

ANALYSE DES PERFORMANCES THERMOMECHANIQUES DES HUILES DE GRAINES DE COTON ET DE NOIX DE PALMISTE SUR UN BANC D'ESSAIS PILOTE

SANYA Emile A.¹, BAGAN Gontrand¹, ANJORIN Malahimi¹,
SOHOUNHLOUE K. C. Dominique², PLUMAT Jim³

1-Laboratoire d'Energétique et de Mécanique Appliquées (LEMA), EPAC–Université d'Abomey-Calavi (UAC).
01 BP: 2009 Cotonou, Bénin. *Mail to: easanyas@hotmail.com*

2-Laboratoire d'Etude et de Recherche en Chimie Appliquée (LERCA) - EPAC – UAC

3-Haute Ecole Roi BAUDOUIN, Institut Reine ASTRID de MONS - BELGIQUE.

(Reçu le 12 Juillet 2011 ; Révisé le 14 Novembre 2011 ; Accepté le 28 Novembre 2011)

RÉSUMÉ

Les principales propriétés thermomécaniques des huiles de coton et de palmiste (pures ou mélangées au gasoil), ont été évaluées à partir du suivi de leurs comportements sur un banc d'essais (rendement mécanique, consommation spécifique en fonction de la puissance délivrée). Les résultats ont montré que les huiles pures ont permis d'obtenir un rendement thermomécanique supérieur à 25% à puissance nominale de 3,5 kW, avec une consommation de 1,3 L/h environ. Les mélanges en volumes à 25% d'huile de coton (resp. 25% d'huile de palmiste) avec le gasoil 75%, ont permis d'obtenir des rendements proches de 30%. Ces performances augurent d'une valorisation possible des huiles testées comme carburants biodiesel.

Mots clés: Huiles coton, huile palmiste; essai thermomécanique, biodiesel.

ABSTRACT

The principal thermal mechanical properties of cotton seed and palmist oils (pure or in mixture with gas oil), were evaluated by following their behaviours on a testing bench (mechanical output, specific consumption according to delivered power). The results showed that pure oils made it possible to obtain an output higher than 25% at nominal power of 3.5 kW, with a consumption of approximately 1.3L/h. The mixtures of 25% Vol. cotton seed oil (resp. 25% Vol. palmist oil) with gas oil (75% Vol.), allowed to obtain outputs close to 30%. Such the attained performances forecast for a real possibility for valorisation of the studied cotton and palmist oils as biodiesel fuels.

Key words: Cotton seed oil, palm kernel oil, thermal mechanical test, biodiesel.

INTRODUCTION

L'instabilité des cours des produits pétroliers sur le marché mondial compromet l'essor économique des pays les plus pauvres. Ainsi, ces derniers subissent de plein fouet les affres de la crise énergétique, à cause de leur forte dépendance vis-à-vis de l'extérieur. Les pays pauvres doivent maintenant entrevoir des solutions énergétiques de substitution qui passent aussi par une valorisation de leurs ressources végétales [1-15].

Les pays africains ont un potentiel non négligeable de production d'huiles végétales (palme, coton, arachides, palmiste, soja, coprah, Jatropa, ricin,

neem,..., etc.) [1-4]. Certes, en considérant la production mondiale d'huile de palme déjà reconnue comme carburant biodiesel^[5-6], la contribution africaine ne représente globalement que 7% dont plus de la moitié provient de l'Afrique de l'Ouest (Nigeria, Côte d'Ivoire et Ghana) [3]. Les deux premiers producteurs mondiaux d'huile de palme sont l'Indonésie et la Malaisie (36 et 47% respectivement). De plus, des champs expérimentaux, de céréales (maïs, sorgho, mil), de tubercules (manioc) et de canne à sucre, existent et peuvent être dédiés à des expériences pilotes.

Des Organisations Non Gouvernementales (ONG), associations et certaines sociétés sucrières, participent

à un timide développement du bioéthanol et du biodiesel [6-16].

La plupart des pays africains ont commencé à prendre conscience de l'importante place des ressources végétales oléagineuses (coton, palmiste, autres), en fonction de leur disponibilité, dans leurs programmes et projets de développement de biodiesel, en collaboration avec des partenariats bilatéraux ou dans des ensembles sous régionaux.

Dans le but de faciliter les démonstrations de faisabilité technique et de susciter une adhésion des pouvoirs publics, nous rapportons, à travers cet article, l'étude expérimentale menée sur les comportements thermomécaniques des huiles de coton et palmiste pures ou en mélange avec le gasoil (carburant de référence) sur un banc d'essai Diesel - électrique.

