

Conversion d'une l'Huile Végétale en Carburant pour le Moteur Diesel

Lyes Tarabet, Samir Hanchi, Mohand Tazerout,

Résumé— Ces dernières années, la consommation pétrolière croissante dans le monde entier a induit des problèmes économiques, sécuritaires et écologiques. En conséquence, la recherche intensive de carburant de substitution est entreprise pour trouver le plus approprié aux combustibles fossiles. L'utilisation des biocarburants comme l'éthanol, le biogaz et le biodiesel dans des moteurs diesel est significative dans ce contexte. Vu la grande quantité d'arbres d'eucalyptus disponible dans les régions arides, cet arbre a été choisi dans le cas de ce travail pour étudier l'huile contenue dans ses feuilles. Cette huile a été extraite par entraînement à la vapeur. La caractérisation physico-chimique de cette l'huile végétale pure a montré que ses propriétés sont comparables à celles du gazole sauf pour la viscosité qui est plus élevée que celle du gazole. D'après des travaux antérieurs, la viscosité élevée des huiles empêche son utilisation directe sur moteur. Ceci est dû à la mauvaise atomisation de l'huile, le dépôt de carbone au niveau des injecteurs et la détérioration de la pompe d'injection par la suite. Pour remédier à ces problèmes, l'estérification de l'huile avec de l'éthanol en présence d'un catalyseur (NaOH) a été réalisée. Cette technique est la plus utilisée par rapport aux autres techniques telles que la dilution, le préchauffage, l'émulsion et la pyrolyse. La caractérisation physico-chimique de l'ester obtenu a montré que la viscosité a été très proche de celle du gazole avec l'amélioration sensible de quelques propriétés telles que le pouvoir calorifique et la densité.

Mots clés— biodiesel, viscosité, transestérification, huile d'eucalyptus.

I. INTRODUCTION

Nous assistons depuis 20 ans à un changement climatique dû à une forte aggravation de l'effet de serre dont les émissions de CO₂ issues de la combustion des hydrocarbures d'origine fossile sont les principales responsables.

Lyes Tarabet, EMP, Laboratoire des Systèmes Energétiques, BP17, Bordj El Bahri, 16111, Algérie
E-mail: ltarabet@gmail.com

Samir Hanchi, EMP, Laboratoire de Mécanique des Fluides BP17, Bordj El Bahri, 16111, Algérie

Mohand Tazerout, Ecole des Mines de Nantes, Département des Systèmes

Energétiques et environnement, 4 Rue Alfred Kastler, Nantes, 44307, France

Dans ce contexte la recherche d'alternatives énergétiques devient une préoccupation majeure à l'échelle planétaire. Parmi les solutions, l'utilisation des biocarburants, dans le domaine du transport, issus de la biomasse et sont obtenus par des procédés de transformation comme la pyrolyse, la fermentation ou encore la gazéification [1]-[4]. Les biocarburants sont des carburants liquides produits à partir de plantes cultivées. Suivant les filières, on cherche à produire de l'huile ou de l'alcool par fermentation alcoolique de sucres ou d'amidon hydrolysé. On y inclut aussi parfois les carburants gazeux obtenus à partir de biomasse végétale ou animale (dihydrogène ou méthane) et les carburants solides comme le charbon de bois.

Les biocarburants de première génération issus de produits agricoles (colza, tournesol, maïs...) semblaient avoir que des avantages (réduction des gaz à effet de serre et dépendance énergétique) mais par la suite, ils ont été remis en cause par leurs effets sur les prix des produits agricoles destinés à la consommation humaine et animale. Par conséquent, les recherches ont été focalisées sur d'autres produits issus de source ligno-cellulosique (bois, feuilles, pailles...) pour élaborer des biocarburants dit de seconde génération. L'utilisation des huiles végétales pures dans les moteurs Diesel apparaît alors comme une solution intéressante de valoriser énergétiquement ces réserves de biomasses [5]. Mais, généralement l'utilisation directe de l'huile sur les moteurs de véhicules récents où l'électronique est très présents et ces moteurs demandent beaucoup de précision, génère des problèmes de combustion due à la mauvaise pulvérisation des huiles [6]-[9]. En effet, bien que les huiles végétales possèdent un pouvoir calorifique proche de celui du gazole standard, leur viscosité plus élevée à température ambiante engendre des endommagements du système d'injection. L'huile végétale brute se compose d'une molécule de glycérine qui lie trois chaînes d'acides gras. C'est cette glycérine qui pose problème en substitution du gazole.

