

# Caractérisation de diverses huiles végétales sur un brûleur adapté aux huiles végétales

---

Tizane DAHO<sup>1</sup>, Oumar SANOGO<sup>2\*</sup>, Gilles VAITILINGOM<sup>3</sup>,  
Jean KOULIDIATI<sup>1</sup>, Philippe GIRARD<sup>4</sup>

## Résumé

Ce travail présente d'une part la caractérisation physico-chimique de différentes huiles végétales (huile de coton brute, huile de coton dégommée, huile de coton raffinée, huile de colza brute) ; les paramètres suivants ont été évalués pour chaque type d'huile : nature des acides gras, teneur en phospholipides, viscosité, composition chimique élémentaire, masse volumique, point éclair, pouvoir calorifique inférieur (PCI), tension superficielle, indice d'acide, teneurs en magnésium, en calcium, en sédiments et en eau. D'autre part, ces différentes huiles végétales ainsi que le Fioul Oil Domestique ont été utilisées comme combustibles sur un brûleur adapté aux huiles végétales. La consommation du combustible ainsi que les émissions (CO, O<sub>2</sub>, CO<sub>2</sub>, NO, NO<sub>2</sub>, SO<sub>2</sub> et composés aromatiques polycycliques) sont évaluées au point de fonctionnement optimum déterminé au préalable.

**Mots-clés :** biocarburant, huile végétale, combustion, brûleur.

## Characterization of various vegetable oils on a burner suitable for vegetable oils

### Abstract

This paper presents on one hand a characterization of physical and chemical properties of various vegetable oils (cottonseed crude oil, cotton seed oil without gum, refined cottonseed oil, rapeseed crude oil); the following parameters were evaluated for each type of vegetable oil : nature of fatty acids, phospholipids content, viscosity, basic chemical composition, density, flash point, lower heating value (LHV), surface tension, index acid, magnesium, calcium, sediment, and water contents. On the other hand, these various vegetable oils and the Domestic Fuel Oil were used to fuel a burner suitable for vegetable oils. The fuel consumption and emissions (CO, O<sub>2</sub>, CO<sub>2</sub>, NO, NO<sub>2</sub>, SO<sub>2</sub>, and polycyclic aromatic compounds) were measured at the optimum operating point.

**Keywords:** biofuel, vegetable oil, combustion, burner.

---

<sup>1</sup> Laboratoire de Physique et de Chimie de l'Environnement (LPCE) / Université de Ouagadougou 03 BP 7021 Ouagadougou 03 Burkina Faso ;

<sup>2</sup> Département Energie / Institut de Recherche en Sciences Appliquées et Technologies (IRSAT/CNRST) 03 BP 7047 Ouagadougou 03

<sup>3</sup> Centre de coopération internationale en recherche agronomique pour le développement 73, rue Jean François Breton 34398 Montpellier Cedex 5, France

<sup>4</sup> Institut International de l'ingénierie de l'eau et de l'environnement, 2iE Rue de la Science 01 BP: 594 Ouagadougou 01 Burkina Faso

\* Auteur correspondant – sanogo\_oumar@hotmail.com

## Introduction

L'augmentation sans cesse des prix des produits pétroliers et les besoins croissants en énergie des populations, même dans les zones rurales, donnent de plus en plus une place importante aux biocarburants en général et en particulier aux huiles végétales. A cela s'ajoute, la nécessité d'utiliser des sources d'énergie moins polluantes surtout en termes d'émission de gaz à effet de serre. Dans cette perspective, l'utilisation des huiles végétales dans les brûleurs pourrait être une alternative intéressante dans la production de chaleur pour les petites et moyennes unités industrielles, le séchage de produits alimentaires etc.

Plusieurs études sur l'utilisation des huiles végétales dans les moteurs ou les brûleurs révèlent leur comportement proche de celui du carburant diesel (VAITILINGOM 1992) (VANHEMELRYCK 1997), (ALTIN *et al.*, 2001), (FANGRUI *et al.*, 1999), (WANG *et al.*, 2006), (RAKOPOULOS *et al.*, 2006). Cependant, les huiles végétales se distinguent entre elles et se distinguent aussi du gazole ou du fioul domestique (FOD) par leur nature physique et chimique. En particulier, la composition en acides gras, la viscosité et la volatilité sont des facteurs déterminants dans les différences de comportement de celles-ci. Ainsi, l'utilisation des huiles végétales pures dans les brûleurs non modifiés ou non adaptés, conduit à l'encrassement des parties froides (déflecteur, parois froides de la chambre de combustion) (VAITILINGOM *et al.*, 1998). Il est indispensable d'effectuer un préchauffage et un réglage adapté du brûleur (pression de pulvérisation, nature gicleur) pour permettre une bonne combustion des huiles végétales.

