

ESSAI D'ENDURANCE D'UN MOTEUR DIESEL FONCTIONNANT A L'HUILE DE COTON

¹MARIE BERNARD SIDIBE, sidibebernard@yahoo.fr

¹ABDOULAYE BENGALY, bengalyabdoulaye1@gmail.com

¹Ecole nationale d'ingénieurs Abderhamane Baba Touré (ENI-ABT)

Résumé

Les carburants d'origine végétale permettent de participer au développement d'une alternative et de lutter efficacement contre le changement climatique. En effet, leur valorisation contribue à réduire les émissions de gaz à effet de serre dans les secteurs du transport, de la production d'électricité et de l'industrie. L'expérience africaine en matière de biocarburants est très jeune, ce qui en fait une filière particulièrement intéressante, mais aussi relativement fragile. Nous avons installés un moteur Diesel de type indien sur un banc d'essai alimenté à l'huile de coton. L'essai a été mené à une vitesse constante de (850 tours/mn) et charge constante. Au terme de l'essai, l'injecteur et la pompe d'injection ont été démontés du moteur pour être contrôlés. Nous avons observé les fumées tout au long de l'essai et nous avons pu constater que les fumées dégagées par le moteur étaient sensiblement identique à celles dégagées par un moteur à gasoil. Pour évaluer l'usure du moteur, nous mesurons l'ovalisation du cylindre au terme de l'essai. Pour la dite recherche nous avons utilisés le matériel et appareils susmentionnés dans le tableau 4, 5, 6. Le tableau 7 illustre les résultats des mesures effectuées sur le moteur. Cet essai fait ressortir les avantages et les inconvénients de l'utilisation de l'huile de coton dans les moteurs. Comme avantages, entre autres, nous pouvons dire que les gaz rejetés dans la nature par le moteur utilisant l'huile de coton ne sont pas nocifs pour l'environnement.

Mots clés : Endurance, moteur Diesel, ovalisation du cylindre, huile de coton, Mali.

Abstract

Fuels from plants allow to participate in the development of an alternative solution and to combat truly the climate change. Indeed, their economic development contributes to reduce the emission of green house effects in the sector of transportation, the production of electricity and the industry allowing to limit the dependence of isolated regions or in shortage of oil reserves. The African experience as far as the use of biofuels is concerned is very limited which makes it a very interesting domain, but also relatively fragile. We have installed a gas-oil engine of Indian brand on attest rig faded by cotton oil. The test has been carried out a steady speed of (850 rotation per minute) and a steady charge. At the end of the test, the injector and the pump of injection have been removed from the engine for checking. The quality of the combustion in the engine can be assessed in a first approach by the color of the smokes. These must be colorless and this hardly visible. We have observed the smokes all along the test and we could notice that the smokes released by the engine were approximately by those released by a gas-oil engine. To assess the worn state of the engine, we will measure the ovalization of the cylinder at the end of the test. For the current research we have used the equipment and the apparatuses mentioned above in table 4, 5, 6. Table 7 highlights the results of the measurements carried out on the engine. This test points out the benefits and the drawbacks of the use of cotton fuel in the engines. As far as the benefits are concerned, among others, we can say that the gases in the atmosphere by the engine using cotton fuel are not harmful for the environment.

Key words: Endurance, Diesel engine, cylinder ovalization, cotton oil, Mali

1 Introduction

Les carburants d'origine végétale permettent de participer au développement d'une alternative et de lutter efficacement contre le changement climatique. En effet, leur valorisation contribue à réduire les émissions de gaz à effet de serre dans les secteurs du transport, de la production d'électricité et de l'industrie en permettant de limiter la dépendance des régions isolées ou n'ayant pas de réserve pétrolières (Deepak Agarwal 2007).

Parmi les biocarburants, ceux produits à partir d'huile végétales issues de plante oléagineuses peuvent être utilisés dans les moteurs de type diesel ou comme combustible dans les chaudières. Les huiles végétales peuvent être valorisées comme carburant soit brut dans les moteurs ou des brûleurs adaptés, soit modifiées chimiquement par estérification leurs confiant des caractéristiques physico-chimiques très proche de celles du gasoil. Ces huiles végétales et leurs dérivés présentent des bilans environnementaux très favorables. L'expérience africaine en matière de biocarburants est très jeune, ce qui en fait une filière particulièrement intéressante, mais aussi relativement fragile. Les interrogations notamment économiques que suscitent aujourd'hui les biocarburants africains, mais également la richesse du nombre de plantes oléagineuses présentes sur tout le territoire africain laissent à penser que le développement du biocarburant africain ne reposera pas sur l'utilisation d'une seule matière première végétale. Si les huiles de coton ont eu tendance à être privilégiées jusqu'à présent, il est fort probable que la palette des huiles végétales destinées à la fabrication de biodiesel s'élargira dans les années à venir à d'autres matières premières comme le tournesol ou le ricin.

