisation directe sans restriction dans une chaudière à gazole. Ce combustible a également été utilisé comme base pour la régénération d'un lubrifiant nouveau (enlub) moyennant l'ajout d'additifs dans des proportions convenablement choisies. Notre méthode à moindre coût, utilisant des équipements simples, peut être mise en œuvre par des personnes sans qualification spécifique, associant ainsi la création d'emploi et la préservation de l'environnement.

**MOTS-CLÉS :** huiles de vidange, combustible, lubrifiant

## ABSTRACT

More than 22,500 tons per year of waste lubricating oil are non-regulatory managed in Cameroon. They are burned in very dangerous conditions when they are not simply dumped in nature. Yet, these wastes are classified as very dangerous for human-beings. The aim of this work is to promote safer methods of disposal of waste lubricating oil in Cameroon by stressing on materials recovery and energetic valorisation in a steam boiler. A combined method of action of melted salt, distillation under low pressure and treatment on activated adsorbed earth (ASFDPRITA) is efficacious for the task. The oil, treated by this method strips it of polluting chemical in order to obtain a fuel (ecofuel) meeting up the energetic and environmental expectations as required by standards. On the other hand, the fuel presents physicochemical features nearest to the ones of gasoil so that it has been used in a gasoil steam boiler without risk. Also, the fuel served as a base for the regeneration of a new lubricant (enlub) by adding additives in suitably chosen proportions. Our method is using a low cost investment, simple equipment at the point where inexperienced staff with a minimum of training can master it. It also permits job employment opportunities as well as environmental preservation.

**KEYWORDS:** used oil, fuel, lubricant

## Validation d'une méthode de valorisation matière et énergie des huiles de vidange

Mbomen Mbomen Louis Merlin, Nanfack-Minkeu Ferdinand, Nangue Mbomen Raoul, Teponno Rémy Bertrand, Kagou Dongmo Armand

### Introduction

La production nationale des huiles usagées au Cameroun est estimée à 70 000 tonnes par an. Actuellement, 64 % font l'objet de régénération par des entreprises agréées (MINEP, 2008). Le reste, soit environ 25 200 tonnes par an, sont gérées par des méthodes non réglementaires voire illégales telles que la combustion en foyers non adaptés ou même le rejet direct dans le milieu naturel. Or, l'huile de vidange usagée non traitée est un déchet dangereux pour l'Homme, l'eau, le sol, la faune et la flore. Les huiles usagées sont très peu biodégradables ; leur rejet dans l'environnement est donc dangereux pour les systèmes naturels. Ces huiles usées déversées dans l'environnement contribuent à augmenter la pollution des eaux, l'incidence des cancers et une destruction de certains biotopes via leur persistance et bioaccumulation (Yildiz *et al.*, 2019 ; Jackson et Nathanail, 2018).

La technologie *Phillips Re-refined Oil Process* (PROP), propose un procédé de traitement des huiles usagées impliquant une démétallisation, puis une filtration suivie d'une distillation sous vide et d'une hydrogénation. Malheureusement, le constat est que le traitement du résidu par hydrogénation et le coût d'investissement global des équipements et réactifs s'avèrent très élevés (Kajdas, 2014). D'autres procédés de régénération des huiles usagées utilisent un traitement à l'acide sulfurique dont l'élimination des quantités importantes de résidus acides générés peut présenter des risques environnementaux. De plus, l'acide sulfurique est un acide fort, très corrosif et irritant dont l'utilisation nécessite des précautions particulières (Fall *et al.*, 2016 ; Flammiger et Maibach, 2006). La distillation à température élevée ( $T > 300^{\circ}\text{C}$ ) est également utilisée pour régénérer du gazole à partir des huiles usagées de moteurs ou d'huiles de pyrolyse des plastiques (Orpa *et al.*, 2010 ; Khan *et al.*, 2016 ; Maceiras *et al.*, 2017). L'ajout de certains additifs tels que le carbonate de sodium ( $\text{Na}_2\text{CO}_3$ ) et l'oxyde de calcium (CaO) en proportions spécifiques peut permettre d'améliorer la qualité des produits issus de la pyrolyse (Orpa *et al.*, 2010 ; Maceiras *et al.*, 2017).