Les travaux portant sur l'utilisation des huiles végétales dans les brûleurs sont rares (VAITILINGOM *et al.*, 1998), (HOLT *et al.*, 2004), (SAN *et al.*, 2006), contrairement aux travaux sur l'utilisation des huiles végétales dans les moteurs Diesel (VAITILINGOM 1992) (VANHEMELRYCK 1997), (ALTIN *et al.*, 2001), (FANGRUI *et al.*, 1999), (WANG *et al.*, 2006), (RAKOPOULOS *et al.*, 2006). Compte tenu de la spécificité des huiles végétales, des études de caractérisation de leur combustion dans les brûleurs, étendues à une grande variété d'huiles végétales sont indispensables pour une utilisation durable de celles-ci.

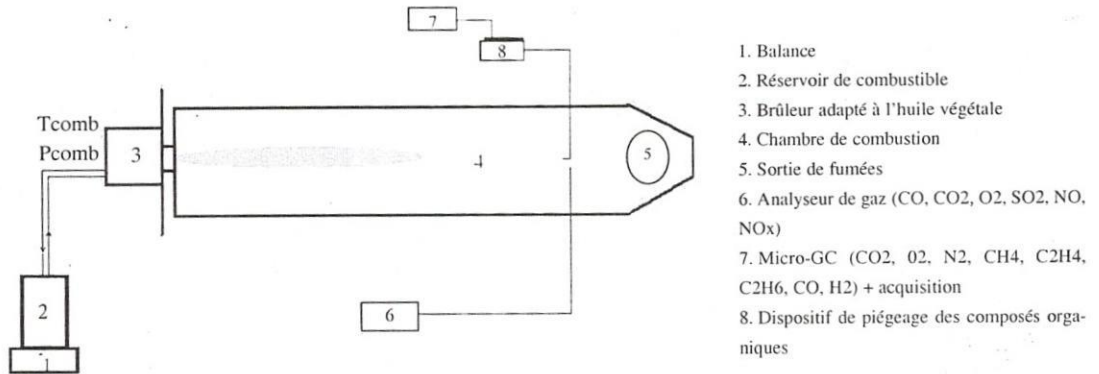
Dans cette étude, une caractérisation physico-chimique de différentes huiles végétales est effectuée dans un premier temps : nature des acides gras, teneur en phospholipides, viscosité, composition chimique élémentaire, masse volumique, point éclair, pouvoir calorifique inférieur (PCI), tension superficielle, indice d'acide, teneurs en magnésium, en calcium, en sédiments et en eau. Trois types d'huile de coton (brute, dégommée, raffinée) et l'huile de colza sont caractérisés. Le choix des trois types d'huile de coton repose sur la recherche d'un compromis entre le coût de production du combustible et sa qualité en tant que combustible. En second lieu, ces différentes huiles végétales ainsi que le FOD sont utilisés comme combustibles dans un brûleur adapté à l'huile végétale. La consommation du combustible ainsi que les émissions (CO, O<sub>2</sub>, CO<sub>2</sub>, NO, NO<sub>2</sub>, SO<sub>2</sub>, et composés organiques) sont évaluées au point de fonctionnement optimum déterminé au préalable.

## Matériel et méthode

La figure 1 présente le schéma du dispositif expérimental utilisé. Il comporte un brûleur adapté à l'huile végétale, une chambre de combustion et deux dispositifs d'analyse des produits de combustion. Le brûleur utilisé est un brûleur Riello de type N<sub>10</sub> comportant un système de préchauffage du combustible. Ses caractéristiques techniques principales sont indiquées dans le tableau I.

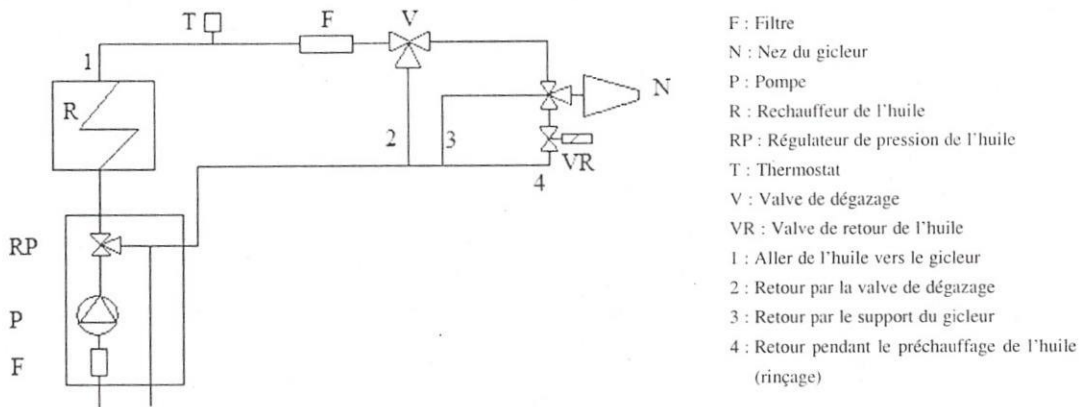


Une résistance chauffante et un circuit de recirculation du combustible sont installés en aval de la pompe (figure 2). L'huile peut être préchauffée à des températures comprises entre 50 et 200 °C. En raison de la viscosité élevée de l'huile végétale, le préchauffage de l'huile à des températures atteignant 120 à 140 °C est indispensable pour permettre une bonne atomisation de celle-ci.



