

## Etude de la transestérification d'un mélange des huiles usagées pour la production du biodiesel

Z. Bettahar<sup>1</sup>, B. Cheknane<sup>1</sup> et K. Boutemak<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup> Laboratoire de Chimie Physique des Interfaces des Matériaux Appliquées à l'Environnement

<sup>2</sup> Laboratoire d'Analyse Fonctionnelle des Procédés Chimiques,  
Faculté de Technologie, Université de Blida 1  
Route de Soumâa, 09000 Blida, Algeria

(reçu le 10 Décembre 2016 – accepté le 20 Décembre 2016)

**Résumé** - Ce travail a pour objectif principal de valoriser un déchet agroalimentaire pour la synthèse et la caractérisation physico-chimique du biodiesel. La méthode utilisée est basée sur la réaction de transestérification des huiles en utilisant le méthanol en catalyse homogène basique. Dans notre étude, nous avons sélectionné trois types d'huiles usagées de friture à savoir: l'huile de frites, l'huile de poisson et l'huile de beignet et l'huile de mélange. Les résultats de l'estérification de ces huiles montrent de façon claire que la qualité de biodiesel produit est directement liée à la température. L'étude d'optimisation a permis de tirer une température optimale de 50°C pour l'obtention d'un biodiesel de bonne qualité. Les différentes caractéristiques physico-chimiques en terme de densité, viscosité, indice d'acide, indice de réfraction, indice de cétane, pouvoir calorifique, point d'écoulement, point de congélation et le point éclair, montrent que le biodiesel obtenu caractéristiques physico-chimiques comparables à ceux du pétro diesel selon les normes de Naftal et les normes internationales.

**Abstract** - The aim of the present study is to develop an agro-food waste for the synthesis and physico-chemical characterization of biodiesel. The method used is based on the trans-esterification reaction of the oils using methanol in basic homogeneous catalysis. In our study, we selected three types of used frying oils, namely: fried oil, fish oil and donut oil and mixing oil. The results of the esterification of these oils show that the quality of biodiesel produced is directly related to the temperature. The optimization study made it possible to obtain an optimum temperature of 50 ° C. in order to obtain a biodiesel of good quality. Various physico-chemical characteristics in terms of density, viscosity, acid number, refractive index, cetane number, calorific value, pour point, freezing point and flash point show that the biodiesel obtained physico- Chemicals comparable to those of petrodiesel according to Naftal standards and international standards.

**Mots clés:** Biodiesel - Transestérification - Huile végétale.

### 1. INTRODUCTION

De nos jours, l'industrialisation et la motorisation ne cessent de croître et demandent de plus en plus de carburant. Les suites de cet acte contribuent à l'augmentation de la pollution atmosphérique et des concentrations des gaz à effet de serre, dont l'influence sur le réchauffement climatique. Face à ce problème préoccupant, l'utilisation des biocarburants est une alternative plus 'propre' que le pétrole. Ce biodiesel biodégradable, non-toxique, présentant l'avantage de réduire la consommation du pétrole et de réduire les émissions de gaz à effet de serre [1].

Les biocarburants sont des carburants produits à partir de matériaux organiques renouvelables et non fossiles. Selon Fangrui *et al.* [2], ces derniers font partie de deux grandes familles, les substituts à l'essence (bioéthanol, biobutanol et biométhanol) et les substituts au carburant diesel (biodiesel).

La production du biodiesel a attiré une attention considérable dans le passé récent comme biocarburant pouvant contribuer à diminuer notre dépendance vis-à-vis des

combustibles fossiles. C'est un biocombustible biodégradable et une alternative écologique au diesel, produit par transformation d'huiles d'origine végétales, animales ou usées en esters alkyliques [3-5]. Il présente les avantages de renouvelabilité, non toxique, un point d'éclair élevé et moins de pollution [6, 7].