L'objectif de la présente étude est d'évaluer une solution à moindre coût pour la gestion des huiles de moteur usagées dans des conditions respectueuses de l'environnement.

L'approche suivie est basée sur la méthode ASFDPRTTA (Action des Sels Fondus, Distillation sous Pression Réduite, Traitement sur Terre Adsorbante Activée). Elle vise à convertir les huiles usagées en un combustible calibré (écofuel) qui en outre sert de base à la régénération d'un lubrifiant (enlilub).

## I. Matériels et méthodes

### I.1 Traitement des huiles par la méthode ASFDPRTTA

Elle comporte trois étapes : l'action des sels fondus, la distillation sous pression réduite et le traitement sur terre adsorbante activée.

#### I.1.1 Action des sels fondus

L'huile usée collectée après avoir été préalablement filtrée à 150  $\mu\text{m}$  pour éliminer les particules solides de taille supérieure, a été soumise à l'action des sels fondus. L'eutectique  $\text{Na}_2\text{CO}_3$ -NaOH a été choisi et utilisé dans les proportions suivantes : 1 kg d'huile usagée pour 0,2 Kg de sels fondus. Le mélange a été ensuite agité pendant cinq minutes puis placé dans une étuve à la température de  $125^{\circ}\text{C}$  à la pression de 1 atm ( $1,013 \cdot 10^5$  Pa) pendant trente minutes. Les huiles sont ensuite refroidies à  $15^{\circ}\text{C}$  sous pression constante en quinze minutes. Une masse morte se forme au fond du milieu réactionnel qui est récupérée par décantation et filtration à 75  $\mu\text{m}$ . Le liquide obtenu ici est ainsi débarrassé d'une part importante des oxydes métalliques, de carbone et de soufre qui se retrouvent fixés sous forme de précipités dans la masse morte. Un volume final de 6,8 L d'huile est finalement récupéré à partir d'un volume initial de 7 L.

#### I.1.2 Distillation sous pression réduite

L'huile de vidange obtenue après traitement aux sels fondus est ensuite soumise à une distillation sous pression réduite dans un distillateur muni d'une pompe à vide et équipé pour le suivi de la pression et de la température à l'intérieur du réacteur. La pression mesurée à l'intérieur du distillateur est de  $0,303 \cdot 10^5$  Pa. La température a été fixée à  $210^{\circ}\text{C}$ . De la pierre ponce a été utilisée pour réguler l'ébullition de l'huile. Le traitement permet en 2 heures de récupérer 6,65 L d'huile distillée à partir d'un volume initial de 6,8 L.

### 1.1.3 Traitement sur terre adsorbante activée

Le traitement utilise de la montmorillonite préalablement activée thermo chimiquement dans le but de décolorer, déodoriser et stabiliser les huiles distillées. Il est réalisé en faisant percoler l'huile gravitairement sur une colonne remplie d'un lit fixe d'adsorbant, équipée d'un robinet de sortie protégé par un filtre. L'huile récupérée en sortie de colonne correspond au combustible nommé écofuel.

### 1.1.4 Analyse de l'huile traitée

Des analyses élémentaires du combustible écofuel ont été effectuées suivant les normes ASTM (American Society for Testing and Materials) en parallèle au Laboratoire d'Analyse des Sols et de Chimie de l'Environnement de la FASA<sup>4</sup> à l'Université de Dschang et à l'Institut pour la Recherche Géologique et Minière du MINRESI<sup>5</sup> à Yaoundé.