**Figure 1.** Dispositif expérimental.

A la mise en marche du brûleur, la température de la résistance chauffante augmente progressivement vers la température fixée par la consigne. Une fois cette température atteinte, la pompe assure un balayage et une recirculation du combustible à travers le circuit de préchauffage (chemin 1 et 4 de la figure 2) portant ainsi la température du combustible à une température proche de celle régnant dans l'enceinte de la résistance. Dans ces conditions de température du combustible, l'électrovanne « VR » permet alors la pulvérisation du combustible à travers l'orifice du gicleur et son retour par le chemin 3. La combustion se produit ensuite dans la chambre de combustion qui est une enceinte cylindrique horizontale en acier. A la base de la chambre, une enceinte de la taille de l'embout du brûleur, solidaire à un support, permet de maintenir le brûleur. Un cône comportant des ouvertures surmonte la chambre de combustion en aval. Une telle chambre, destinée à une utilisation des produits de combustion pour un séchage direct de produits alimentaires on non, a l'intérêt d'avoir des parois chaudes (températures supérieures à 500 °C).



**Figure 2.** Schéma de principe du circuit du combustible.

**Tableau I.** Caractéristiques techniques du brûleur N<sub>10</sub>

Caractéristique	Spécification
Puissance thermique (kW)	34 - 102
Viscosité du combustible à 50°C (mm <sup>2</sup> /s)	25 - 50
Pression (bars)	16 - 28
Gicleur	Type HAGO, 1 gal/h - angle 45° (B) CF JV
Puissance électrique totale (kW)	1,1 +

Le dispositif d'analyse des produits de combustion comprend deux systèmes : un analyseur de gaz Quintox KM9106, équipé de cellules électrochimiques. Il permet de mesurer les teneurs en O<sub>2</sub>, NO, NO<sub>x</sub>, CO, SO<sub>2</sub> dans les fumées sèches. Le taux de CO<sub>2</sub> est calculé par l'analyseur en fonction des caractéristiques du combustible et de l'oxygène résiduel mesuré dans les fumées. Les fumées humides passent à travers une canne puis dans un conduit réchauffé à 115 °C pour éviter la condensation et la dissolution de certains gaz (SO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub>). Les gaz passent ensuite dans un conditionneur de gaz de combustion (KM9008) permettant d'avoir des gaz secs à l'entrée de l'analyseur. L'acquisition des données est effectuée à l'aide d'un boîtier de contrôle qui permet par la suite, le transfert des données sur un ordinateur grâce à une connexion RS232 et au logiciel FIREWORKS. Les caractéristiques techniques des cellules sont données dans le tableau II. Le deuxième dispositif d'analyse des produits de combustion comprend un bain de piégeage des composés organiques dans les fumées et un micro chromatographe (micro-GC). Les gaz prélevés barbotent dans une série de flacons (qui plongent dans le bain réfrigérant) contenant de l'isopropanol, puis passent dans la micro-GC pour l'analyse des gaz incondensables (H<sub>2</sub>, O<sub>2</sub>, N<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub>, C<sub>2</sub>H<sub>4</sub>, C<sub>2</sub>H<sub>6</sub>, CO<sub>2</sub>, CO). La détection et la quantification de ces gaz s'effectuent par spectrométrie de masse. Les composés organiques dissous dans l'isopropanol sont analysés à posteriori grâce un chromatographe Agilent 6890 et un spectromètre de masse Agilent 5975. La température du four du chromatographe Agilent varie de la façon suivante : elle est maintenue à 45 °C pendant 4 min, suivi d'une augmentation avec un gradient de 3 °C / min pour atteindre 250 °C puis, suivant un gradient de température de 20 °C / min pour atteindre 270 °C. Enfin, la température du four est maintenue constante à cette valeur (270 °C) pendant 60 min. La température de l'injecteur est de 250°C. Les caractéristiques de la colonne utilisée sont les suivants : type DB-1701, longueur : 60 m et diamètre intérieur : 250 µm. L'épaisseur du film de phase stationnaire (déposé sur les bords intérieurs de la colonne) est de 0,25 µm. 1 ml d'un mélange de 1 ml de l'échantillon et 1 ml de phénanthrène (étalon interne, concentration : 25 mg/l) est injecté dans le chromatographe. Il s'en suit l'identification et la quantification des composés organiques présents.