L'histoire du biocarburant a débuté en 1892, lorsque l'inventeur du moteur diesel, Rudolph Diesel a testé pour la première fois de l'huile d'arachide, dans le moteur qu'il a inventé, le moteur à combustion interne, et qui porte son nom [8]. Les inconvénients majeurs de l'utilisation des huiles végétales sont essentiellement liés à leur viscosité élevée (environ 11 – 17 fois plus élevée que le carburant diesel) et la volatilité faible qui engendre la formation de dépôts dans les moteurs [9]. Pour contourner ces inconvénients: les triglycérides qui constituent les huiles végétales peuvent être transformés en esters d'alcool et en glycérol par une réaction de transestérification avec du méthanol ou d'éthanol.

Actuellement, l'idée respectant le développement durable et écologique consiste à la récupération des huiles alimentaires usagées présentant un grave problème écologique et qui possèdent un fort potentiel pour être valorisées en carburants, du fait qu'elles sont très riches en triglycérides et en acides gras libres.

La transestérification est l'une des plus importantes méthodes utilisées pour la transformation des huiles végétales en carburant diesel. Il s'agit d'un procédé dans lequel les huiles végétales, les graisses animales ou les huiles à base des micro-algues sont mélangées à un alcool (éthanol ou méthanol) en présence d'un catalyseur [10].

Ce travail a pour objectif de produire un biodiesel répondant à la norme de qualité internationale, à partir d'une huile végétale usagée: l'huile issue de friture de: pomme de terre, poisson et les beignets et d'une collecte d'un mélange des huiles usagées ramenée de la société Recycoil; par la réaction de transestérification et les comparer au pétrodiesel qui répond à la norme de qualité internationale.

## **2. MATERIELS ET METHODES**

### **2.1 Présentation des échantillons**

Les matières premières utilisées pour la réalisation de ce travail représentent une huile végétale pure (HR), composée de 80 % de soja et 20 % de tournesol, trois types d'huile végétale usagée de friture, à fréquence d'usage ne dépassant pas 5 fois. L'huile des frites (HF), l'huile de poisson (HP) et l'huile de beignet (HS) et un échantillon ramené de la société Recycoil, présentant un mélange des huiles de fritures (HM).

### **2.2 Réactifs**

Les différents réactifs utilisés pour nos expériences sont: l'hydroxyde de sodium (NaOH) et le méthanol (C<sub>2</sub>H<sub>5</sub>OH) fournis par Panreac (Espagne).

### **2.3 Caractéristiques physico-chimiques des huiles usagées**

Dans le but de déterminer les caractéristiques physico-chimiques des différentes huiles usagées utilisées dans notre étude ont été déterminés selon les méthodes données par [11].

Dans notre étude, nous avons déterminé: la densité (NFT 60-214), la viscosité, la teneur en eau (NFT 60-201), les indices de réfraction (NFT 60-212) d'acide (NFT 60-204), de saponification (NFT 60-204) et d'iode (NFT 60-203).

### **2.4 Production du biodiesel**

Dans cette partie de notre travail, la production du biodiesel a été réalisée par transestérification des huiles végétales (vierge et usées) par le méthanol. Les conditions opératoires mises en jeu de la réaction ont été établies suite à une étude préliminaire. Dans cette partie, nous avons jugé utile d'étudier l'influence de la température de la réaction et la nature de l'huile utilisée sur le rendement et la qualité du biodiesel sera étudiée.

### 2.4.1 Réaction de transestérification

La réaction de transestérification des huiles a été réalisée avec le méthanol en présence d'un catalyseur basique à différentes températures (40, 50, 60, 70 °C). Cette synthèse a été réalisée avec un ratio molaire alcool/huile de 6:1 et du NaOH de 1% (en masse) par rapport à l'huile. La durée de la réaction est 2 heures à la température considérée.

Le rendement de la réaction est calculé selon la formule suivante:

$$R (\%) = m_b / m_h \times 100 \quad (1)$$

avec:  $m_b$  : masse de biodiesel;  $m_h$  : masse d'huile.

## 3. RESULTATS ET DISCUSSION

### 3.1 Caractérisation physico-chimique

Les caractéristiques physico-chimiques de l'huile végétale pure, des huiles de friture usagées (indice de réfraction, densité, viscosité, indice d'acide, indice de saponification, indice d'iode et la teneur en eau) sont données dans le **Tableau 1**.