Les analyses supplémentaires et les essais ont été effectués au Laboratoire Biopharma à Douala. L'acidité totale a été déterminée à l'aide d'un titreur automatique de marque 'Mettler Toledo'. La densité a été déterminée à l'aide d'un densimètre automatique de marque 'KYOTO DA-645'. La viscosité a été déterminée à l'aide d'un viscosimètre de marque 'Scavini'. Le point d'éclair a été déterminé par la méthode Pensky-Martens à l'aide d'un thermomètre de précision. Le point d'écoulement a été déterminé à partir de la 'tiltmethod' ou méthode d'inclinaison après refroidissement des échantillons dans un congélateur de marque 'Wescool' et mesure de la température à l'aide d'un thermomètre de précision. Les sulfates ont été déterminés par gravimétrie après précipitation sous forme de sulfate de baryum par ajout de 10 % de chlorure de baryum. L'arsenic, le plomb, le cadmium, le phosphore et l'azote ont été déterminés par lecture directe à l'aide d'un spectrophotomètre d'absorption atomique (SAA) de marque 'Rayleigh 130B'. Le pouvoir calorifique a été déterminé à l'aide d'une bombe calorifique (calorimètre) de 300 ml. Les halogènes ont été déterminés par chromatographie ionique après combustion.

## 1.2 Obtention du lubrifiant envilub

Les lubrifiants peuvent être obtenus à partir des huiles par des procédés variés (Uhler *et al.*, 2016). Le marché est assez développé en Afrique de l'Est et de l'Ouest et embryonnaire en Afrique centrale. Ces raisons nous ont poussés à utiliser écofuel pour obtenir un lubrifiant. Les réactifs, pesés sur une balance de précision KERN, sont introduits dans un mélangeur de type VSM 1000 VIK-JV dans les proportions suivantes : l'huile traitée (écofuel) 84 %, améliorant de viscosité (polyisobutylène) 6 %, additifs multifonctions (dispersant, abaissant de point d'écoulement, améliorant de viscosité) 5 %, détergent (sulfonate de baryum et de calcium) 4 %, inhibiteur de détergent (dithiophosphate de dialkyle et zinc) 1 %. L'homogénéisation s'effectue pendant cinq à dix minutes à la pression de  $1,013 \cdot 10^5$  Pa et à la température de 25°C.

## 2. Résultats et discussion

### 2.1 Valorisation énergétique



**Figure 1. Aspect de l'huile de vidange avant traitement (à gauche), après traitement aux sels fondus et distillation sous pression réduite (centre) et à l'issue du traitement complet (à droite)**

La méthode ASFDPRTTA utilisée pour le traitement des huiles de moteur usagées a permis d'obtenir, avec un rendement de 93 % en volume, une huile claire (figure 1)

**Tableau 1. Comparaison des caractéristiques d'écofuel et du gazole (Comfort, 2009)**

| Caractéristiques                             | Gazole | écofuel |
|--|--------|---------|
| Masse volumique (kg/m <sup>3</sup> , à 40°C) | 830    | 840     |
| Viscosité à 40°C (mm <sup>2</sup> /s)        | 3,5    | 4,6     |
| Indice de cétane                             | 49,52  | 47,50   |
| PCI Massique à 20°C (KJ/kg)                  | 42300  | /       |
| PCI Volumique à 20°C (KJ/L)                  | 35000  | 48200   |
| Point de trouble en °C                       | -5     | -8      |
| Teneur en soufre (mg/kg)                     | 10     | 0,48    |

dont les caractéristiques physico-chimiques ont été résumées dans le tableau 1 en comparaison à celles du gazole. Sa masse volumique est de  $840 \text{ kg/m}^3$  à  $40^\circ\text{C}$ , son indice de cétane est compris entre 47 et 50 et sa viscosité à  $40^\circ\text{C}$  se situe entre  $4 \text{ mm}^2/\text{s}$  et  $6 \text{ mm}^2/\text{s}$ . Ces valeurs sont proches de celles du gazole. Son PCI volumique à  $20^\circ\text{C}$  est de  $48200 \text{ kJ/L}$  supérieur à celui du gazole à la même température. La teneur en soufre est inférieure à celle du gazole.

Le tableau 2 présente les résultats des analyses complémentaires et permet de comparer le combustible écofuel (huile traitée) à l'huile usagée de départ et aux seuils limites à respecter pour utiliser les huiles usagées comme combustible utilisés au Québec (Bourque, 2010).

Le tableau 2 montre que l'huile traitée présente des caractéristiques analytiques respectant la norme Québécoise, à l'exception du taux d'arsenic qui s'avère légèrement supérieur au seuil. Sur la base de ces analyses, on peut donc conclure que le combustible écofuel est utilisable comme carburant dans une chaudière à vapeur. Les concentrations des éléments dont les taux sont proches des seuils limites peuvent être réduites en optimisant l'action des sels fondus.