Les points de fonctionnement du brûleur sont définis par la pression de pulvérisation et le rapport air primaire / air secondaire. Les différents combustibles sont utilisés à la pression constante de 28 bars suivant différents rapports air primaire / air secondaire afin de déterminer dans un premier temps un point de fonctionnement optimum. Ce point correspond à une richesse de 0,55. A ce point de fonctionnement, une analyse complète (gaz incondensables et composés organiques condensables) des produits de combustion est effectuée ; les gaz sont prélevés juste avant la sortie des fumées (à 113 cm de la base de la flamme). Par ailleurs, l'influence du préchauffage de l'huile sur sa qualité de combustion est étudiée. Les résultats présentés sont obtenus à l'issue de



plusieurs séries de mesures (au moins cinq (5), tel que les écarts relatifs sont de l'ordre de 10 %). Ils ont été validés sur plusieurs campagnes (trois (3)) d'essais effectuées durant l'étude.

**Tableau II.** Caractéristiques techniques de l'analyseur de gaz Quintox KM9106

Paramètre	Gamme de mesure	Précision	Résolution
Température des fumées	0 – 1100 °C	1,0 ± 0,3 % du relevé	0,1 °C
Oxygène (O <sub>2</sub> )	0 – 25 %	-0,1 % + 2 %	0,1 %
Oxyde de carbone (CO)	0 – 10000 ppm	± 20 ppm < (400 ppm) 5 % du relevé (< 2000 ppm) ± 10 % du relevé (>2000 ppm)	1 ppm
Oxyde Nitrique (NO)	0 – 5000 ppm	± 5 % du relevé (>100 ppm) ± 5 ppm (<100 ppm)	1 ppm
Dioxyde d'azote (NO <sub>2</sub> )	0 – 1000 ppm	± 5 % du relevé (>100 ppm) ± 5 ppm (<100 ppm)	1 ppm
Dioxyde soufre (SO <sub>2</sub> )	0 – 5000 ppm	± 5 % du relevé (>100 ppm) ± 5 ppm (<100 ppm)	1 ppm
Dioxyde carbone	0 – valeur combustible	± 0,3 %	0,1 %

Les combustibles utilisés sont trois types d'huiles de coton du Burkina Faso (brute, dégommée et raffinée), l'huile de colza et le fioul oil domestique (FOD).

## Résultats et discussion

### Caractéristiques physico-chimiques

Les caractéristiques physico-chimiques des huiles utilisées et celles du FOD ont été déterminées dans cette étude. Les résultats sont indiquées dans les tableaux III a et III b ci-dessous.

**Tableau IIIa.** Composition en acides gras totaux des Triacylglycérols (% pondéral)

Acides gras	Nom de l'acide	Huiles			
		Coton brut	Coton dégommé	Coton raffiné	Colza brute
14:0	Myristique	0,5	0,8	0,8	0,0
16:0	Palmitique	26,4	26,0	25,7	4,6
16:1	Palmitoléique	0,1	0,6	0,5	-
18:0	Stéarique	2,5	2,4	2,4	1,7
18:1	Oléique	18,6	18,2	18,2	59,1
18:2	Linoléique	52,0	51,5	51,3	25,8
18:3	Linoléinique	0,1	0,2	0,3	6,9
20:0	Arachidique	-	0,3	0,2	0,5
20:1	Eurique	-	-	-	0,9

Les résultats montrent les particularités des huiles végétales : les différences entre l'huile de colza et les huiles de coton ainsi que les différences entre les huiles végétales et le FOD. En particulier, la composition en acides gras, la teneur en phospholipides, le PCI, la viscosité, la tension superficielle. La teneur élevée en phospholipides de l'huile brute de coton pourrait être préjudiciable à l'utilisation de celle-ci en termes d'encrassement ou de bouchage des filtres. La plus forte viscosité des huiles et leur plus forte tension superficielle justifient le préchauffage de celles-ci à des températures supérieures à 120 °C et une augmentation de la pression de pulvérisation.

**Tableau IIIb.** Caractéristiques physico-chimiques des différents combustibles.

Caractéristique	Combustible					Méthode
	Coton brut	Coton dégommé	Coton raffiné	Colza brut	FOD	
C (%)	77,90	76,71	77,39	77,73	86,89	Combustion
H (%)	11,62	11,84	11,90	11,92	12,98	Combustion
O (%)	11,46	11,47	11,10	10,76	0,45	Pyrolyse
N (%)	< 0,10	< 0,30	< 0,30	< 0,10	< 0,3	Combustion
S (%)	0	0	0	0	< 0,20	NFT 60 106
Viscosité à 40 °C (cSt)	37,0	34,0	35,7	35,7	3,3	NF EN ISO 3104
Teneur en eau (ppm)	756	1156	656	599	100	NF EN ISO 12937
Indice d'acide (mgKOH/g)	6,29	0,18	0,17	1,03	-	ASTM D 664
Masse volumique à 15 °C (kg/m <sup>3</sup> )	929	926	929	920	854	NF EN ISO 12185
Sédiments (ppm)	28	33	23	38	-	NF EN 12662
Phosphore (ppm)	203	0,5	0,2	1,6	-	NFT 60 106
Magnésium (ppm)	70,3	0,3	0,2	0,4	-	NFT 60 106
Calcium (ppm)	29,8	2,2	2,1	3,7	-	NFT 60 106
PCI (kJ/kg)	34500	36400	36000	37400 <sup>a</sup>	43700	ASTM D 240
Tension superficielle à 25°C (mN/m)	31,5	32,4	32,4	32,2	28,6	NF EN 14 370
Point éclair (°C)	240,5	>250	229,5	>200°C	62,5	NF EN ISO 2719