**Tableau 1:** Caractéristiques physico-chimiques

Echantillons	HR	HF	HP	HS
Indice de réfraction	1.4746	1.4744	1.474	1.474
Densité (g/cm <sup>3</sup> )	0.919	0.926	0.921	0.930
Viscosité cinématique (mm <sup>2</sup> /s)	57.290	67.260	59.400	103.380
Indice d'acide (mgNaOH/g)	0.775	1.269	1.410	2.50
Indice de saponification (mgNaOH/kg)	133.000	168.000	154.000	208.000
Indice d'iode (gI <sub>2</sub> /100g)	129.700	124.400	124.200	120.900
Teneur en eau (%)	0.015	0.064	0.030	0.068

♦L'indice de réfraction des huiles a été mesuré à une température de 20 °C: {(1.4746 (HR), 1.4744 (HF), 1.4745(HP) et 1.4743 (HS)}. L'indice de réfraction des huiles varie en fonction de leur instauration. La réfraction mesurée grâce au prisme dépend de la modification de la vitesse de propagation de la lumière, cette modification sera proportionnelle à la saturation des acides gras et permettra donc d'avoir une idée plus au moins précise.

D'après les résultats affichés au **Tableau 1**, on peut remarquer clairement que les huiles végétales ont une densité qui varie entre 0.90 et 0.93. Ces résultats sont généralement proches de ceux trouvés par Firestone (1999) [12]. Toutefois, plusieurs chercheurs ont montré de leur part que la densité élevée des huiles a des effets néfastes sur les moteurs diesel [13].

En effet, les huiles végétales ont une inertie plus élevée que celle du gazole pour la même pression d'injection. Ainsi, la densité élevée des huiles végétales conduira à une augmentation de la longueur des jets de carburant, les entraînant au fond de la chambre de combustion.

D'après les résultats du **Tableau 1**, les valeurs de la densité sont comprises entre 0.919 et 0.930. La différence enregistrée entre la densité de l'huile pure et les huiles usagées est peut être due à l'utilisation des températures élevées (entre 160 et 180 °C) lors de la friture et en présence d'eau et d'oxygène, les triglycérides subissent un grand nombre de réactions complexes qui peuvent être classées en trois grandes familles: oxydation, polymérisation et hydrolyse.

La viscosité a une relation directe avec la fluidité des huiles. Dans notre cas et au regard des résultats de la viscosité, on peut observer clairement que nos huiles végétales usagées procèdent de très grande viscosité, ce qui est un handicap pour les utiliser directement comme biocarburant.

L'indice d'acide est fonction d'acides gras libres et caractérise l'état d'altération de l'huile par hydrolyse. Le **Tableau 1** démontre que l'huile pure présente une acidité assez faible par rapport aux huiles usagées qui sont des huiles oxydées et contiennent des acides gras libres formés durant la cuisson ou le stockage, alors une huile de bonne qualité a un faible taux d'acidité.

En catalyse homogène, l'hydrolyse alcaline (saponification) en présence de la soude ou de la potasse en milieu alcoolisé et d'acides gras est une réaction gênante pour la transestérification. Plus l'indice de saponification d'une huile est élevé, plus le rendement de la réaction de transestérification est faible. Nous remarquons que l'indice de saponification de l'huile pure est inférieur aux huiles usagées, cela est dû au raffinage et du traitement de l'huile pure par rapport aux autres huiles.

En effet, un indice de saponification faible correspond donc à des acides gras comportant une chaîne de carbone plus longue. Un indice de saponification élevé se traduit par un taux élevé d'acides gras à courte chaîne et une teneur en glycérol plus importante [14].

L'indice d'iode est une mesure du degré d'insaturation de l'huile ou des ester. Il est exprimé en gramme d'iode dissout dans 100 g d'huile plus l'huile est insaturée plus son indice est élevé. L'examen du **Tableau 1** montre que l'indice d'iode de l'huile pure est supérieur à celle des huiles usagées qui montre que l'huile vierge est moins saturée que les huiles usagées. La transestérification des acides gras avec un degré d'insaturation élevé est plus rapide que celle des acides gras ayant un degré d'insaturation plus faible [15].

La présence d'eau dans l'huile provoque des réactions secondaires qui peuvent avoir lieu. La présence d'eau et des acides libres constitue un paramètre à prendre en considération lors de la réaction de transestérification et en présence de la base (la soude), une réaction parasite aura lieu avec la transestérification, c'est la saponification.