MATÉRIEL ET MÉTHODES

1- HUILES TESTÉES: POTENTIELS CARBURANTS DE SUBSTITUTION

L'huile pure de coton (notée HC) est celle de marque VITALOR acquise auprès de la Société des Huileries du Bénin (SHB) sise à BOHICON. Quant à l'huile de palmiste (HP), elle est obtenue par le procédé traditionnel d'extraction assez connu au Bénin. Le gasoil est acheté dans une station service de la Société Nationale de Commercialisation des produits Pétroliers (SONACOP). On a ensuite réalisé des essais portant aussi bien, sur ces huiles pures, que sur des mélanges d'huiles avec le gasoil (GL), dans des proportions volumiques, respectivement de 25-75%, 50-50% et 75-25% (Vol/Vol) ainsi qu'il est détaillé dans le contenu du tableau I.

Tableau I : Composition des différents mélanges d'huiles testés: pourcentage en volume d'huiles végétales (HC ou HP) additionnées à pourcentage en volume de gasoil (GL) et les symbolisations adoptées pour simplifier les écritures par endroits (colonne 3).

COMPOSITIONS DES MÉLANGES COMBUSTIBLES		DESIGNATIONS
1	Huile pure de coton 100% (HC)	100 HC
2	Huile pure de palmiste 100% (HP)	100 HP
3	Gasoil (SONACOP) pur 100% (GL)	100 GL
4	25% Volume (HC) + 75% Volume (GL)	25 HC+75 GL
5	50% Volume (HC) + 50% Volume (GL)	50 HC+50 GL
6	75% Volume (HC) + 25% Volume (GL)	75 HC+25 GL
7	25% Volume (HP) + 75% Volume (GL)	25 HP+75 GL
8	50% Volume (HP) + 50% Volume (GL)	50 HP+50 GL
9	75% Volume (HP) + 25% Volume (GL)	75 HP+25 GL

A titre comparatif, nous avons testé une troisième huile, cette fois d'origine minérale, celle de graissage des moteurs, à l'état déjà usé. En effet, il s'agit d'huile usée, issue de la vidange des moteurs, soumise à une opération qualifiée de «recyclage» destinée à la purifier en vue d'une éventuelle réutilisation. Elle est ici désignée huile de vidange recyclée (HVR).

2- MATERIEL D'ESSAIS THERMO-MECANIKES

Le matériel d'expérimentation thermomécanique est un banc pilote d'essais, réalisé par notre équipe de recherche mixte bénino - belge. Il s'agit d'un banc d'essais (Figure 1) constitué d'un groupe électrogène muni d'un dispositif de dissipation d'énergie et d'un

dispositif de recyclage d'huiles usées de graissage des moteurs. Il est équipé d'appareils de mesures pour l'affichage des données caractéristiques de performances.

2.1. Constitution du groupe électrogène

Le groupe est composé d'un moteur Diesel PETTER AV1. Le choix porté sur ce type de moteur n'est pas fortuit. C'est un moteur thermique assez répandu en Afrique où il équipe les moulins à grains. Il produit l'énergie motrice rotative à partir de celle contenue dans les potentiels carburants testés. Une génératrice (alternateur), convertit l'énergie mécanique recueillie en bout d'arbre moteur, en énergie électrique. Les caractéristiques techniques du groupe pilote sont celles résumées sous la forme du tableau II.

Analyse des performances thermomécaniques des huiles de graines de coton
et de noix de palmiste sur un banc d'essais pilote.

Tableau II: Caractéristiques techniques du groupe électrogène du pilote d'expérimentation

PARAMETRES	VALEURS	PARAMETRES	VALEURS
PARTIE MOTRICE			
Marque	PETTER	Pression compression (bars)	48,15
Type	AV1 LAB	Pression d'injection (bars)	200 à 221
Nombre cylindre	1	Avance à l'injection	18°
Puissance	5 CV à 1500rpm	AOA (/ PMH)	4,5°
Injection	Indirecte	RFA (/PMB)	35,5°
Injecteur	à téton	AOE (/PMB)	35,5°
Alésage	80mm	RFE (/ PMH)	4,5°
Course	110mm	Capacité en huile graissage	2,84L
Cylindrée	553 cm ³	Levée soupape décompression	0,63mm
Taux compression	19 à 1	Jeu de soupapes (froid)	0,25mm
Pression huile mini.	2,46 bars	Jeu de soupapes (chaud)	0,18mm
PARTIE GENERATRICE (LEROY SOMMER)			
Fréquence	50Hz	Nombre de paires de pôles	p = 1
Tension de courant	220V	Facteur de puissance	0,90
Rotation par minute	1500 - 3000 (*)	Puissance installée	P = 4,8kW

(*) La transmission de puissance est réalisée au moyen de jeux de courroies – poulies, permettant de multiplier le régime 1500tr/min du moteur par 2 et d'obtenir 3000tr/min requis sur l'alternateur.