### Caractéristiques de démarrage

L'étude de l'influence de la température de préchauffage du combustible donne pour des températures comprises entre 65 et 80 °C, un allumage difficile de la flamme suivi d'une extinction de celle-ci. Entre 85 et 115 °C, on observe un allumage plus aisé de la flamme sans extinction de celle-ci. Cependant, on observe un phénomène d'égouttage du combustible et une flamme se développant sur toute la longueur de la chambre de combustion. En effet, pour des températures de préchauffage voisines de 85 °C, le jet de combustible se situe à la limite de la zone de seconde interaction aérodynamique au sens de Reitz (REITZ *et al.*, 1979) conduisant à un spray incomplet.

Ce spray est caractérisé par « une longueur de rupture » importante (forte pénétration), un angle faible. Par ailleurs, l'atomisation ne commence qu'au delà d'une certaine distance de l'orifice du gicleur. Au-delà de 115 °C, les phénomènes d'égouttage disparaissent et la longueur de la flamme diminue. Les nombres de Reynolds (Re) et de Ohnesorge (Oh), (équation 1 et 2) du jet de combustible dans ces conditions (tableau IV) indiquent que l'atomisation commence dès la sortie du gicleur donnant un spray complet. Si le régime d'atomisation du jet de combustible dépend aussi du *swirl*, de la masse volumique de l'air, de la pression du combustible, les nombres de Reynolds et de Ohnesorge du jet permettent en première approximation d'estimer le régime d'atomisation. Ainsi, les résultats obtenus ont permis de définir une température de préchauffage du combustible de 125 °C, suffisante pour une bonne atomisation de l'huile de coton ou de l'huile de colza. Le FOD ne nécessite aucun préchauffage. Cependant, compte tenu de la température minimale de 50 °C nécessaire pour un fonctionnement du brûleur, le FOD a été utilisé à la température de 50 °C.

$$Re = \frac{\rho_c v_e D_t}{\mu_c} \quad (1)$$

$$Oh = \frac{\mu_c}{\sqrt{\rho_c \sigma_e} D_t} \quad (2)$$

$\rho_c$ ,  $\mu_c$ ,  $\sigma_e$ ,  $D_t$ ,  $V_j$  sont respectivement la masse volumique, la viscosité dynamique, la tension superficielle du combustible, le diamètre de l'orifice et la vitesse de pulvérisation du jet.

**Tableau IV.** Caractéristiques du jet d'huile de coton dans le brûleur N<sub>10</sub>

Température (°C)	Viscosité (mm <sup>2</sup> /s)	Tension superficielle (N/m)	Nombre de Reynolds	Nombre de Ohnesorge
85	10,1	0,0290	2521	0,148
95	8,45	0,0284	2767	0,125
105	7,2	0,0278	3089	0,107
115	6,3	0,0272	3356	0,094
125	5,75	0,0267	3561	0,087
150	4,8	0,0252	4193	0,074

### Consommation du combustible

Les tableaux Va et Vb donnent respectivement la consommation d'huile de coton raffinée selon la température de préchauffage et la consommation des différents combustibles utilisés à la température de 125 °C.



**Tableau Va.** Consommation d'huile de coton raffinée à différentes températures

Température combustible (°C)	Masse volumique (kg/m <sup>3</sup> )	Consommation (kg/h)
85	872	8,79
95	866	8,01
105	859	7,56
115	852	7,13
125	846	6,85
150	829	6,60

La consommation d'huile de coton raffinée décroît avec l'augmentation de la température de préchauffage. Cette diminution de la consommation est en partie liée à la diminution de la masse volumique avec l'augmentation de la température. Les pompes étant volumétriques, les volumes pulvérisés aux différentes températures pour un même point de fonctionnement sont sensiblement égaux. La diminution de la masse volumique avec la température conduit à la réduction de la masse pulvérisée. Cependant, la diminution de la consommation n'est pas linéaire contrairement à celle de la masse volumique (pertes de charge plus ou moins importantes à température croissante ?)

**Tableau Vb.** Consommations des différents combustibles utilisés à 125 °C

	Coton brut	Coton dégommé	Coton raffiné	colza brut	FOD
Consommation (kg/h)	6,83	6,74	6,85	6,77	5,80

Les consommations des différentes huiles sont très comparables. Elles restent supérieures à celle du FOD. En effet, les masses volumiques voisines des différentes huiles conduisent à des masses de combustibles pulvérisés très voisines pour des volumes identiques. La masse de FOD pulvérisé reste ainsi inférieure à celle de l'huile végétale compte tenu de sa masse volumique plus faible.