Les résultats d'analyse étant encourageants, la combustion du combustible écofuel a été étudiée dans la chaudière à vapeur au gazole de l'entreprise « Les Laboratoires Biopharma » basée à Douala, Cameroun. Les essais préliminaires ont permis d'enclencher et de maintenir la flamme de la chaudière de manière stable lorsque le brûleur a été alimenté par écofuel. Des études complémentaires devront confirmer ces résultats

dans la durée et analyser les fumées émises pour conclure sur l'absence de risques environnementaux ou sanitaires.

## 2.2 Valorisation matière : le lubrifiant envilub

Les caractéristiques analysées du lubrifiant envilub généré à partir de l'huile traitée sont regroupées au tableau 3 où elles sont comparées à celles de l'huile usée de départ et à celle d'une huile vierge disponible sur le marché.



Figure 2. Aspect du lubrifiant envilub

Tableau 2. Résultats de l'analyse des polluants du combustible produit (écofuel)

| Caractéristiques                               | Unités           | Huile de vidange brute | Huile de vidange traitée (écofuel) | Limites Québécoises (Bourque, 2010) |
|--|------------------|------------------------|------------------------------------|-------------------------------------|
| <b>Couleur</b>                                 |                  | Noire                  | Claire                             |                                     |
| <b>Densité à <math>60^\circ\text{C}</math></b> |                  | 886                    | 812                                |                                     |
| <b>Arsenic</b>                                 | Ppm              | 5233                   | 05,73                              | 5                                   |
| <b>Cadmium</b>                                 | Ppm              | 1071                   | 0,70                               | 2                                   |
| <b>Chrome</b>                                  | Ppm              | 19                     | 0,003                              | 10                                  |
| <b>Plomb</b>                                   | Ppm              | 1210                   | 15,36                              | 50                                  |
| <b>Halogènes totaux</b>                        |                  | 5420                   | 4,94                               | 1000                                |
| <b>PCB</b>                                     | Ppm              | 1995                   | 0,985                              | 3                                   |
| <b>Eau</b>                                     | %vol             | 10                     | < 0,0001                           | 20                                  |
| <b>Soufre</b>                                  | % poids          | 1,5                    | 0,48                               | 1,5                                 |
| <b>Point d'éclair</b>                          | $^\circ\text{C}$ | 295                    | 220                                | $\geq 38$                           |
| <b>Pouvoir calorifique</b>                     |                  | /                      | 48200                              | $\geq 18500$                        |
| <b>Point d'écoulement</b>                      |                  | -15                    | -8                                 |                                     |
| <b>Acidité totale</b>                          | gNaOH/L          | /                      | 0,112                              |                                     |
| <b>pH</b>                                      |                  | /                      | 7,2                                |                                     |
| <b>Azote total</b>                             | Ppm              | 1 535                  | 375                                |                                     |
| <b>Chlore</b>                                  | Ppm              | 830                    | 20                                 |                                     |
| <b>Phosphore</b>                               | Ppm              | 1 740                  | 15                                 |                                     |

**Tableau 3. Propriétés physiques du lubrifiant envilub**

| Caractéristiques                            | Huile vierge commerciale (sae20w50) | Huile de vidange | Huile traitée (envilub) |
|---|-------------------------------------|------------------|-------------------------|
| <b>Viscosité (mm<sup>2</sup>/s) à 40°C</b>  | 150,5                               | 123              | 140                     |
| <b>Viscosité (mm<sup>2</sup>/s) à 100°C</b> | 21                                  | 13,8             | 20,9                    |
| <b>Indice de viscosité</b>                  | 131                                 | 107              | 141                     |
| <b>Point d'écoulement (°C)</b>              | -9                                  | -13              | -8                      |
| <b>Point d'éclair (°C)</b>                  | 240                                 | 150              | 225                     |
| <b>Densité</b>                              | 0,845                               | 0,892            | 0,856                   |