Cette réaction est favorisée dans le cas d'une huile acide en présence d'eau, en effet la présence d'eau favorise les triglycérides à s'hydrolyser facilement donnant lieu au glycérol et aux acides libres.

### **3.2 Réaction de transestérification**

#### **3.2.1 Effet de la température sur le rendement en biodiesel**

L'examen de la figure 1 montre que la transestérification méthanolysée à une température de 50 °C a donné le meilleur rendement pour toutes les huiles, quelque soit sa nature (usagées ou pure).

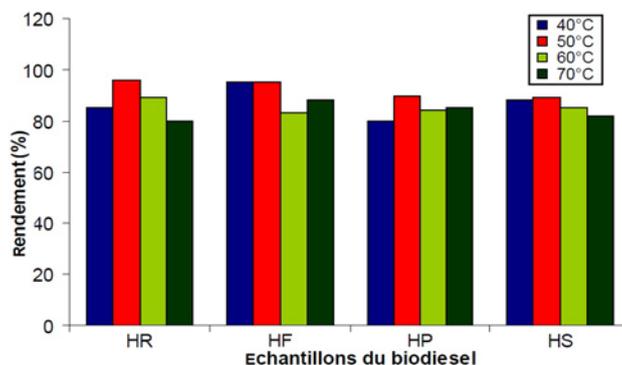


Fig. 1: Variation du rendement du biodiesel en fonction de la température

D'après l'histogramme de la figure 1, on peut observer que le meilleur rendement en biodiesel est obtenu avec l'estérification de l'huile pure et le rendement du biodiesel des huiles de friture usagées augmente avec la diminution de l'indice d'acide. Ces résultats sont en bon accord avec ceux obtenus dans la littérature.

### 3.2.2 Caractérisation du biodiesel

#### - Densité

La densité constitue une caractéristique importante, principalement pour les biocarburants, car elle conditionne le dimensionnement et les particularités technologiques des organes d'alimentation (pompes, injecteurs), de plus, sur un système installé, une utilisation de biocarburants de densité largement différentes, entraînerait des modifications de réglages de combustion avec des répercussions sur la puissance maximale, le rendement et les émissions de polluant.

Les résultats des mesures sont représentés sur la figure 2.

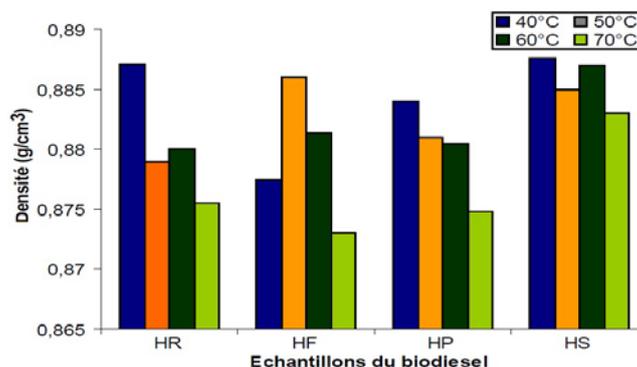


Fig. 2: Variation de densité des biodiesel en fonction la température

Les valeurs de la densité du biodiesel produits et de l'ordre de 0.7 à 0.889 g/cm<sup>3</sup> aux différentes températures. Ces valeurs sont presque identiques à ceux des normes européennes [16], dont la valeur varie entre 0,86 à 0,9g/cm<sup>3</sup>. Les valeurs de la densité des biodiesels sont inférieures à ceux des huiles.

Parce que le système d'injection de carburant fait appel à un dispositif débit métrique, si le biodiesel a une densité plus élevée, il faudra injecter une masse de carburant légèrement plus élevée et donc la densité de tous les biodiesels conforme aux normes et elle est proche de la densité du diesel.

### - Viscosité

La viscosité est une autre propriété importante du biodiesel puisqu'elle influe sur le fonctionnement du système d'injection. La variation de viscosité en fonction de température de réaction présentée sur la figure 3.