### Emissions polluantes

L'analyse des produits de combustion est l'un des aspects importants de cette étude. Elle présente deux enjeux : premièrement, la qualité de la combustion de l'huile de coton dans ce type de dispositif (brûleur adapté et parois de chambres chaudes) et son impact sur l'environnement reposent sur la nature et les ordres de grandeurs des polluants dans les produits de combustion. Deuxièmement, le dispositif utilisé dans cette étude pourrait être couplé à un système de séchage direct de produits alimentaires ou non qui sont soumis à des normes de qualité. Cela requiert une certaine « qualité » des produits de combustion.



Les résultats d'analyses des gaz incondensables sont indiqués dans le tableau VI. Ces résultats sont ceux obtenus par le Quintox puis validés par le micro-GC pour les gaz mesurés communs aux deux dispositifs. Les teneurs dans les fumées de certains composés ( $\text{CH}_4$ ,  $\text{C}_2\text{H}_4$ ,  $\text{C}_2\text{H}_6$ ,  $\text{H}_2$ ) sont inférieures aux limites de détection du micro-CG (limites de détection à préciser).

Toutes les huiles présentent, pour l'ensemble des gaz mesurés, des teneurs très comparables entre elles et avec celles enregistrées pour le FOD. Les résultats sont conformes à ceux obtenus lors d'une étude antérieure avec de l'huile de colza (VAITILINGOM *et al.* 1998).

Les valeurs mesurées pour le CO sont de l'ordre de grandeur des incertitudes de l'appareil ( $\pm 20$  ppm pour le CO), de sorte que l'on peut conclure d'une différence entre les huiles étudiées et le FOD en termes d'émissions de CO. En effet, les conditions de températures sont suffisantes pour permettre une oxydation quasi complète du CO quel que soit le combustible utilisé. Les températures des fumées sont de l'ordre de 700 °C. Le dispositif expérimental ne comporte pas de chaudière pour évacuer la chaleur produite par la combustion. Cette situation contribue à augmenter la température des parois. Il en découle une augmentation des phénomènes de rayonnement dans la chambre de combustion. De tels phénomènes sont favorables à la vaporisation et à la combustion des huiles végétales. Des résultats antérieurs montrent que les huiles végétales tendent vers un comportement unique et aussi vers celui du FOD pour des conditions de température suffisantes (puissance thermique élevée) sur des moteurs Diesel (HIGELIN 1992). Ces mêmes observations (comportement uniforme aux fortes températures) ont été faites lors d'essais d'évaporation de gouttes d'huiles végétales ou leurs esters et le gazole (VAITILINGOM 1992), (MORIN *et al.*, 2000).

Ce comportement uniforme des huiles et du FOD lors de la combustion se traduit également à travers les résultats d'émissions de NO et de  $\text{NO}_x$ .

Les émissions de  $\text{CO}_2$  sont sensiblement égales pour les différentes huiles et sont légèrement inférieures à celles du FOD. Cela pourrait être en partie dû au rapport H/C plus élevée des huiles végétales par rapport au FOD.

Les émissions de  $\text{SO}_2$  sont nulles pour les différentes huiles contrairement au FOD. En effet les émissions de  $\text{SO}_2$  sont proportionnelles à la teneur en soufre du combustible (tableau IIIb).

**Tableau VI.** Emissions de gaz incondensables

	$\text{O}_2$ (%)	$\text{CO}_2$ (%)	CO (ppm)	NO (ppm)	$\text{NO}_x$ (ppm)	$\text{SO}_2$ (ppm)
Coton brut	9,2	8,8	15	74	77	0
Coton dégommé	9,9	8,3	13	85	88	0
Coton raffiné	10,2	8,1	13	84	88	0
Colza brut	9,7	8,3	25	68	71	0
FOD	8,5	9,3	0	75	78	45

L'analyse des composés organiques solubles contenus dans les produits de combustion au chromatographe révèle les résultats donnés dans le tableau VII.