Par conséquent, l'utilisation d'huile végétale comme carburant exige la diminution de sa viscosité. D'après des études antérieures, le problème de viscosité a été surmonté par l'une de ces techniques : préchauffage de l'huile, dilution avec

un autre carburant conventionnel, la microémulsification avec de l'éthanol et la transestérification [10].

Vu la grande quantité d'arbres d'eucalyptus disponible dans les régions arides, cet arbre a été choisi dans le cas de ce travail pour étudier l'huile contenue dans ses feuilles.

La caractérisation physico-chimique de cette l'huile d'eucalyptus a montré qu'elle a des propriétés très proches de celles du gazole sauf la viscosité a été très élevée. Pour remédier à ce problème, elle a été estérifiée avec de l'éthanol. Les propriétés thermo-physiques du biodiesel obtenu sont très étroitement assorties avec celles du gazole.

II. PROCEDURE EXPERIMENTALE

A. Matériel utilisé

L'arbre d'eucalyptus, choisi dans le présent travail pour étudier l'huile contenue dans ses feuilles, est parmi les arbres les plus grands au monde. Il peut accroître jusqu'à 200 mètres. La majorité des arbres d'eucalyptus ont des feuilles persistantes et s'adaptent à toutes les conditions climatiques. Il existe plusieurs méthodes d'extraction d'huile, bien que certaines ne sont pas employés aujourd'hui. Actuellement, la méthode d'extraction la plus populaire, celle utilisée dans ce travail, est par entraînement à la vapeur. Des feuilles d'eucalyptus ont été bouillies dans l'eau. Après condensation de la vapeur, le liquide obtenu est mélangé avec de l'hexane pour séparer la phase organique de la phase aqueuse.

La phase organique récupérée est alors chauffée à la température d'évaporation de l'hexane (41°C). Ceci a permis la séparation de l'hexane et de l'huile brute (fig. 1). Un rendement optimal d'extraction de 5.5% est obtenu pendant la saison de printemps, quand les feuilles contiennent plus d'huile.

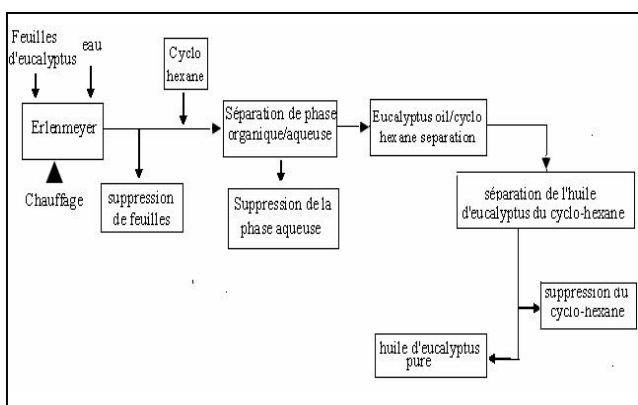


Fig. 1 : Processus d'extraction de l'huile d'eucalyptus

B. Expérience d'estérification

La réaction d'estérification est réalisée dans un réacteur en ballon de 250 ml équipé d'un réfrigérant à reflux et d'un agitateur magnétique. Pendant deux heures, l'agitation est effectuée du mélange contenant de l'huile d'eucalyptus, de

l'éthanol absolu (96%) et du catalyseur (NaOH), selon les rapports molaires de 6:1:0.2 respectivement. Après la décantation du produit obtenu, la glycérine est retirée du mélange. Ensuite, l'ester brut restant est neutralisé et est lavé trois fois avec de l'eau distillée. Des essais de séparation de phase sont réalisés par gravitation dans une ampoule à décantation.