La viscosité détermine les caractéristiques d'écoulement d'un fluide. La viscosité d'un lubrifiant conditionne ainsi l'épaisseur de la couche d'huile entre les surfaces métalliques en mouvement l'une contre l'autre. La viscosité d'un bon lubrifiant doit peu varier avec le temps. En général, une huile est considérée comme inutilisable si sa viscosité initiale augmente ou diminue considérablement lors de son usage. Une diminution de la viscosité peut être causée par la dilution avec du carburant léger ou une perte d'additif (Mazouzi et al, 2014). Une augmentation de la viscosité est associée à l'oxydation, la nitrification, la présence des polluants ainsi qu'aux périodes prolongées entre les vidanges (Mazouzi et al, 2014). L'examen du tableau 3 montre une diminution de la viscosité cinématique de l'huile usagée par rapport à celle de l'huile neuve. Cependant, le traitement a pu restaurer partiellement cette viscosité.

L'indice de viscosité quant à lui est une caractéristique utilisée pour indiquer les variations de la viscosité des huiles lubrifiantes en fonction de la température (eni, 2012). Plus l'indice de viscosité est élevé, moins la viscosité varie avec la température. Le tableau 3 montre que l'indice de viscosité de l'huile usée est inférieur à celui de l'huile neuve. Il y a probablement eu une dégradation du polymère, par cisaillement mécanique, ou par coupure thermique ou thermo-oxydante (Denis et al, 1997). L'indice de viscosité de l'huile traitée (envilub) est comparable à celui d'une huile neuve.

Le point d'écoulement est une caractéristique d'intérêt particulier; lorsque l'huile fonctionne dans des conditions relativement froides. On constate que l'huile de lubrification usagée a un point d'écoulement moins élevé par rapport à celui de l'huile neuve, probablement à cause de la dégradation des additifs dans l'huile de lubrification (Mazouzi et al, 2014). Celui du lubrifiant envilub est proche de celui de l'huile commerciale. Le traitement réalisé s'avère donc efficace.

Le Point d'éclair est la température la plus basse à laquelle un mélange huile-vapeur-air devient inflammable. Ce paramètre doit être bien calibré pour éviter que le lubrifiant

ne s'enflamme sous l'effet de la chaleur du moteur et n'endommage sérieusement ce dernier. Le point d'éclair est de 240°C pour l'huile neuve, 150°C pour l'huile usagée et 225°C pour l'huile traitée. Le traitement a donc permis de restaurer le point d'éclair presque à l'initial. La diminution de la valeur du point d'éclair de l'huile usagée pourrait être le résultat de la présence des fractions légères d'huile. En subissant la combustion et l'oxydation à haute température dans un moteur thermique, l'huile se décompose en effet en composants qui comprennent des fractions légères (Mazouzi et al, 2014).

La densité a un rôle capital en contrôle qualité. La comparaison de la densité d'une huile usagée avec celle de l'huile neuve permet de détecter d'éventuelles pollutions. Les résultats pour l'huile lubrifiante neuve et usée sont 0,845 et 0,892 respectivement, tandis que celle de l'huile régénérée est 0,856. Ce résultat confirme la bonne efficacité du traitement réalisé. La densité d'une huile usée peut être inférieure ou supérieure à celle de l'huile vierge de départ selon la nature des altérations subies. Si l'huile utilisée était contaminée en raison de la dilution du carburant et/ou de l'eau en provenance du lieu de la combustion du carburant dans le moteur ou une contamination accidentelle par la pluie, sa densité sera inférieure à celle de son huile de lubrification fraîche ou celle régénérée (Mazouzi et al, 2014).

## 2.3 Discussion générale

Les techniques existantes de traitement des huiles de vidange comme la technologie acide/filtration ont un rendement moyen et génèrent des déchets de terres acides considérés comme dangereux (Audibert, 2003). La technologie MEINKEN, malgré son faible coût d'investissement et de fonctionnement, présente un bon rendement mais le combustible produit est très acide ce qui provoque des problèmes de corrosion. La technologie PROP présente un rendement de 90 % mais son inconvénient est le coût d'investissement très élevé. La technologie Recyclon utilise une triple distillation simple ce qui est très énergivore (Audibert, 2003).