La diversification probable d'huiles végétales qui vont être utilisées durablement pour la production de biocarburants impose d'avoir une bonne connaissance scientifique et technique préalable des oléagineux disponible en Afrique. Jusqu'à présent, ces informations sur l'utilisation des principaux oléagineux africains pour la production de carburant n'étaient pas facilement accessibles et parfois incomplètes, ou tout simplement présentées de manière synthétique et peu rigoureuse. Les objectifs de la dite recherche sont de substituer l'huile de coton au gasoil de rechercher les effets de l'huile de coton sur les pièces du moteur diesel, d'apprécier la longévité du moteur et de pouvoir.

2 Matériel et méthodes

2.1 Matériel

Pour la dite recherche nous avons utilisés le matériel suivant :

2.1.1 Un alternateur

Les caractéristiques de l'alternateur sont indiquées dans le tableau 1

Tableau 1 : Alternateur

Alternateur	
Marque	LEROY-SOMER
Type	LSA 37 M8
Fréquence	60Hz
Puissance	18,5 KW
I phase	28A
U phase	380V
Vitesse	3600 tr/min

L'alternateur débite sur des résistances. Un appareil de mesure **SOCOMECA 40** contrôle les paramètres principaux de ce circuit. Les mesures relevées sont :

- la fréquence (précision : 0,5Hz), image de la vitesse du moteur
- la puissance active débitée par la génératrice (précision : 0,01KW)

2.1.2 Un banc de charge

Tableau2 : banc de charge

Banc de charge	
Marque	CETEL
Puissance	3KW
U	220/380
I	7,9/4,55

2.1.3 Appareils de mesures

Le tableau n° 3 ci-dessous nous donne la liste des appareils de mesures et leurs fonctions.

Tableau3 : appareils de mesures

Descriptions		Appareils de mesures
Mesures de température		
T1,A T1,B	température de l'air d'admission	thermomètre à mercure
T2,A T2,B	température de l'eau de refroidissement	thermomètre à aiguille ⁵
T3,A T3,B	température des gaz d'échappements	sonde thermocouple type K ⁶
T4,B	température de l'huile de coton dans le réservoir	multimètre avec sonde K
T5,B	température de l'huile de coton avant la pompe d'injection	multimètre avec sonde K
T6,B	température de l'huile de coton après la pompe d'injection	multimètre avec sonde K
Mesures de consommation		
p1,A p1,B	masse de carburant à t = 0	balance (précision : ± 1g)
p2,A p2,B	masse de carburant à t ~ 20mn	balance (précision : ± 1g)
t1,A t1,B	durée de la mesure de consommation	chronomètre
Mesures électriques		
PA PB	puissance instantanée débitée par la génératrice	SOCOMECA 40 (précision : ± 0,01 kW)
FA FB	fréquence de la tension produite par la génératrice	SOCOMECA 40 (précision : ± 0,5 Hz)
Ovalisation du cylindre au point mort haut		
D1,A,L D1,B,L	diamètre du cylindre dans le plan du mouvement de la bielle	comparateur (précision : 0,01 mm)
D1,A,T D1,B,T	diamètre du cylindre perpendiculaire au mouvement de la bielle	comparateur (précision : 0,01 mm)
D2,A,L D2,B,L	idem D1,A, après essais d'endurance	Idem
D2,A,T D2,B,T	idem D1,A,T après essais d'endurance	Idem

2.2 Méthodes

Nous avons installés un moteur Diesel de type indien sur un banc d'essai alimenté à l'huile de coton. L'essai a été mené à une vitesse constante de (850tours/mn) et charge constante. L'huile de coton avait été réchauffée à l'avance de sorte que, cinq minutes après son démarrage au gasoil, le moteur a pu passer à l'huile de coton. Les premières mesures ont été prises une demi-heure plus tard. Ces mesures ont été répétées jusqu'à la fin de l'essai. En même temps, on procédait au remplissage des réservoirs ainsi qu'au graissage des culbuteurs et des tiges de culbuteurs. Comme le moteur avait peu tourné avant de commencer l'essai d'endurance, certaines pièces se sont rodées au cours de l'essai.

a) Usure des éléments d'injection de la pompe :

L'acidité ou le manque de viscosité de l'huile risque de provoquer une usure prématurée de certains éléments de la pompe d'injection ou de l'injecteur.