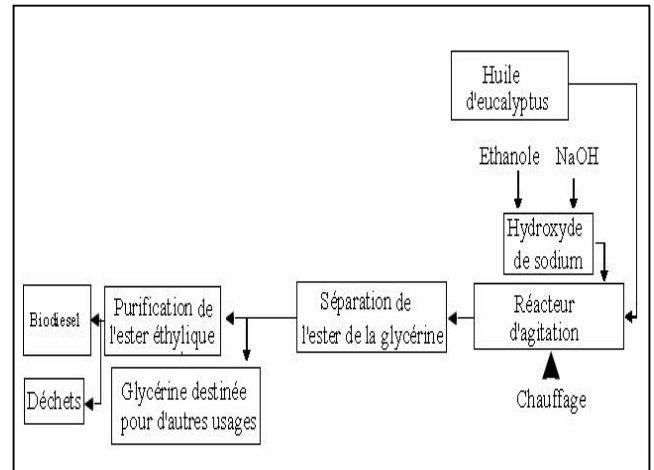


Fig. 2 : Processus d'estérification de l'huile d'eucalyptus

C. Propriétés physico-chimiques

Les principales propriétés physico-chimiques de l'huile d'eucalyptus et de son ester ont été évaluées. Pour estimer la viscosité du carburant, un modèle de viscosimètre rotatif type Mettler RM 180 Rheomat est choisi (théorie de Couette). L'échantillon d'essai est placé dans un bain de circulation de la température pour maintenir la température constante. Un réchauffeur est utilisé pour maintenir l'eau à une température constante. Le pouvoir calorifique supérieur (PCS) est mesurée par un calorimètre (modèle C7000, IKA). Un analyseur chimique thermo Finnigan (modèle Flash 1112, série EA) est employé pour estimer la composition élémentaire. La composition en acides gras de l'huile d'eucalyptus a été déterminée en utilisant la chromatographie en phase gazeuse (série Agilent 6890) équipées du détecteur d'ionisation de la flamme et de la colonne capillaire (30 m × 0.25mm × 0.25mm). Environ 0.1 ml d'huile a été converti en ester méthylique en utilisant 1.0 ml de NaOH en 1.0 ml d'hexane avant d'être injectée dans la CHROMATOGRAPHIE EN PHASE GAZEUSE. La température du détecteur a été programmée à 240°C avec un débit de 0.8 ml/min. La température de l'injecteur a été fixée à 240°C. L'hydrogène a été employé comme gaz porteur.

Le spectre d'absorption infrarouge des échantillons est obtenu par un spectromètre de type FTIR 8400S en utilisant des pastilles dans la gamme de 400-4000 cm⁻¹. Le point d'éclair est déterminé par l'appareil de type NPM 440 (PENSKY MARTENS). L'indice d'acide est la mesure du

nombre de groupes fonctionnels acétique dans un échantillon, et est mesuré en terme de nombre de milligrammes d'hydroxyde de potassium (KOH) nécessaire pour neutraliser l'acide libre d'un gramme d'huile. Le point d'ébullition est déterminé par l'analyse thermogravimétrique avec l'appareil SETSYS Evolution TGA Model. A la pression ambiante, un débit de l'écoulement porteur (N₂) est fixé à 50 ml/mn. A cause du coût et de la difficulté de la mesure de quelques propriétés, telles que l'indice de cétane et l'indice d'iode, des corrélations ont été utilisées.

La teneur en iode, exprimée comme le nombre de grammes d'iode absorbée par un échantillon de 100g, représente une description de l'insaturation de l'huiles et de leurs dérivés d'acide gras, et est déterminée directement à partir de la composition en acides gras et des facteurs d'acides correspondants suivant la méthode standard. Les facteurs d'acides sont les rapports de réaction d'I₂ aux différents acides gras. Le calcul employé pour déterminer la teneur en iode est :

$$Iodine\ value = \sum (\% \text{ of Fatty acid} \times acid\ factor)$$

où \sum représente la sommation du produit de tous les acides gras et de leurs facteurs d'acides correspondants .

d'où :

TABLEAU 1
FACTEURS DES ACIDES GRAS

Acide gras	Facteur d'acide
Acide hexadécénoïque	0.9976
Acide octadécénoïque	0.8986
Acide octadécadiénoïque	1.810
Acide octadécatriénoïque	2.735
Acide eicosénoïque	0.817
Acide docosénoïque	0.7497

III. RESULTATS ET DISCUSSIONS

A. Caractérisation de l'huile d'eucalyptus

Fig. 2 représente le spectre infrarouge de l'huile d'eucalyptus. L'interprétation du spectre a été déduite en se référant au data book de spectrométrie infrarouge [11].

Les bandes d'absorption au voisinage de 3000 cm⁻¹ sont attribuées au groupement H-C=, ceux qui sont situées entre 2933 et 2849 cm⁻¹ pour les groupements -CH₂-, à 1741 cm⁻¹ pour les groupements carbonyles, à 1161 cm⁻¹ pour les groupements C-O-C, et enfin la bande 722 cm⁻¹ pour les groupements -(CH₂)_n-, constituant la chaîne des acides gras aliphatique.