La génératrice d'électricité ne devant, en aucun cas, fonctionner durablement à vide, la confection d'un dispositif complémentaire, capable d'assurer l'évacuation de l'énergie électrique produite par dissipation rapide (par effet joule), s'est avérée indispensable.

Tableau III : Combinaisons des charges (résistances) chauffantes du dispositif de dissipation d'énergie électrique en énergie calorifique en fonction des sorties de A à J des borniers.

COMBINAISONS DES RESISTANCES CHAUFFANTES FORMANT LES CHARGES DISSIPATIVES DE CHALEUR	VALEURS DE PUISSANCES (W)
A + Sortie 1=	250
B + Sortie 1=	350
C + Sortie 1=	700
(C + Sortie 1) et (D + Sortie 2) =	950
(C + Sortie 1) et (E + Sortie 2) =	1100
(C + Sortie 1) et (F + Sortie 2) =	1400
(H + B et A + I) et (A et Sortie 1) =	2100
(H + B et A + I et A + Sortie 1) et (D + Sortie 2) =	2350
(H + B et A + I et A + Sortie 1) et (F + Sortie 2) =	2800
(H + B et A + I et A + Sortie 1) et (J + E et D + G et D + Sortie 2) =	3500 - 4200

La Figure 1, en sa partie droite, présente la photographie du dispositif à résistances chauffantes conçu pour réaliser la dissipation de chaleur.

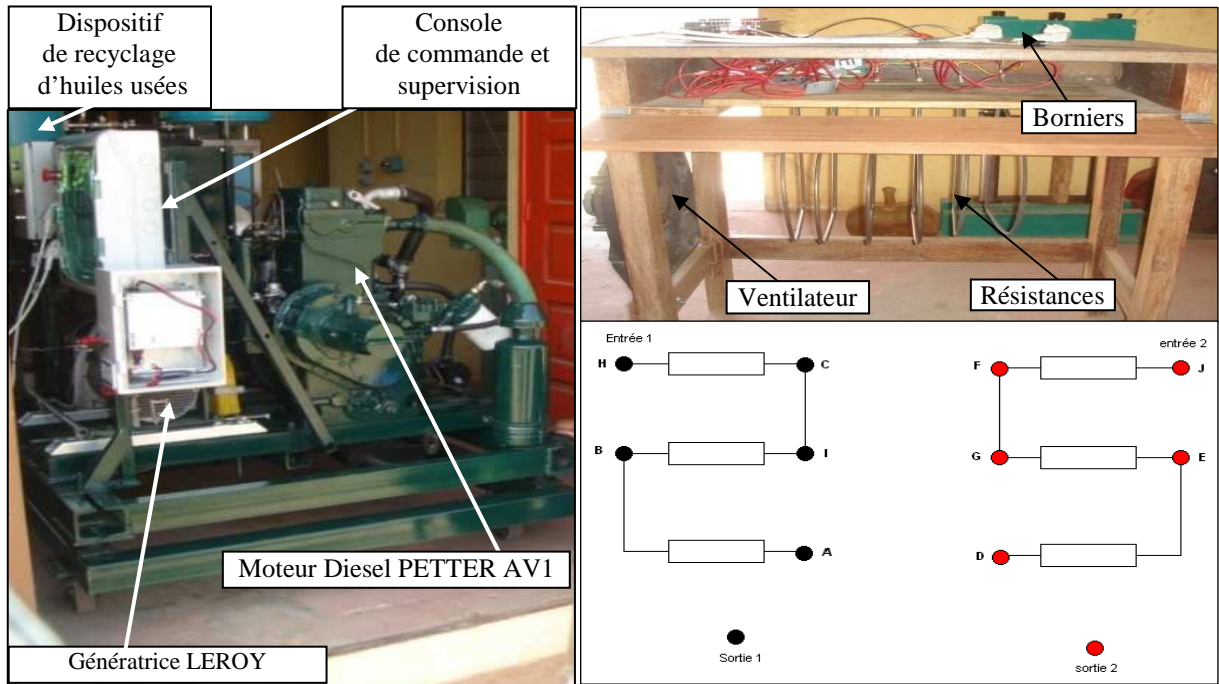


Figure 1: Aperçu photographique du banc d'essais montrant les principaux composants (à gauche) et le détail du dispositif de dissipation d'énergie électrique en énergie calorifique et son schéma équivalent de connexions électriques (à droite)

Le câblage est conçu de façon à permettre le chargement progressif de l'alternateur du groupe thermoélectrique. On contrôle ainsi la variation de la charge appliquée et on lui fait supporter les valeurs de la puissance en effectuant les différentes combinaisons indiquées dans le tableau III.

2.2. Méthodes de calcul

Les réponses du moteur sont déterminées à travers la mesure des performances thermomécaniques produites par la combustion des huiles et les mélanges. Celles exprimées dans la présente investigation sont le rendement effectif η_{EFF} et la consommation spécifique C_S , en fonction de variation de la puissance effective P_{EFF} .