**Tableau VII. Résultats d'émissions de composés organiques condensables**

Composées organiques	Concentration (mg/m <sup>3</sup> gaz)				
	FOD	Coton Brut	Coton dégommé	Coton raffiné	Colza brut
Pyridine		<2,33	<2,33	<2,33	<2,33
2 -picoline		<2,33	<2,33	<2,33	<2,33
p-xylène		<0,02	<0,02	<0,02	<0,02
o-xylène		<0,02	<0,02	<0,02	<0,02
3-picoline		<0,23	<0,23	<0,23	<0,23
4-picoline		<0,23	<0,23	<0,23	<0,23
2,3-benzofuran		<0,02	<0,02	<0,02	<0,02
Indène		<0,02	<0,02	<0,02	<0,02
phénol		0,23	0,18	0,19	0,22
2-metoxo-phénol. (gaiacol)		<0,02	<0,02	<0,02	<0,02
o-cresol		<0,02	<0,02	<0,02	<0,02
Naphthalene		0,50	0,59	0,76	0,71
p-cresol		<0,23	<0,23	<0,23	<0,23
m-cresol		0,08	0,06	0,06	<0,02
2-metoxo-4-méthyl-phénol		<0,23	<0,23	<0,23	<0,23
2,4-dimethylphénol		<0,02	<0,02	<0,02	<0,02
Quinoline		<0,02	<0,02	<0,02	<0,02
2-me-Naphtalene		<0,23	<0,23	<0,23	<0,23
Isoquinoline		<0,23	<0,23	<0,23	<0,23
3,4 Dimethylphenol		<0,02	<0,02	<0,02	<0,02
1-Methylnaphtalene		<0,23	<0,23	<0,23	<0,23
Acenaphtylene		<0,23	<0,23	<0,23	<0,23
Acenaphtene		<0,23	<0,23	<0,23	<0,23
Fluorene		<0,23	<0,23	<0,23	<0,23
Alpha-naphtol		<0,23	<0,23	<0,23	<0,23
Beta-naphtol		<0,23	<0,23	<0,23	<0,23
Phenanthrene		<0,23	<0,23	<0,23	<0,23
Anthracene		<0,23	<0,23	<0,23	<0,23
Fluoranthene		<0,23	<0,23	<0,23	<0,23
Pyrene		<0,23	<0,23	<0,23	<0,23
Benzo(a)anthracene		<0,23	<0,23	<0,23	<0,23
Chrysene		<0,23	<0,23	<0,23	<0,23
Benzo(b)fluoranthene		<0,23	<0,23	<0,23	<0,23
Benzo(k)fluoranthene		<0,23	<0,23	<0,23	<0,23
Benzo(a)pyrene		<0,23	<0,23	<0,23	<0,23
Dibenzo(ah)anthracene		<0,23	<0,23	<0,23	<0,23
Indeno(123cd)pyrene		<0,23	<0,23	<0,23	<0,23
Benzo(ghi)perylene		<0,23	<0,23	<0,23	<0,23



Parmi ces composés organiques, celles qui font l'objet d'une attention particulière sont les hydrocarbures aromatiques polycycliques (HAP) pour leur caractère cancérigène. Ce sont le Naphtalène, le 2-me-Naphtalène, le 1-Méthylnaphtalène, l'Acénaphtylène, l'Acénaphthène, le Fluorène, le Phénanthrène, le Fluoranthène, le Pyrène, le Benzo(a)anthracène, le Chrysène, le Benzo(b)fluoranthène, le Benzo(k)fluoranthène, le Benzo(a)pyrène, le Dibenzo(ah)anthracène, l'Indeno(123cd)pyrène et le Benzo(ghi)pérylène. Cependant, seul le Benzo(a)pyrène fait l'objet d'une norme dans certaines régions (Europe), il est très souvent utilisé comme indicateur de HAP.

Les résultats d'émissions de HAP obtenus au cours de la présente étude sont, pour l'ensemble, en dessous du seuil de détection du dispositif de mesure sauf pour le naphtalène. Ce HAP, le plus léger et moins toxique que les HAP lourds (YILMAZ *et al.*, 2007), donne pour l'ensemble des combustibles, des teneurs comparables avec une valeur légèrement plus élevée pour les huiles végétales, l'insaturation favorisant la formation de HAP (MORIN, 1999). Ces émissions de Naphtalène pourraient être dues à une combustion en mélange pauvre (richesse : 0,55). En effet, les émissions de ce composé s'effectuent de façon non négligeable en milieu pauvre (pour des richesses inférieures à 0,6) (LEVENDIS *et al.*, 1997), (YILMAZ *et al.*, 2007).

Quant aux autres HAP, un dispositif d'analyse dont la limite de détection permet une quantification de ceux-ci est indispensable pour évaluer la qualité de combustion en termes d'émissions de HAP. En particulier, la quantification précise d'une grande partie de ces HAP se trouvant sous forme particulaire est indispensable pour un séchage direct de produits. Cela devra s'accompagner de l'analyse d'autres composés tels les dioxines.

## Conclusion

Cette étude a révélé, les possibilités d'utilisation des huiles végétales dans un brûleur adapté à celles-ci et ayant subi des réglages adéquats. Les résultats de caractérisation physico-chimique sont conformes à ceux obtenus lors d'études antérieures et ces résultats indiquent la nécessité d'utiliser un brûleur modifié. Le comportement des différentes huiles étudiées en termes d'émissions est pratiquement le même et comparable à celui du FOD. En particulier, dans les chambres de combustion du type utilisé dans cette étude, les conditions de température sont favorables pour une bonne combustion des huiles végétales. Ces résultats sont conformes à ceux déjà observés dans des moteurs Diesel lorsque les conditions de température sont suffisantes pour une bonne combustion. La consommation augmente légèrement avec les huiles végétales comparativement au FOD.