La composition en acide gras de l'huile d'eucalyptus et d'autres huiles végétales est donnée dans le tableau 2. On remarque que l'huile d'eucalyptus est constituée principalement d'acide oléique (90%), et de faible

pourcentage d'acide palmitique (7%) et d'acide linoléique (2.6%).

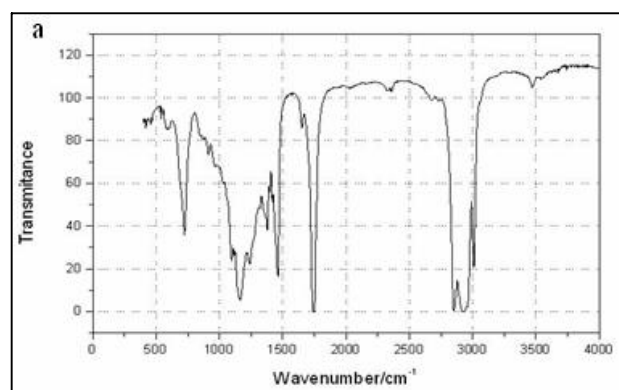


Fig. 3 : Spectre infra-rouge de l'huile d'eucalyptus

En comparaison avec les autres profils en acide gras des huiles de soja et de tournesol, les acides gras insaturés et saturés de l'huile d'eucalyptus sont plus proches de ceux de l'huile de tournesol. Pour l'huile de soja, leurs profils en acides gras saturés et non saturés sont respectivement plus important et faible à ceux de l'huile d'eucalyptus. Le pourcentage élevé en acide oléique prouve que l'huile d'eucalyptus ne se solidifie pas à la température ambiante, et les faibles pourcentages en terme d'acide saturé et polyinsaturé tendent à donner un biodiesel avec une bonne stabilité à l'oxydation [12].

Les propriétés physico-chimiques de l'huile d'eucalyptus ont été mesurées par des méthodes standard, et elles ont été comparées avec celles du gazole et d'autres huiles végétales utilisées comme carburant (Tableau 3).

TABLEAU 2
COMPOSITION EN ACIDE GRAS

Acide	H. Eucalyptus	H. Soja	H. Tournesol
Palmitique	7	11.75	6.8
Stéarique	0	3.15	3.26
Oléique	90	13.26	16.93
Linoléique	2.6	55.33	73.73
Linoléonique	0	6.31	0
autres	0.4	-	-
Saturé	7	14.9	10.06
Non saturé	92.6	74.9	90.66

Il est remarqué que les propriétés de l'huile d'eucalyptus sont en concordance avec quelques huiles étudiées dans la littérature [13]. La gravité spécifique de l'huile d'eucalyptus est légèrement supérieure à celle du gazole. Le pouvoir calorifique supérieur (PCS) est inférieur par rapport à celui du gazole grâce à la teneur d'oxygène dans la molécule de l'huile d'eucalyptus. En comparaison avec les autres huiles, approximativement, elles ont le même PCS.

Cependant, la viscosité cinématique de l'huile d'eucalyptus est inférieure à celle des autres huiles végétales, néanmoins elle est très supérieure à celle du gazole.

Le comportement rhéologique de l'huile d'eucalyptus s'obtient en lui appliquant, pour une température donnée, plusieurs contraintes de cisaillements. Cette méthode tirée de la théorie des écoulements de Couette permet d'obtenir la viscosité dynamique ou la contrainte tangentielle en fonction du taux de cisaillement.

La viscosité dynamique se déduit de la relation suivante :

$$\tau = \mu \cdot \omega$$

La représentation de la contrainte de cisaillement en fonction du taux de cisaillement (figure 4) montre que la variation est linéaire qui démarre de zéro, ce qui permet de dire que l'huile d'eucalyptus a un comportement Newtonien à la température d'essais (25°C).

L'utilisation directe de l'huile d'eucalyptus comme carburant n'est pas possible due aux problèmes qui peuvent être engendrés par sa viscosité trop élevée tels que la défection du système d'injection (pompe d'injection et injecteurs) du moteur. Une première tentative de faire abaisser cette viscosité a été testée par chauffage. La figure 5 illustre l'effet de la température sur la viscosité de l'huile d'eucalyptus. On remarque que la réduction de la viscosité de l'huile a pu atteindre les 88% à un chauffage de 100 °C. Néanmoins, elle reste toujours supérieure à celle du gazole.