La puissance effective P_{EFF} recueillie sur l'arbre du moteur est donnée par [17-18]:

$$P_{EFF} = P_0 + (P_U \times (\eta_{ALT} \times \eta_{TRANS})^{-1}) \quad (1)$$

où P_u est la puissance utile mesurée au niveau de l'alternateur (kW).

Le rendement effectif η_{EFF} , produit des rendements mécanique et indiqué, est calculé par:

$$\eta_{EFF} = P_{EFF} \times (Q_C \times \rho \times PCI)^{-1} \quad (2)$$

Q_C la quantité de carburant consommée par le moteur (L) et ρ sa masse volumique (g/L)

La consommation spécifique C_S (g/kWh), un paramètre à but économique, est déduite par:

$$C_S = Q_{C.massique} \times P_{EFF}^{-1} \quad (3).$$

Les écarts relatifs, respectivement sur le rendement effectif et la consommation spécifique, ont été calculés en se référant aux valeurs obtenues avec le gasoil, à l'aide des expressions suivantes:

* sur le rendement effectif:

$$\varepsilon_{\eta_X} (\%) = 100 \cdot \eta_{Gasoil} \cdot (1 - \eta_X \cdot \eta_{Gasoil}^{-1}) \quad (4)$$

* sur la consommation spécifique:

$$\varepsilon_{C_{SX}} (\%) = 100 \cdot C_{S.Gasoil} \cdot (1 - C_{S.X} \cdot C_{S.Gasoil}^{-1}) \quad (5)$$

où $\mathcal{E}_{\eta X}$ et \mathcal{E}_{CSX} désignent respectivement les écarts relatifs de rendement η_X et de consommation spécifique C_{SX} d'une huile et d'un mélange donné X (X prenant sa valeur dans les lignes 4 à 9 du tableau I, à partir de la colonne 3) et η_{Gasoi} le rendement et $C_{S.Gasoi}$ la consommation spécifique du gasoil pur.

RESULTATS ET DISCUSSION

Le tableau IV regroupe les valeurs moyennes obtenues suite à cinq (05) répétitions par essai, avec un écart-type de $\pm 0,02$. On a convenu d'adopter, pour la consommation horaire, la moyenne des valeurs moyennes, soit: $C_H = 1,28 \pm 0,02$ L/h (col. 10, tableau IV).

Tableau IV: Valeurs moyennes des consommations horaires (C_H L/h) des huiles et mélanges combustibles testés à puissance nominale de 5 CV (05 répétitions par essai).

HUILES COMBUSTIBLES ET MELANGES D'HUILE – GASOIL TESTES									
COMPOSITIONS EN POURCENTAGE VOLUMIQUE (%VOL)									
Codages des carburants	100HC	75HC + 25GL	50HC + 50GL	25HC + 75GL	100HP	75HP + 25GL	50HP + 50GL	25HP + 75GL	MOYENNE (des moyennes)
C_H (L/h)	1,30	1,27	1,27	1,23	1,34	1,30	1,27	1,24	1,28
écart-type	$\pm 0,016$	$\pm 0,021$	$\pm 0,023$	$\pm 0,020$	$\pm 0,017$	$\pm 0,014$	$\pm 0,024$	$\pm 0,022$	$\pm 0,02$

A puissance nominale de 5CV, les résultats d'essais sur le pilote ont montré, toutes combinaisons de carburants testés (huiles simples et mélanges huiles - gasoil) confondues, que les valeurs moyennes de consommations horaires (C_H) ne varient qu'entre 1,23 et $1,34 \pm 0,02$ L/h.

La consommation horaire en huiles pures est de $1,32 \pm 0,02$ L/h. Elle diminue en fonction de la proportion du gasoil ajoutée jusqu'à 1,23 L/h. Ces résultats constituent d'ores et déjà des indications concernant la favorable amélioration apportée aux pouvoirs combustibles des huiles végétales étudiées par le gasoil qui y a été incorporé.