Les résultats sont peu variables quelque soit le traitement subit par l'huile de coton. Toutefois, la teneur en phosphore de l'huile brute de coton risque d'être préjudiciable pour un usage à long terme. Au regard de la composition en acides gras, de la viscosité, de la teneur en phosphore, des résultats d'émissions, on peut dire que le dégommeage de l'huile de coton peut suffire à obtenir une bonne qualité de l'huile en tant que combustible pour ce type de brûleur. Quant à l'huile brute de colza, le dégommeage ne semble pas nécessaire.

Pour des applications de séchage direct ou indirect, une analyse plus fine des émissions de composés organiques (aldéhydes, HAP, dioxines etc.), en particulier les HAP sous forme particulaire et les dioxines, est nécessaire. Aussi, ces mesures devront-elles s'effectuer dans des conditions simulant un séchage avec une dilution des produits de combustion.

## Remerciements

Ces travaux ont été financés par l'Ambassade de France dans le cadre de la convention de financement pour l'exécution du projet FSP 2002-87, « Appui à la recherche au Burkina Faso » sous-convention n° VI-2005 CULT – 3891 du 20 octobre 2005. Les auteurs remercient Mme Ghislaine Volle du CIRAD pour son apport aux travaux de laboratoire.

## Références citées

- ALTIN R., ÇETINKAYA S., YÜCESU H.S., 2001.** The potential of using vegetable oil fuels as fuel for diesel engines. *Energy Conversion Management*, 42, 529 – 538
- FANGRUI M. MILFORD A.H., 1999.** Biodiesel production : a review. *Bioresource Technology*, 70, 1-15
- HIGELIN P., 1992.** Huiles végétales – biocombustibles diesel : incidence des aspects thermiques liés au type de moteur sur la combustion, Thèse de doctorat, Université d'Orléans
- HOLT G.A., HOOKER J. D., 2004.** Gaseous emissions from burning diesel, crude and prime bleachable summer yellow cottonseed oil in a burner for drying cottonseed. *Bioresource Technology*, 92., 261–267.
- LEVENDIS Y.A, ATAL A., CARLSON J., DUNAYEVSKIY Y., VOUROIS P., 1997.** On the Survivability and Pyrosynthesis of PAH During Combustion of Pulverized Coal and Tire Crumb. *Combustion and Flame* 110:462-478
- MORIN C., 1999.** Vaporisation et oxydation à haute température et haute pression de gouttes de combustibles liquides. Application aux n-alcane et esters méthyliques d'huiles végétales. Thèse de doctorat, Université d'Orléans
- MORIN C., CHAUVEAU C. and GÖKALP I., 2000.** Droplet vaporization characteristics of vegetable oil derived biofuels at high temperatures. *Experimental Thermal and Fluid Science*, Vol. 21, Issue 1-3, pp.41-50.
- RAKOPOULOS C.D., ANTONOPOULOS K.A., RAKOPOULOS D.C., HOUNTALAS D.T., GIAKOUMIS E.G., 2006.** Comparative performance and emissions study of direct injection Diesel engine using blends of Diesel fuel with vegetable oils or biodiesels of various origins. *Energy conversion and Management*, 47, 3272-3287
- REITZ R.D., BRACCO F.B., 1979.** On the dependence of spray angle and other spray parameters on nozzle design and operating conditions, SAE paper 790494,
- SAN J.J.A, LOPEZ J.A.S ROMERO-AVILA C. LOPEZ E.J.R., 2006.** Combustion of rapeseed oil and diesel oil mixtures for use in the production of heat energy. *Fuel Processing Technology*, 87, 97-102
- VAITILINGOM G., 1992.** Huiles végétales – biocombustibles diesel : influence de la nature des huiles et en particulier de leur composition en acides gras sur la qualité-carburant, thèse de doctorat, Université d'Orléans.
- VAITILINGOM G., PERILHON C., LIENNARD A., GANDON M., 1998.** Development of rape seed oil burners for drying and heating. *Industrial Crops and Products*, 7, 273-279.
- VANHEMELRYCK J.L., 1997.** Influences des propriétés du carburant dans les moteurs diesel à injection directe : application aux huiles végétales et leurs dérivés, thèse de doctorat, Université Catholique de Louvain /FSA/Unité de Thermodynamique et de turbomachines.
- WANG Y.D. AL-SHEMMERI T., EAMES P., MCMULLAN J., HEWITT N., HUANG Y. AND REZVANI S., 2006.** An experimental investigation of the performance and gaseous exhaust emissions of a diesel engine using blends of a vegetable oil, *Applied Thermal Engineering*, , 1684-1691
- YILMAZ N., DONALDSON A. B., 2007.** Evidence of PAH production under lean combustion conditions. *Fuel*, doi:10.1016/j.fuel.2007.02.015