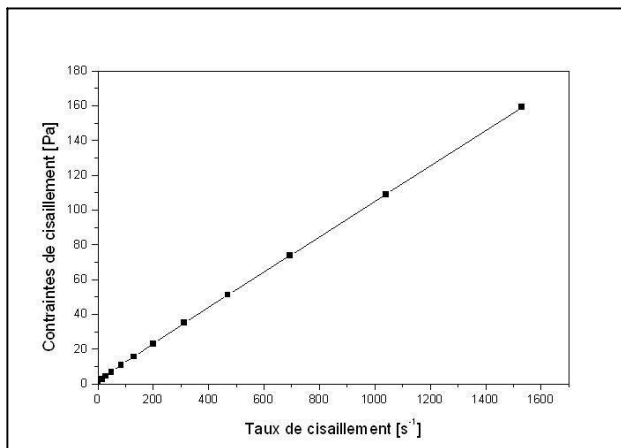


Fig. 4 : Comportement rhéologique de l'huile d'eucalyptus

Les résultats mesurés de la viscosité ont servis à mettre une corrélation qui permet d'approximer la viscosité cinématique en fonction de la température à partir de l'équation suivante :

$$\nu = A + B \times T + C \times T^2 + D \times T^3 + E \times T^4$$

où A, B, C, D et E sont des constantes, T est la température en K, et ν la viscosité cinématique en cSt (mm²/s). Cette équation est un polynôme d'ordre 4, et ses différentes constantes peuvent être trouvées par une approximation numérique. Les constantes A, B, C, D et E sont données dans le tableau 3. Cette corrélation est validée juste dans l'intervalle des températures de 24 à 50°C.

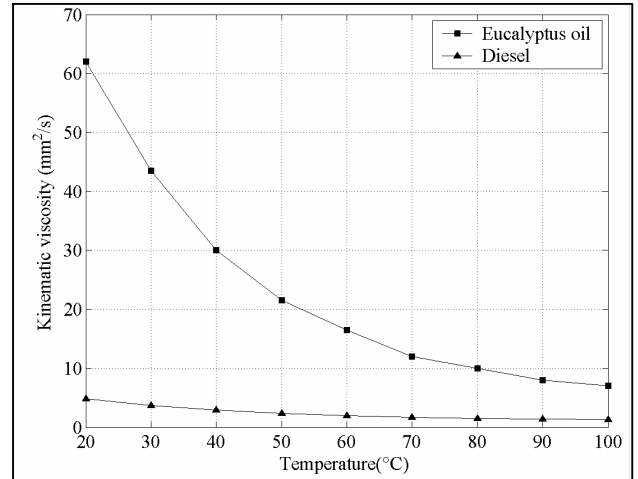


Fig. 5 : Effet de la température sur la viscosité de l'huile d'eucalyptus

L'indice d'acide est relativement faible (0.3%). Ce résultat nous permet d'utiliser un catalyseur basique (NaOH, KOH...) pour estérifier l'huile sans aucun traitement préalable de l'huile. D'après des études antérieures [14], il est connu qu'un taux d'indice d'acide supérieur à 3% mène à diminuer le rendement d'estérification, et conduire à la formation du savon dans le milieu de la réaction. La formation de savon réduira le rendement d'estérification, et aggraverait le problème de séparation de phase à l'étape de la récupération du produit final.

TABLEAU 3
VALEURS DES CONSTANTES DE LA CORRELATION

A	B	C	D	E
135.85	-5.0112	812.2*10 ⁻⁴	-63.19*10 ⁻⁵	19.13*10 ⁻⁵

TABLEAU 4
PROPRIETES PHYSICO-CIMIQUES DE L'HUILE BRUTE

Propriétés	Eucalyptus	Gazole	Soja	Tournesol
C (m.%)	77.1	86	-	-
H (m.%)	11.5	14	-	-
O (m.%)	11.4	0	-	-
N (m.%)	0	0	-	-
S (m.%)	0	0	-	-
γ	0.950	0.830	0.92	0.918
ν à 40°C	30	2.4	65	58
	39.63	45.40	39.60	39.50

PCS(MJ/kg)	0.3	-	0.2	0.15
Indice d'acide (%)				