Nous avons au cours de ce travail utilisé la méthode ASFDPRTTA, un enchaînement ordonné de techniques chimiques simples conduites dans des conditions physicochimiques particulières. Par ces techniques nous avons pu obtenir un rendement élevé de 93 %. Le coût d'investissement est faible et la consommation énergétique également grâce à la distillation sous pression réduite qui est largement moins énergivore que la distillation simple. La dépollution en trois étapes permet de réduire considérablement les taux de polluants dans le combustible. Les taux de PCB et de soufre sont respectivement de 0,985ppm et de 0,48 %. Ils sont extrêmement faibles comparés aux résultats de la méthode acide ou de la technologie recyclon. Le combustible produit est non acide et utilisable en chaudière au regard des résultats de l'analyse des polluants. Toutefois, les taux d'arsenic, d'azote et de chlore dans le combustible sont des points à améliorer tout comme l'odeur lors de la combustion.

## Conclusion

L'huile usagée traitée par la méthode ASFDPRTTA produit d'une part un combustible répondant aux normes environnementales, dont le pouvoir calorifique volumique est supérieur à celui du gazole, dont l'analyse révèle qu'il pourrait être utilisé seul sans restriction dans une chaudière à vapeur. D'autre part, ce combustible peut être utilisé comme base pour la synthèse d'un lubrifiant aux caractéristiques très proches de celles des lubrifiants conventionnels retrouvés sur le marché.

Le processus de traitement des huiles usagées génère généralement d'une part des bitumes ou cokes qui peuvent être valorisés en techniques routière et d'autre part de l'argile saturée dont le traitement, s'il s'avère nécessaire, ne pourrait probablement se faire que par combustion. Globalement, la méthode de traitement utilisée s'avère efficace puisqu'elle permet de générer avec un très bon rendement un combustible respectant les normes. Les tests préliminaires en chaudière sont encourageants mais doivent être approfondis. En ce qui concerne le lubrifiant que l'on peut en tirer, la méthode permet de régénérer la viscosité de l'huile à 99,5 %, le point d'éclair à 93 % et le point d'écoulement à 88,8 %.

Elle présente tout de même des limites car le taux d'arsenic est légèrement supérieur aux seuils limites considérés et les taux d'azote total et de chlore sont également relativement élevés. Des améliorations peuvent cependant être apportées, qui font l'objet de nos travaux en cours, visant à réduire les impacts potentiels sur les phénomènes de pluies acides lors des combustions.

Nous remercions infiniment les structures suivantes : Le laboratoire d'analyse des sols et de chimie de l'environnement de la FASA4(Faculté d'Agronomie et des Sciences Agricoles) de l'université de Dschang au Cameroun pour avoir analysé nos échantillons et permis que nous utilisions certains de leurs matériels ; L'Institut National pour la Recherche Géologique et Minière du Ministère de la Recherche Scientifique et de l'Innovation du Cameroun pour avoir accepté d'évaluer certains paramètres physiques de notre combustible ; L'entreprise les Laboratoires Biopharma Cameroun pour avoir accepté que nous expérimentions notre combustible dans sa chaudière à vapeur ; La Faculté d'Agronomie et des Sciences Agricoles (FASA) ; Le Ministère de la Recherche Scientifique et de l'Innovation (MINRESI). Nous tenons également à remercier infiniment les lecteurs anonymes pour les critiques et suggestions pertinentes qui ont permis d'augmenter la qualité de cet article.

## Références bibliographiques

- Arpa Orhan, Yumrutas Recep, Demirbas Ayhan (2009). Production of diesel-like fuel from waste engine oil by pyrolytic distillation. *Applied Energy*, 87(1), pp. 122-127. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2009.05.042>
- Audibert François (2003). Huiles usagées : reraffinage et valorisation énergétique. Publications de l'Institut français du pétrole, Editions Technip, France, 336 p.
- Bourque Claude (2010). Les huiles usagées. Fiches informatives, Recyc-Québec, pp. 2-5. <https://recycquebec.o2web.ca/sites/default/files/documents/Fiche-info-huiles.pdf>, consulté le 15/06/19.
- Comfort Energy (2009). Les caractéristiques moyennes du diesel. En ligne <https://www.comfortenergy.be>, p. 1, consulté le 16/06/19.
- Denis Jacques, Briant Jean, et Hipeaux Jean-Claude (1997). Physico-chimie des lubrifiants. Analyses et essais. Publications de l'Institut français du pétrole, Editions Technip, France, 464 p.
- eni (2012). Spécifications et caractéristiques des lubrifiants. En ligne [https://www.eni.com/fr\\_CH/produits-services/lubrifiants-automotives/savoir-faire/specifications-caracteristiques-lubrifiants/specifications-caracteristiques-lubrifiants.shtml](https://www.eni.com/fr_CH/produits-services/lubrifiants-automotives/savoir-faire/specifications-caracteristiques-lubrifiants/specifications-caracteristiques-lubrifiants.shtml), consulté le 01/11/19.