Au terme de l'essai, l'injecteur et la pompe d'injection ont été démontés du moteur pour être contrôlés. L'injecteur a été monté sur une pompe à tarer. Aucune usure particulière n'a été constatée. Il pulvérise normalement et l'on entend bien le bruit caractéristique de ronflement de l'injecteur.

Cette première observation nous permet de déduire que l'emploi d'huile de coton n'a pas affecté le mécanisme interne de l'injecteur et ce, malgré une qualité médiocre de l'huile au point de vue de son acidité et de sa teneur en eau. Il faut tout de même signaler que l'injecteur n'était plus taré qu'à 160 bars, au lieu de 180 bars avant l'essai. Nous pensons que cela est du au fait que nous avons utilisé un injecteur neuf. La diminution de pression de tarage serait due au rodage de l'injecteur et de son ressort. La pompe d'injection a été entièrement démontée et les éléments sensibles à l'usure (élément de pompage et clapet de refoulement) ont été observés à l'aide d'une loupe (image 2).



Image 1 : Pompe démontée



Image 2 : Élément de pompage et clapet de refoulement

On voit très nettement sur le clapet, la marque du siège sur lequel il vient s'appuyer. Nous pensons que cela s'explique par le fait que l'huile de coton est sans doute un peu plus agressive que le gasoil. Rappelons que l'huile de coton entrainé à 80°C dans la pompe

d'injection. Or on sait que l'augmentation de température s'accompagne aussi d'une augmentation du caractère corrosif.

Aucune trace de griffes n'a été constatée sur les éléments de pompage, ce qui indique que la filtration du carburant a été efficace. Cette constatation nous conforte dans notre choix du mode de filtration et du type de filtre choisi pour l'huile de coton.

Il n'y a pas eu non plus de grippage ou de trace de rouille dus à la présence d'une trop grande quantité d'eau dans l'huile.

Malgré l'usure légère plus marquée dans la pompe, le mécanicien (diéséliste) nous assure qu'elle a parfaitement rempli sa fonction.

Il serait intéressant de réaliser un essai de 1000 heures. Cela permettrait de voir si, l'emploi d'huile de coton ne répondant pas au critère de qualités, les éléments d'injection sont capables de remplir leur fonction de façon durable.

b) Qualité de la combustion dans le moteur :

Il est possible de distinguer trois phases entre le début et la fin de la combustion (Daho 2008), (Deepak AGARWAL 2007).

Phase 1

Le carburant est injecté pendant le délai d'inflammation en masse ou à vitesse très rapide ; on observe une élévation rapide de la pression de l'ordre de 3 à 4 bars/0V qui est à l'origine du bruit caractéristique du moteur diesel. On parle alors de flamme pré mélangée.

Cette phase de courte durée, est conditionnée à la fois par la loi d'injection et par le délai d'inflammation. Ainsi un délai d'inflammation relativement long et un débit d'injecteur élevé conduirait à une accumulation de carburant dans la chambre de combustion. La forte quantité brûlée au début de l'auto inflammation provoquerait un important saut de pression dans le cylindre. Ceci doit être évité afin de ne pas entraîner des contraintes mécaniques ou thermiques trop sévères pour le moteur (Fort EF, Blumberg 1992).

Phase 2

Elle correspond à la fin de la période d'injection. Le déroulement de la combustion est alors commandé par l'évolution dans le temps de la quantité de carburant injecté. Le carburant est injecté une fois l'allumage amorcé brûle en flamme de diffusion.

Au début de cette seconde phase, le carburant pénètre dans un milieu enflammé, trouve aisément l'oxygène nécessaire à sa combustion et brûle rapidement (Makareviciene and P.Janulis, 2006) Cependant, vers la fin de l'injection, la combustion est freinée en raison de la moindre richesse en oxygène.

Phase 3

L'injection est terminée ; le carburant encore intact est brassé par les mouvements de gaz à l'intérieur de la chambre ; sa vitesse de combustion dépend essentiellement de phénomènes de diffusion. La quantité de la combustion s'apprécie avant tout par l'opacité des fumées. Elles doivent être incolores. La température de ces fumées constitue également une information intéressante. La qualité de la combustion dans le moteur peut être évaluée en première approche par la couleur des fumées (Gilles Descheper 2006), (Higelin,P 1992),(Kalam 2003).

Celles-ci doivent être incolores et donc à peine visibles. Nous avons observé les fumées tout au long de l'essai et nous avons pu constater que les fumées dégagées par le moteur étaient sensiblement identiques à celles dégagées par un moteur à gasoil.