B. Estérification et caractérisation

Au cours de l'agitation du mélange huile, alcool et NaOH, la couleur du mélange change du jaunâtre au rougeâtre. A la fin du processus de transestérification, le mélange est mis dans une ampoule à décanter. Quand la séparation des deux phases (ester/ glycérol) est réalisée, le glycérol de couleur marron foncée est retiré. Ensuite, l'ester brut a été lavé avec de l'eau distillée pour retirer toutes traces d'alcool et de NaOH. Afin d'améliorer le rendement de la transestérification, les paramètres affectant le processus ont été ajustés tels que les rapports molaires huile, alcool et catalyseur, la durée de la réaction, le type du catalyseur et la température de la réaction. Un rendement optimal de 95% a été atteint dans les conditions suivantes : rapport molaire de 6 :1 :0.2, température de réaction = 50 °C, durée de réaction = 60mn et NaOH comme catalyseur.

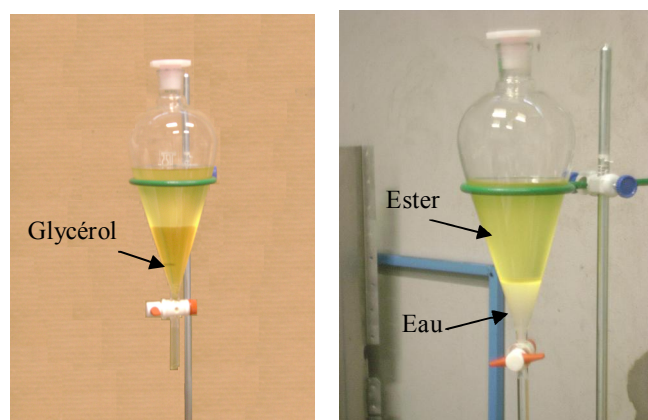


Fig. 6 : Séparation de phase et lavage d'ester

La figure 7 montre le spectre infrarouge du biodiesel d'eucalyptus obtenu par la voie éthylrique. Suivant l'interprétation déduite du Data book de spectrométrie infrarouge (Silverstein, 1998), le spectre présente une dense bande entre 1750 et 1735 cm^{-1} attribuée aux esters aliphatiques saturés C=O, et une forte bande localisée entre 1180 et 1085 cm^{-1} en conséquence à l'élongation asymétrique des groupes fonctionnels C-O-C.

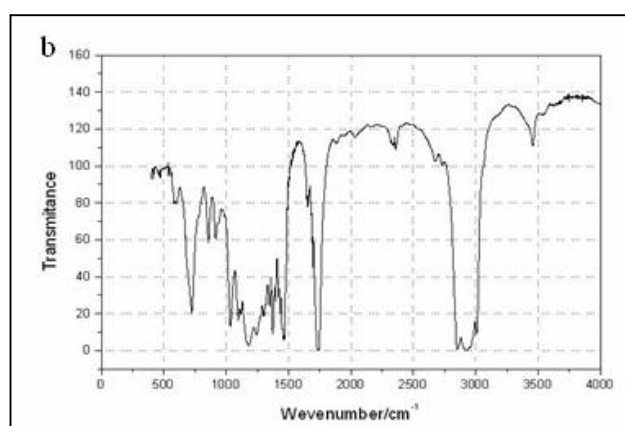


Fig. 7 : Spectre infrarouge de l'ester d'eucalyptus

L'évaluation des différentes propriétés physico-chimiques du biodiesel d'eucalyptus (BE) obtenu révèle des résultats très prometteurs comme ceux sont présentés dans le tableau 5. Il est remarqué que les principales propriétés se sont améliorées par rapport à celles de l'huile brute.

L'analyse élémentaire du BE montre que le biodiesel a presque gardé la même composition en C, H et O que celle de l'huile brute. La densité du BE est 880 kg/m^3 . Tandis que suivant la norme européenne (EN 14214), la densité des biodiesels normalisés à la même température est comprise entre 860 et 900 kg/m^3 . La viscosité cinématique mesurée à 40°C est trouvée à 4.55 mm^2/s qui est dans l'intervalle recommandé par les normes européenne et américaine. Le pouvoir calorifique supérieur est légèrement amélioré à celui de l'huile brute. La température du point d'éclair est de 175°C. Cette valeur est supérieure à la température minimale recommandée par la norme américaine des biodiesels standard (ASTM D6751). Cette température élevée du point d'éclair permet le stockage du BE à la température ambiante en toute sécurité. Le point d'ébullition du BE a été déterminé par l'analyse thermogravimétrique (TGA). A partir du graphe fourni par la TGA représentant la variation de la perte massique de l'échantillon en fonction de la température (figure 8), le point d'ébullition est trouvé à 300 °C par l'intersection des deux lignes tangentes.