- Fall M.M., Niang E.H.M., Niang C.D., Niang B., Toure A.K., Diatta B. (2016). Serious burn by sulfuric acid: case report of particular therapeutic strategy in a non-specialized ICU at Hôpital principal de Dakar (HPD) Sénégal. *Open Journal of Emergency Medicine*, 4, pp. 62-68. <https://doi.org/10.4236/ojem.2016.43009>
- Flammiger Anna, Maibach Howard (2006). Sulfuric acid burns (corrosion and acute irritation): evidence-based overview to management. *Cutaneous and Ocular Toxicology*, 25(1), pp. 55-61. <https://doi.org/10.1080/15569520500536634>
- Jackson Karen, Nathanail Paul (2018). The application of the carcinogenic hazardous property assessment to oil contaminated dredging waste. *Water and Environment Journal*, 34(1). <https://doi.org/10.1111/wej.12445>
- Kajdas C. (2014). Re-refining Technologies. In *Encyclopedia of Lubricants and Lubrication*. Editeur Théo Mang, Springer, Berlin, Heidelberg.
- Khan M.Z.H., Sultana M., Al-Mamun M.R., Hasan M.R. (2016). Pyrolytic waste plastic oil and its diesel blend: fuel characterization. *Journal of Environmental and Public Health*, pp. 1-6. <https://doi.org/10.1155/2016/7869080>
- Maceiras R., Alfonsín V., Morales F.J. (2017). Recycling of waste engine oil for diesel production. *Waste Management*, 60, pp. 351-356. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2016.08.009>
- Mazouzi R., Khelidj B., Karas A., Kellaci A. (2014). Régénération des huiles lubrifiantes usagées par processus de traitement à l'acide. *Revue des Energies Renouvelables*, 17 (4), pp. 631-637. <https://www.cder.dz/spip.php?rubrique280>
- MINEP (Le Ministère de l'Environnement et de la Protection de la Nature) (2008). *Stratégie Nationale de Gestion des Déchets au Cameroun (période 2007-2015)*, DRAFT V 04/09/2008. pp. 57-58. [www.minep.gov.cm](http://www.minep.gov.cm), consulté le 30/06/19.
- Oladimeji Temitayo E., Sonibare Jacob A., Omoleye James A., Adegbola Abiola A., Okagbue Hilary I. (2018). Data on the treatment of used lubricating oil from two different sources using solvent extraction and adsorption. *Data in Brief*, 19, pp. 2240-2252. <https://doi.org/10.1016/j.dib.2018.07.003>
- Osman Doaa I., Attia Sayed K., Taman Afaf R. (2018). Recycling of used engine oil by different solvent. *Egyptian Journal of Petroleum*, 27(2), pp. 221-225. <https://doi.org/10.1016/j.ejpe.2017.05.010>
- Uhler Allen D., Stout Scott A., Douglas Gregory S., Healey Edward M., Emsbo-Mattingly Stephen D. (2016). 13-Chemical character of marine heavy fuel oils and lubricants. *Standard Handbook Oil Spill Environmental Forensics (Second Edition)*, pp. 641-683, <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-803832-1.00013-1>
- Yildiz Ibrahim, Açikkalp Emin, Caliskan Hakan, Mori Kazutoshi (2019). Environmental pollution cost analyses of biodiesel and diesel fuels for a diesel engine. *Journal of Environmental Management*, 243, pp. 218-226. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2019.05.002>