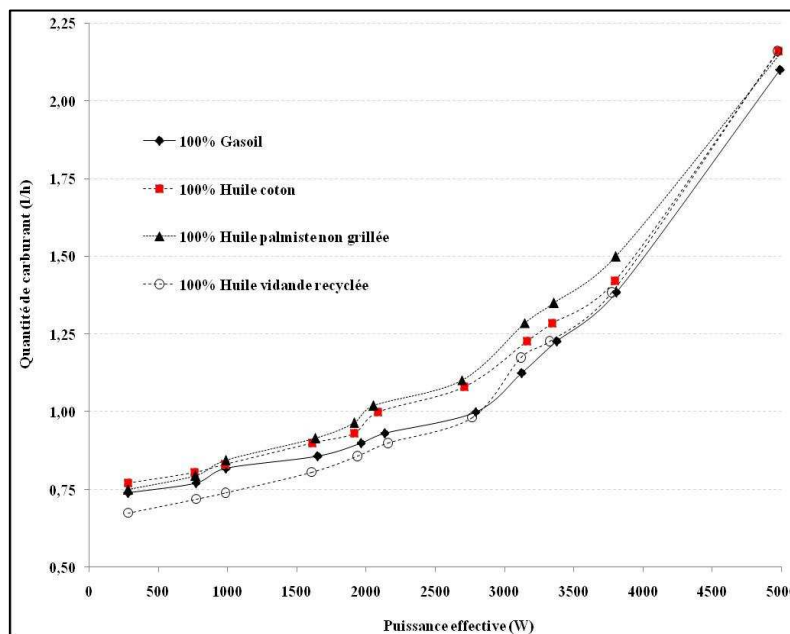


Figure 2: Courbes de consommation horaire du moteur en fonction de la puissance effective du groupe pour les combustibles testés

La figure 2 présente les résultats obtenus pour la consommation horaire pour les séries de tests réalisés sur les huiles végétales de coton (HC) et de palmiste (HP) pures ainsi que celles minérales gasoil (GL) et huile de vidange recyclée (HVR). A la figure 3 sont affichés les résultats concernant l'étude des rendements effectifs du moteur du groupe pilote pour l'ensemble des carburants analysés.

Les huiles pures de palmiste et de coton ont montré des performances thermomécaniques quasi identiques, en termes de la consommation horaire (Figure 2) voire de la consommation spécifique dont la figure correspondante n'a pas été présentée ici (380-450g/kW/h), surtout aux faibles charges du moteur, jusqu'à 2000W.

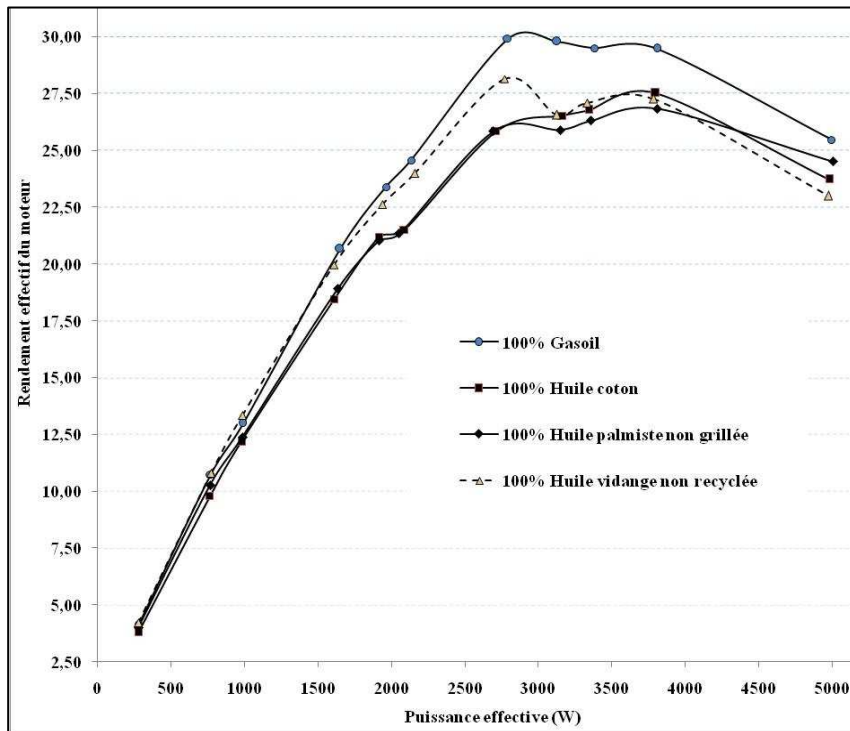


Figure 3: Courbes de rendement effectif du moteur en fonction de la puissance effective pour les quatre types de carburants testés purs dits 100% (Gasoil, Huile de coton, Huile de palmiste, Huile usée recyclée).

Les discriminations n'apparaissent que lorsque le moteur aborde sa zone optimale de fonctionnement (2500-4000W) où les performances de l'huile coton semblent prévaloir sur celles de palmiste. En effet, on obtient des valeurs de la consommation spécifique de 275-300g/kW/h pour l'huile de coton contre 325-380 g/kW/h pour celle de palmiste (Figure 2). De même, en termes de rendement effectif, des valeurs de 26,0 - 29% pour l'huile de coton et de 26,0 - 27,5% pour celle de palmiste prouvent bien que les performances délivrées par l'huile de coton sont légèrement supérieures à celles du palmiste. En définitive, l'huile de coton semble mieux se comporter, avec un bien meilleur rendement effectif et une faible consommation spécifique, que l'huile de palmiste. Les résultats ainsi obtenus confirment ceux fournis dans la littérature sur le sujet [1; 14 ; 16]. Cela est à relier à ses caractéristiques physicochimiques

comme l'acidité et la densité plus faibles que celles d'huile de palmiste, même si leurs viscosités à 40°C et leurs PCI sont de mêmes ordres de grandeur (27,54 et 27,65 mPa.s) et (38.684 et 40.675 kJ/kg) respectivement.