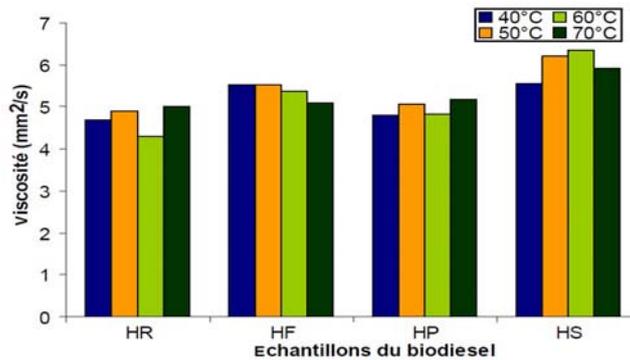


Fig. 3: Variation de viscosité des biodiesels en fonction la température

La viscosité du biodiesel synthétisé varie de 4.5 mm<sup>2</sup>/s à 6.2 mm<sup>2</sup>/s. Cette variation est en fonction du type de l'huile usagée et de la température de la réaction d'estérification. Toutefois, elle est inférieure à ceux des huiles utilisées.

Le principal intérêt de l'utilisation des esters par rapport à leurs huiles est l'abaissement de la viscosité. En effet, la viscosité diminue de l'ordre d'un facteur de 11 à 17 fois pour toutes les huiles. Cette baisse est un atout primordial puisqu'elle permet une meilleure atomisation par les injecteurs et donc une meilleure combustion.

Selon les résultats obtenus, nous remarquons que la viscosité du biodiesel produit ne dépasse pas la norme. En effet, une viscosité élevée ne favorise pas la pulvérisation ou atomisation lors de l'injection du carburant. En effet, la pression nécessaire pour une injection devra augmenter, ce qui conduira à une combustion incomplète provoquant ainsi des imbrûlées qui s'encrasseront sur les nez des injecteurs, les cylindres, les pistons. Ce fait conduira aussi à l'obstruction des organes d'alimentation du moteur [17].

### -Indice d'acide des biodiesels

L'indice d'acide de ces esters a été déterminé en utilisant le même protocole opératoire des huiles. Les résultats expérimentaux sont présentés sur la figure 4.

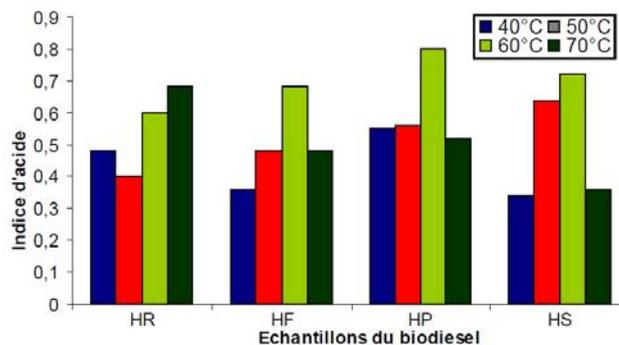


Fig. 4: Variation de l'indice d'acide des biodiesels en fonction la température

Les résultats expérimentaux montrent qu'il y a un abaissement aux valeurs de l'indice d'acide des huiles par rapport à leurs biodiesels, ceci confirme que la réaction de transestérification raffine les huiles de ces acides gras libres. Elle diminue ainsi son taux d'acidité, c'est ce qui explique cette variation. En le comparant avec la norme européenne, on trouve que notre biodiesel est conforme aux normes.

### 3.3 Indice de réfraction des biodiesels

Les valeurs de l'indice de réfraction ont été mesurées avec un réfractomètre à température ambiante et les résultats sont présentés dans la figure 5.

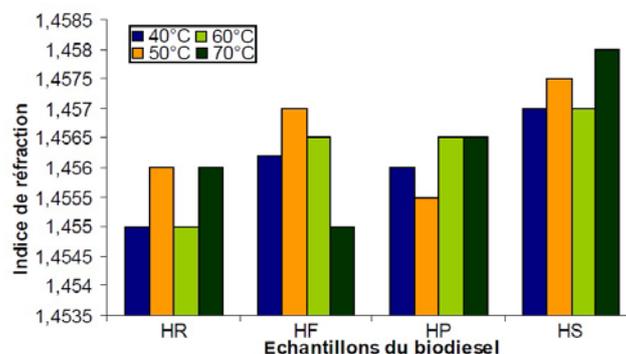


Fig. 5: Variation de l'indice de réfraction des biodiesels en fonction la température

Les valeurs de l'indice de réfraction des biodiesel sont inférieures à celle des huiles et ils sont conformes aux normes et proche de l'indice de réfraction de pétrodiesel.