Suivant la norme ASTM D976, l'index de cétane (Indice de cétane calculé) du BE a été estimé à 48.5. Il est légèrement faible à celui du gazole, mais il est supérieur à la valeur minimale exigée par la norme américaine des biodiesels standard ASTM D6751. L'indice d'iode du BE est déterminé à 81.90g $\text{I}_2/100\text{g}$. Suivant la norme européenne (EN14214), l'indice d'iode pour les biodiesels ne doit pas dépasser la limite de 120g $\text{I}_2/100\text{g}$.

TABLEAU 5
COMPARAISON DES PROPRIETES DU BIODIESEL D'EUCALYPTUS
AVEC LES NORMES AMERICAINE ET EUROPEENNE

Propriété	BE	ASTM D6751	EN14214
Formule chimique	$\text{C}_{16.88}\text{H}_{37.73}\text{O}_2$	-	-
Masse moléculaire	309.78	-	-
Carbone (m.%)	77.00	-	-
Hydrogène (m.%)	12.18	-	-
Oxygène (m.%)	10.32	-	-
Nitrogène (m.%)	0	-	-
Sulfure (m.%)	0	-	-
Rapport (A/F) ^{Stoich}	13.36	-	-
gravité Spécifique	0.880	-	-
PCS (MJ/kg)	40.72	-	0.86-0.90
ν à 40°C (mm^2/s)	4.55	1.9-6.0	3.5-5.0
Point d'éclair	175	130.0 min	120.0 min
Point d'ébullition	323	-	-
Indice de cétane	48.5	47 min	51 min
Indice d'iode	81.90	-	-

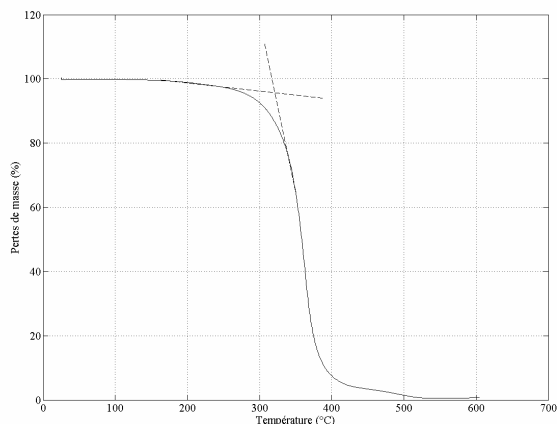


Fig. 8 : Variation de la perte de masse en fonction de la température

Les propriétés du biodiesel d'eucalyptus sont conformes aux exigences des normes européenne et américaine. Ces résultats montrent que l'huile d'eucalyptus peut être la matière première d'un bon biodiesel non comestible.

IV. CONCLUSIONS

Ce travail a pour but d'étudier la possibilité d'utiliser l'huile d'eucalyptus comme un carburant alternatif au gazole. Cette huile a été extraite par entraînement à la vapeur à partir de feuilles de l'arbre d'eucalyptus avec un rendement de 5.5%. Quelques propriétés de cette l'huile d'eucalyptus montrent que son utilisation directe en moteur n'est pas possible due aux problèmes qui peuvent générer par l'effet de sa haute viscosité. Afin de réduire la viscosité de l'huile, les deux techniques de préchauffage et de transestérification ont été testées. Les résultats sont décrits comme suivant :

- Le préchauffage de l'huile d'eucalyptus jusqu'à une température de 100°C nous a permis de réduire sa viscosité presque à celle du gazole. Néanmoins, l'installation en moteur du véhicule d'un système de préchauffage est indispensable.
- Un rendement optimal de production du biodiesel d'eucalyptus est obtenu à 95% avec un rapport molaire éthanol:huile : catalyseur fixé à 6 :1 :0.2, et avec un temps de réaction de 60mn. Les principales propriétés mesurées du biodiesel d'eucalyptus montrent que le processus de transestérification a été utilisé avec succès pour réduire la viscosité et améliorer les autres propriétés conformément aux normes européenne et américaine des biodiesels standard.