Analyse des performances thermomécaniques des huiles de graines de coton et de noix de palmiste sur un banc d'essais pilote.

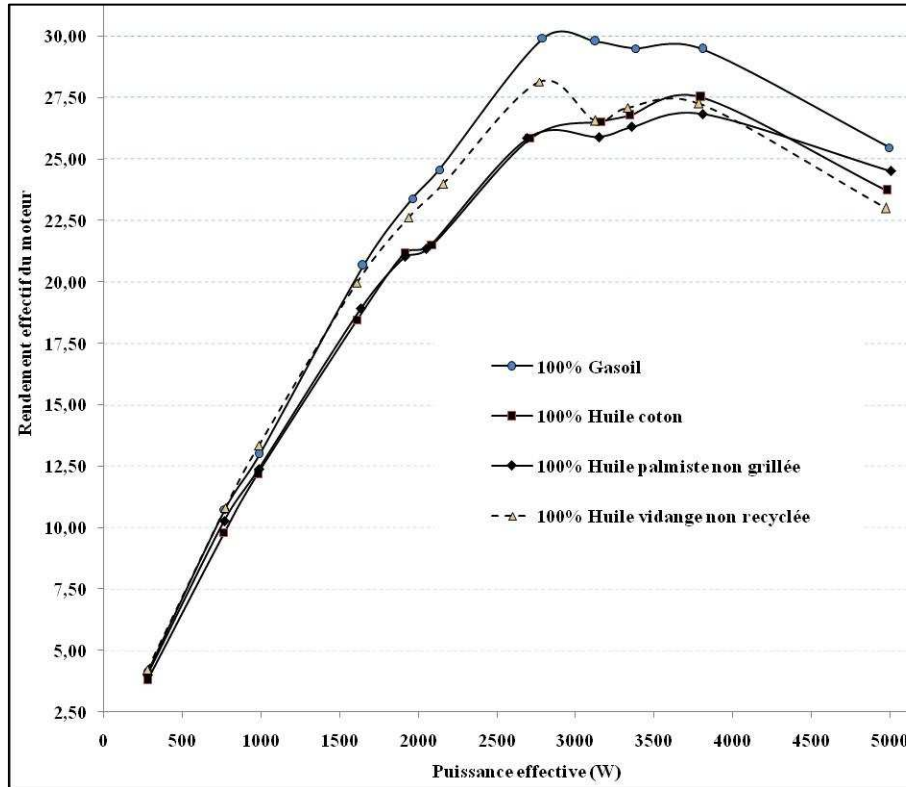


Figure 4: Courbes de rendement du moteur en fonction de la puissance effective avec les mélanges en proportions volumiques indiquées en légende pour l'huile de coton.

Il importe de souligner la performance thermomécanique intéressante de l'huile de graissage (vidange) usée recyclée. Elle surpasse celles des deux huiles végétales testées. Cela peut s'expliquer par le fait que l'huile usée, issue des vidanges de moteurs, ait été contaminée par les carburants classiques infiltrés par la segmentation. Toutes choses permettant, non seulement une fluidification de

l'huile, mais aussi et surtout le renforcement de son pouvoir calorifique, deux propriétés essentielles justifiant sa supplantation par rapport aux huiles de coton et de palmiste.

Les figures 4 et 5 exhibent les résultats des tests consacrés à l'étude des influences de gasoil additionné aux deux huiles végétales du lot: huile de coton et huile de palmiste.