#### -Point éclair

Le point éclair est la température la plus basse à laquelle l'application d'une flamme d'essai provoque l'allumage d'une portion de vapeur dans des conditions d'essai spécifiées.

Les valeurs des points éclair sont présentées dans le **Tableau** ci-dessous.

**Tableau 2:** Point éclair des huiles et de leurs biodiesels

Echantillons	HR	HF	HP	HS
Point éclair des huiles	> 290 °C	> 290 °C	> 290 °C	> 290 °C
Point éclair du biodiesel	186	186	186	186

Les valeurs enregistrées pour les quatre types d'huiles sont très élevées. Alors que le point éclair des esters est moins élevé que l'huile. Le point éclair des esters est plus élevé que celui du gasoil de référence (55°C). Cela en fait des carburants moins dangereux à manipuler que le gasoil.

#### -Point de congélation

Les valeurs des points de congélation ont été mesurées au niveau de la société Sonacome. Les résultats sont présentés dans le **Tableau** ci-dessous.

**Tableau 3:** Point de congélation des huiles et de leurs biodiels

Echantillons	HR	HF	HP	HS
Point congélation des huiles	-10 °C	-10 °C	-8 °C	-8 °C
Point congélation -biodiesel	-1	-1	-1	-1

Les principaux défis lors de la production du biodiesel consistent à améliorer ses caractéristiques physico-chimiques, à diminuer sa viscosité et son point de congélation. Nous remarquons que l'indice de congélation est conforme aux normes et inférieur à l'indice de congélation des huiles.

#### -Point d'écoulement

Le point d'écoulement représente la plus basse température à la quelle le biodiesel commence à s'écouler lorsqu'il est refroidi, sans agitation, dans les conditions normalisées. En comparant nos résultats aux normes européennes ( $-15 \div 10$  °C),

Les valeurs des points d'écoulement ont été mesurées au niveau de la société Naftal et les résultats présentés dans le **Tableau 4** ci-dessous.

**Tableau 4:** Point d'écoulement du biodiesel

Echantillons	HR	HF	HP	HS
Point d'écoulement	-3 °C	0 °C	0 °C	-3 °C

Le biodiesel produit possède un point d'écoulement conforme aux normes internationales.

#### -Indice de cétane

L'indice de cétane sert à apprécier l'aptitude à l'auto inflammation d'un gazole sur une échelle de 0 à 100. Il mesure l'aptitude à l'allumage de l'huile sous l'effet de la pression. Cet indice caractérise le délai entre l'injection et la combustion. Plus il est élevé, plus le carburant est facilement inflammable (démarrage à froid aisé). Les huiles végétales et les mélanges ont des indices de cétane relativement faibles comparés au diesel [18].

Le **Tableau 5** présente les valeurs des indices de cétane du biodiesel produits à partir de l'huile vierge et des huiles usagées.

**Tableau 5:** Indices de cétane du biodiesel

Echantillons	HR	HF	HP	HS
Indice de cétane	58	51	54	48

En effet, plus la valeur de l'indice de cétane est élevée, plus le délai d'inflammation du combustible est court. Plus la combustion est facile et plus la quantité de matières brûlées (hydrocarbures, monoxyde de carbone, etc.) est faible.

En comparant nos résultats avec la valeur de l'indice de cétane selon les normes Européennes EN14214 [16], l'examen du **Tableau 5** montre que l'indice de cétane du diesel obtenu par la transestérification des différents types d'huiles usagées HR (58), HF (51) et HP (54) sont conformes au biodiesel selon les normes internationales (51 mm).

#### -Pouvoir calorifique

Le pouvoir calorifique représente l'énergie dégagée sous forme de chaleur par la réaction de combustion par l'oxygène. Il s'agit de la quantité d'énergie libérée lors de la combustion d'un kilogramme de carburant.