Pour remplacer le gazole par l'huile végétale d'eucalyptus dans les moteurs à allumage par compression, il a été

confirmé que la transestérification est une meilleure technique permettant d'avoir un carburant utilisable sans la nécessité de modification du moteur de véhicule.

REMERCIEMENTS

Ce travail a été réalisé au sein du Laboratoire du Département des Systèmes Energétiques et Environnement de l'Ecole des Mines de Nantes. Les auteurs remercient M. Eric CHEVREL, technicien du Département, pour son aide dans la caractérisation du produit synthétisé.

REFERENCES

- [1] M.S. Kumar, A. Kerihuel, J. Belletre, M. Tazerout. "Experimental investigations on the use of preheated animal fat as fuel in a compression ignition engine". *J. Ren. Ener.*, vol 30, pp. 1443-1456, 2005;..
- [2] A.L. Humke, N.J. Barsic. "Performance and emission characteristics of a naturally aspirated diesel engine with vegetable oils (Part-2)". *Trans. Soc. Aut. Eng.* 810955, 1981.
- [3] J. Czerwinski. "Performance of HD-DI diesel engine with addition of ethanol and rapeseed oil". *Trans. Soc. Aut. Eng.* 940545, 1994;.
- [4] M.S. Kumar, A. Ramesh, B. Nagalingam. "Use of hydrogen to enhance the performance of a vegetable oil fuelled compression ignition engine". *I. J. Hyd. Ene.*, vol 28, pp 1143-1154, 2003.
- [5] C.D. Rakopoulos, D.C. Rakopoulos, D.T. Hountalas, E.G. Giakoumis, E.C. Andritsakis. "Performance and emissions of bus engine using blends of diesel fuel with bio-diesel of sunflower or cottonseed oils derived from Greek feedstock". *Fuel*, vol 87, pp. 147-157, 2008.
- [6] S.C.A. de Almeida, C.R. Belchior, M.V.G. Nascimento, L.D.S.R. Vieira, G. Fleury. "Performance of a diesel generator fueled with palm oil". *Fuel*, vol 81, pp. 2097-2102, 2002.
- [7] A.S. Ramadhas, S. Jayaraj, C. Muraleedharan. "Characterization and effect of using rubber seed oil as fuel in the compression ignition engines". *Renewable Energy*, vol 30, pp. 795-803, 2005.
- [8] A.G. Souza, H.J. Danta, M.C.D. Silva, I.M.G. Santos, V.J. Fernandes Jr, F.S.M. Sinfrônio, L.S.G. Teixeira, C. Novak. "Thermal and kinetic evaluation of cotton oil biodiesel". *J. Therm. Anal. Calorimetry* vol 90, pp. 945-949, 2007.
- [9] W. Yuan, A.C. Hansen, Q. Zhang, Z. Tan, "Temperature-dependent kinematic viscosity of selected biodiesel fuels and blends with diesel fuel", *JAOCs*, vol 82, pp. 195-199, 2005.
- [10] M. Senthil Kumar, A. Kerihuel, J. Belletre, M. Tazerout. "A comparative study of different methods of using animal fat as a fuel in a compression ignition engine". *J. eng. Gas Turbines Power*, vol 128, pp. 907-914, 2006.
- [11] R.M. Silverstein, G.C. Basler, T.C. Morill. Identification spectrométrique de composés organiques. 5^{ème} édition. De Boeck & Larcier s.a, Paris, 1998.
- [12] E. Akbar, Z. Yaakob, S. K. Kamarudin, M. Ismail, J. Salimon. "Characteristic and Composition of Jatropa Curcas Oil Seed from Malaysia and its Potential as Biodiesel Feedstock". *Eur. J. Sc. Res.* vol 29, pp. 396-403, 2009.
- [13] K. Sureshkumar, R. Velraj, R. Ganezan. "Performance and exhaust emission characteristics of a CI engine with Pongamia pinnata methyl ester (PPME) and its blends with diesel". *Renewable Energy* vol 33, pp. 2294-2302, 2008.
- [14] M. Mittelbach, P. Tritthart. "Diesel fuel derived from vegetable-oils 3. Emission tests using methyl-esters of used frying oil". *J. Amer. Oil Chemists Society*, vol 65, pp. 1185-1187, 1988.