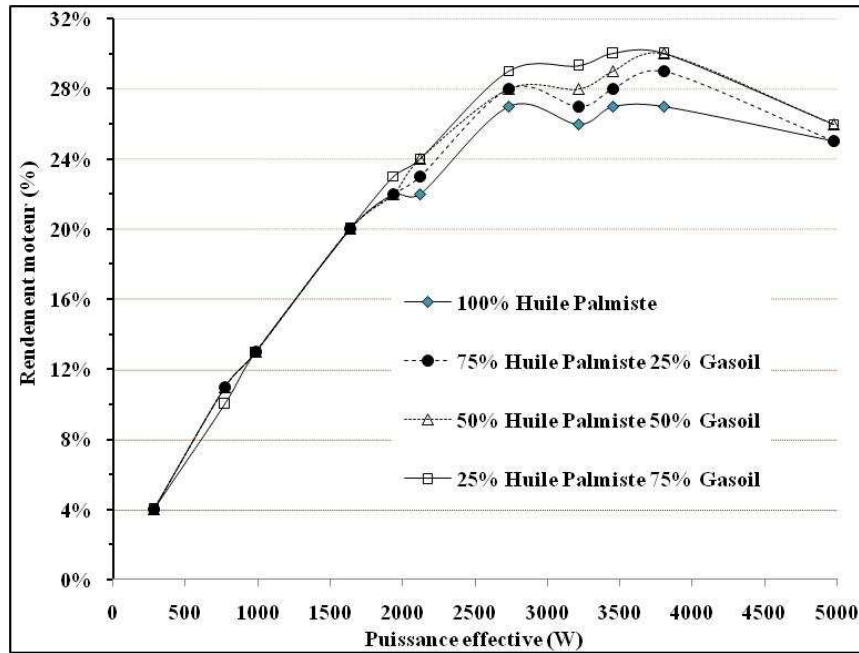


Figure 5: Courbes de rendement du moteur en fonction de la puissance effective avec les mélanges en proportions volumiques indiquées en légende pour l'huile de palmiste.

L'analyse des résultats concernant les expériences ainsi effectuées sur les mélanges montre que, plus la proportion de gasoil incorporé aux différentes huiles s'accroît, plus s'améliorent les propriétés thermomécaniques des mélanges réalisés. En effet, une certaine fluidification des huiles s'observe accompagnée d'un renforcement du pouvoir énergétique des huiles végétales par le gasoil introduit. Cela confère une plus grande aptitude des mélanges huile(s) - gasoil à la combustion, principal processus chimique et énergétique dont dépendent des valeurs des performances thermomécaniques atteignables sinon enregistrées au niveau du moteur du banc d'essais. Les rendements effectifs et les consommations spécifiques, générés par l'emploi des huiles végétales pures ainsi que leurs mélanges avec le gasoil, sont satisfaisants, même s'ils n'ont pu équivaloir ceux du carburant Diesel classique: gasoil (0,30).

Les valeurs maximales de rendement effectif, de tous les combustibles de substitution expérimentés (huile de coton, huile de palmiste, huile de graissage usée recyclée), sont supérieures à 26% mais elles n'excèdent guère 29%. Le gasoil pur est demeuré le seul des quatre (04) carburants testés pour lequel, la valeur du rendement effectif a pu atteindre 30%.

CONCLUSION

Les mesures des caractéristiques de performance, rendement effectif et consommation spécifique sur le banc pilote d'essais, de quelques huiles pures et de leurs mélanges avec le gasoil, ont permis d'illustrer la faisabilité technique de l'utilisation des huiles de coton et de palmiste dans le moteur Diesel PETTER AV1 assez répandu en Afrique.

Avec les différents mélanges d'huiles expérimentés, le pilote génère des rendements effectifs supérieurs à 26% et des consommations spécifiques comparables à celles du gasoil, en moyenne 1,28 L/h. Ces résultats sont intéressants avec des huiles végétales pures n'ayant subi aucun traitement de raffinage. Les valeurs expérimentales obtenues confirment les ordres de grandeur des rendements effectifs habituellement rencontrés dans la littérature ($\eta_{EFF} \leq 30\%$) pour des moteurs Diesel de la catégorie du pilote utilisé pour lesquels les références sont de 0,35 à 0,40 avec des carburants pétroliers de haute qualité.

L'huile de coton a montré les comportements thermomécaniques les plus attrayants, en raison des plus fortes valeurs de rendement effectif produites et

des faibles consommations spécifiques. Cependant, quelques modifications technologiques aussi bien, sur les moteurs Diesel (dispositif de préchauffage d'huiles), que dans la composition des huiles (additifs de détergence et réduction d'acidité), contribueraient à l'accroissement des performances thermomécaniques des huiles végétales et permettraient d'en diversifier

les usages. Des études ultérieures sont requises pour déceler d'autres sources d'huiles végétales combustibles, non alimentaires, et économiser des devises car actuellement, l'huile locale de coton coûte plus cher que le gasoil (en moyenne 750 contre 600 FCFA). Ce qui augure d'une certaine limitation à son exploitation élargie dans les moteurs.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