Les résultats présentés dans le **Tableau 6** montrent que le pouvoir calorifique du biodiesel produits des différents types d'huiles est conforme aux normes internationales [19].

**Tableau 6:** Indices de cétane du biodiesel

Echantillons	HR	HF	HP	HS
Pouvoir calorifique	41.9 MJ/kg	40.62 MJ/kg	41.15 MJ/kg	39.10 MJ/kg

### 3.3 Production du biodiesel à partir de mélange des huiles usagées

Cet échantillon a été choisi dans le but de comparer, les caractéristiques du biodiesel synthétisé à partir d'une huile de friture avec le biodiesel synthétisé à partir d'un mélange des huiles de friture ramené de la société Recycoil. Le rendement obtenu était de l'ordre de 86 %. La caractérisation de l'huile de mélange et de son biodiesel produit sont présentés dans le **Tableau 7**.

**Tableau 7:** Caractéristiques physico-chimiques de l'huile de mélange et son biodiesel

	Huile de mélange	Biodiesel
Indice de réfraction	1.4723	1.4535
Densité, mg/cm <sup>3</sup>	0.918	0.875
Viscosité cinématique, mm <sup>2</sup> /s	6.726	4.53
Indice d'acide, mgNaOH/g	1.12	0.7
Ind. saponification, mgNaOH/g	172	-
Indice d'iode, gIode/100g	126	-
Point éclair, °C	308	178
Point de congélation, °C	-5	-1
Point d'écoulement, °C	-	-3
Indice de cétane, °C	-	51
Teneur en eau, %	0.06	-
Pouvoir calorifique, MJ/kg	-	41.46

### 3.4 Comparaison entre le biodiesel d'une seule huile et le biodiesel de mélange des huiles de friture avec le pétro diesel (Naftal) et les normes internationales

Afin de voir, si nos diesels synthétisés présentent des propriétés conformes avec ceux des normes internationales. Le **Tableau 8** résume les résultats de l'étude comparative du biodiesel synthétisé avec le pétro diesel Algérien et le biodiesel selon les normes internationales.

**Tableau 8:** Comparaison entre les biodiesels et le pétro diesel avec les normes

	Biodiesel HF (50°C)	Biodiesel du mélange	Pétrodiesel Naftal (conforme à la norme NA 8110)	Normes internationales de biodiesel
Densité	0.886	0.874	0.831	0.86-0.9
Viscosité	5.33	4.53	4.32	1.9-6 D445
Point éclair	186	178	67	101 Min
Point d'écoulement	0	-3	-9	-15 ÷ 10 ASTM D6751
Point de congélation	-1	-1		-3 ÷ 12 ASTM D6751
Indice de cétane	58	51	54.1	51 Min
Indice de réfraction	1.4557	1.4535	-	-
Indice d'acide	0.48	0.7	-	0.8 max

L'examen du **Tableau 8** montre que notre biodiesel présente des caractéristiques conformes aux normes.

#### 4. CONCLUSION

Le biodiesel est l'une des sources d'énergie renouvelable les plus important. Il est non toxique, biodégradable, son pouvoir calorifique est important et son utilisation réduit l'émission de gaz à effet de serre.

Cette étude a montré que l'estérification de l'huile de mélange de friture et l'huile usagée de friture à 50 °C a présenté des caractéristiques physico-chimiques comparables à ceux du pétrodiesel, selon les normes de Naftal et les normes internationales et Suite à ces comparaisons effectuées en, on peut dire que le biodiesel synthétisé est un carburant très proche du diesel, tant au niveau des caractéristiques qu'au niveau de l'énergie libérée.