1. MONTFORT M-A., 2005.- *Filières oléagineuses africaines*. NEE N°23 : 55-85.
2. HIRSCH R. AFD., 2000.- *Les corps gras d'origine végétale dans les pays de l'UEMOA: essai de bilan à la veille de l'introduction du TEC*. Notes et études économiques, N°23: 83-87.
3. CONZELMANN R., 1993.- *Etude de la rentabilité concernant la substitution du gazole par l'huile de palme chez Palmindustrie, Côte d'Ivoire*. GTZ, Berlin.
4. DE THEUX B., 2004.- *Utilisation de l'huile de palme comme combustible dans les moteurs diesel*. Mémoire d'Ingénieur industriel. Section Electromécanique. Haute Ecole LEONARD de VINCI. 119p
5. DAM J V, ELBERSEN W., 2004.- Palm oil production for oil and biomass: the solution for sustainable oil. *Biomass Upstr. Stuurgroep*. Report A36. Nov., 9p.
6. PRATEEPCHAIKUL G., 2003.- *Palm oil as fuel for agricultural diesel engines: Comparative testing against diesel oil*. J. Sci. and Tech. Prince of Songkla University (Thaïlande). Vol.25. N°-3.
7. HENNING R K, RAMORAFENO T., 2005.- *Le Manuel Jatropha pour Madagascar: Un guide pour l'exploitation intégrée de la plante Jatropha à Madagascar*, 20p.
8. PRAMANIK K., 2002.- Properties and use of Jatropha curcas oil and diesel fuel blends in compression ignition engine. *Renewable Energy*, 28: 239-248.
9. CHACHAGE B., 2003.- *Jatropha oil as a renewable fuel for road transport. Policy implications for technology transfer in Tanzania*. Master's Thesis, Int. Institute for Industrial Environmental Economics, Sweden, 79p.
10. EIJCK J V, ROMIJN H A., 2008.- Prospects for Jatropha biofuels in Developing Countries: An analysis for Tanzania with Strategic Niche Management. *Energy Policy*, 36 (1): 311-325.
11. WANI S P, OSMAN M, D'SILVA E, SREEDEVI T K., 2006.- Improved Livelihoods and Environmental Protection through Biodiesel Plantations in Asia. *Asian Biotech. Dev. Review*. Vol. 8. (2): 11-29.
12. ROPER T., 2005.- Small Island States - Setting an Example on Green Energy Use. *RECIEL*, 14 (2). Blackwell Publishing Ltd. ISSN 0962 8797. pp: 108-116.
13. ANONYME, 2006.- Issue paper on biofuels in Latin America and the Caribbean. (S&T) ² Report. *Consultants Inc. Inter-American Development Bank. Emt. Division. Sustainable Dev. Dept.*, Washington DC US. September 18. 52p.
14. KNOTHE K, VAN GERPEN J, KRAHL J., 2005.- The biodiesel handbook. *Amer. Oil Chem. Soc. Press*, 304p.
15. DRESCHSLER W, KRAUS K, LANDGREBE J., 1994.- Life Cycle Assessment of Rapeseed Oil or Rapeseed Oil Methyl Ester as Substitute for Diesel Fuel. *Erdol Erdgas Kohle* 6, pp. 244-247.
16. Marty G, 2004.- 1- Rapport de synthèse. *Institut Français des Huiles Végétales Pures*. 77p. 2- Plaidoyer en faveur de l'autorisation et de la défiscalisation des Huiles Végétales Pures carburant. *Institut Français des Huiles Végétales Pures*, 12 p.
17. GUIBET J-C, 1997.- Carburants et moteurs: Tome 1 - Technologie - Energie - Environnement. *Publications de l'IFP*. Ed. TECHNIP, 480p.

18. MARTIN J., 2004.- Moteurs à combustion interne. Chapitre 1- Description et thermodynamique fondamentale. *In Cours MECA 2220*. UCL, Ed. 2004, 159 p.
19. NOVAK M. H., 2002.- *Huiles de tronçonneuses biodégradables: pourquoi pas?* Valonal Fac. Univ. Sci. Agro. Gembloux. Forêt Wall, N°55-56: 17-21.
20. MILES P., 1998.- Synthetics versus Vegetable Oils: Applications, Options, and Performance. *J. Synthetic Lubrication*. Vol.15(1) : 43-52.
21. KABUYA A, HAESSEN C., 1995.- Analyse comparative du pouvoir lubrifiant de quelques huiles végétales par rapport à une huile minérale pure de même grade ISO. *Matériaux & Techniques n°1-2* : 31-38.
22. GOYAN R, MELLE E, WISSNER P, ONG W., 1998.- Biodegradable Lubricants. *Lubrication Engineering*, Vol. 54(7): 10-23.
23. LEGISA I, PICEK M, NAHAL K., 1997. Some Experiences with Biodegradable Lubricants. *J. Synthetic Lubrication*, 347-360.
24. JAHAN A., 1997.- Lubrifiants biodégradables: "La solution du futur?". *Pétrole et Techniques*, N°407 : 42-45.
25. ORHAN A, RECEP Y, AYHAN D., 2010.- Production of diesel-like fuel from waste engine oil by pyrolytic distillation. *Applied Energy*, Vol. 87(1): 122-127.