#### REFERENCES

- [1] Publication N°EVC 031, Centre de référence en agriculture et agroalimentaire du Québec. La production de biodiesel à partir des cultures oléagineuses, 2008.
- [2] F. Maa and M.A. Hanna, '*Biodiesel Production: A Review*', Bioresource Technology, Vol. 70, N°1, pp. 1 - 15, 1999.
- [3] J. Nikiema and M. Heitz, '*Biodiesel. II. Production - A Synthesis*', *Canadian Journal of Civil Engineering*, Vol. 35, N°1, pp. 107 – 117, 2008.
- [4] Z. Helwani, M.R. Othman, N. Aziz, W.J.N. Fernando, J. Kim, 'Technologies for Production of Biodiesel Focusing on Green Catalytic Techniques: A Review', *Journal of Fuel Processing Technology*, Vol. 90, pp. 1502 - 1514, 2009.
- [5] Dennis Y.C. Leung, X. Wu and M.K.H. Leung. '*A Review on Biodiesel Production Using Catalyzed Transesterification*', *Applied Energy*, Vol. 87, N°4, pp. 1083 - 1095, 2010.
- [6] S. Mazloom, T. Muhammad, A. Saqib, G. Qing-Xiang and F. Yao, '*Transesterification of Jojoba Oil, Sunflower Oil, Neem Oil, Rocket Seed Oil and Linseed Oil by Tin Catalysts*', *Biomass and Bioenergy*, Vol. 70, pp. 225 - 229, 2014.
- [7] T. Krawczyk, '*Biodiesel-Alternative Fuel Makes Inroads But Hurdles Remain*', *Inform* Vol. 7, pp. 801 - 829, 1996.
- [8] E.G. Shay, '*Diesel Fuel From Vegetable Oils: Status and Opportunities*', *Biomass and Bioenergy*, Vol. 4, N°4, pp. 227 - 242, 1993.
- [9] A. Srivastava and R. Prasad, '*Triglycerides-Based Diesel Fuels*', *Renewable and Sustainable Reviews*, Vol. 4, pp. 111 - 133, 2000.
- [10] G. Knothe, J.H. Van Gerpen and J. Krahl, '*The Biodiesel Handbook*', AOCS Press, Champaign, IL, 2005.
- [11] AFNOR, Association Française de Normalisation, '*Recueil de Normes Françaises. Corps Gras, Graines Oléagineuses, Produits Dérivés*', 5<sup>ème</sup> Edition, Paris, 1993.
- [12] D. Firestone, '*Physical and Chemical Characteristics of Oils, Fats and Waxes*', AOCS Press, 1999.
- [13] A. Abollé, K. Loukou and H. Planche, '*The Density and Cloud Point of Diesel Oil and Mixture With the Straight Vegetable Oil (SVO): Palm, Cabbage, Cotton, Groundnut, Copra and Sunflower*', *Biomass and Bioenergy*, Vol. 33, N°12, pp. 1653 - 1659, 2009.

- [14] R. Ferhat, S. Laroui et M. Abdeddaim, '*Huile et Profil en Acides Gras des Amandes du Crataegus Azarolus L.*', Lebanese Science Journal, Vol. 15, N° 2, pp. 73 - 79, 2014.
- [15] S. Pinzi, J.M. Mata-Granados, F.J. Lopez-Gimenez, M.D. Luque de Castro and M.P. Dorado, '*Influence of Vegetable Oils Fatty Acid Composition on Biodiesel Optimization*', Bioresource Technology, Vol. 102, N°2, pp. 1059 - 1065, 2011.
- [16] Normes Européennes- NF EN 14214: '*Produits Pétroliers Liquides - Esters Méthyliques d'Acides Gras (EMAG) pour Moteurs Diesel et comme Combustible de Chauffage*', - Exigences et méthodes d'essai - Carburants pour automobiles, 2013.
- [17] E.D. Kouassi, A. Abolle, B. Yao and D. Boa, '*Essais de Transestérifications Comparées par Méthanolyse et Ethanolyse de l'Huile de Palme: Mesure de la Densité et de la Viscosité en Relation avec la Structure Moléculaire*', International Journal of Innovation and Applied Studies, Vol. 12, N°4, pp. 918 - 930, 2015.
- [18] A. Murugesan, C. Umarani, N. Subramanian and N. Nedunchezian, '*Bio-Diesel as an Alternative Fuel for Diesel Engines - A Review*', Renewable and Sustainable Energy Reviews, Vol. 13, N°3, pp. 653 - 662, 2007.
- [19] S. Lee and Y.T. Shah, '*Biofuels and Bioenergy: Processes Technologies*', Editeur CRC Press. Collection: Green Chemistry and Chemical Engineering, 341 p., 2012.