Une bonne manière d'apprécier la qualité de l'huile de coton dans le moteur consiste simplement à voir l'encrassement du moteur au terme de l'essai. Nous avons observé une couche uniforme de calamine sur l'injecteur. On constate un dépôt un peu charbonneux et plus haut sur l'injecteur. Il faudrait voir, si à la longue, ce dépôt ne pourrait pas détériorer la qualité du spray. Au nettoyage, la calamine présente sur l'injecteur s'est révélée plus solide et mieux accrochée. En observant le piston, nous avons constatés un encrassement plus net. Le piston présente aussi une zone couverte d'une fine couche uniforme de suie mais elle est moins étendue. On observe des dépôts de calamine plus importants à l'embouchure de la préchambre de combustion et sous les soupapes d'admission et de refoulement (Higelin P 1992). Il faudrait s'assurer que cet encrassement n'a pas été causé par le dérèglement des soupapes en réalisant un nouvel essai. D'autre part, le mécanicien nous a affirmé que l'encrassement du moteur était tout à fait raisonnable et qu'il aurait pu tourner plusieurs heures encore sans problèmes. Au niveau de la culasse, nous avons remarqués toute fois des dépôts plus importants au niveau des soupapes.

Pour conclure nous pouvons dire qu'un encrassement plus marqué a bel et bien été constaté dans le moteur au terme de cet essai. Toutefois, cet encrassement n'a pas posé de problèmes de combustion ni entraîné une augmentation de la consommation. Seul un nouvel essai de plus longue durée permettrait de déterminer si l'emploi d'huile de coton pose réellement un problème d'encrassement dans le moteur.

c) Usure du moteur (ovalisation du cylindre) :

Pour évaluer l'usure du moteur, nous mesurons l'ovalisation du cylindre au terme de l'essai. Cette ovalisation si elle existe se produit dans le plan de bielle et se marque surtout au point mort haut et au point mort bas du piston. Pour la facilité de mesure, nous mesurons uniquement au point mort haut. Pour rappel, les mesures indicées L sont prise dans le plan de la bielle et les mesures indicées T, transversalement au plan de la bielle (voir tableau 4 ci-dessous).

A titre indicatif on peut parler d'une usure importante à partir de 0,1 – 0,2mm.

Tableau 4 : Mesure de l'ovalisation du cylindre [9], [10]

Cylindre neuf	D_L	120,28mm	
	D_T	120,28mm	
Moteur	D_{1, B, L}	120,31mm	Usure : 0,05mm
	D_{2, B, L}	120,36mm	
	D_{1B, T}	120,30mm	Usure : 0,04mm
	D_{2, B, T}	120,34mm	

Une autre méthode couramment utilisée pour évaluer l'usure dans un moteur consiste à analyser l'huile lubrifiante. C'est ce que nous avons fait, au terme de notre essai, avec les huiles lubrifiantes du moteur et avec l'huile neuve.

3. Résultats

Les résultats sont présentés au tableau 2 ci-dessous.

Tableau 5 : Analyse de l'huile lubrifiante et neuve dans le moteur [11], [12]

Paramètre	Huile neuve SHELL Rimula x30	Moteur (Huile de coton)	Unités
Sodium	9	22	mg/kg
Magnésium	27	66	mg/kg
Aluminium	<1	21	mg/kg
Silicium	29	84	mg/kg
Phosphore	1020	110	mg/kg
Soufre	4280	4040	mg/kg
Chlore	17	27	mg/kg
Calcium	3340	3870	mg/kg
Chrome	<1	246	mg/kg
Fer	<1	316	mg/kg
Cuivre	<1	33	mg/kg
Zinc	1210	1290	mg/kg
Molybdène	98	99	mg/kg
Plomb	< 1	98	mg/kg

Le phosphore, le soufre, le calcium et le zinc sont présents en grande quantité dans l'huile neuve. Ces éléments sont des additifs couramment employés dans les huiles lubrifiantes. Il ne faut pas en tenir compte pour analyser l'usure du moteur.

Le soufre par exemple sert de stabilisateur d'oxydation dans l'huile lubrifiante. La diminution de certaines teneurs par rapport à l'huile neuve est imputable à la dilution de l'huile lubrifiante par l'huile de coton.

Le silicium présent dans l'huile lubrifiante peut provenir d'impuretés présentes dans le carburant et/ou des poussières qui entrent dans le moteur avec l'air d'admission.

L'aluminium, le chrome, le fer, le cuivre et le plomb sont des éléments considérés comme étant de bon indicateur d'abrasion et/ou de corrosion.

L'analyse de l'échantillon d'huile lubrifiante provenant du moteur indique justement des teneurs plus élevées dans ces éléments-là,.

On remarque particulièrement la teneur en chrome de 246 mg/kg (voir tableau 3), ce qui est beaucoup. Le chrome provient surtout des paliers du moteur.

La teneur en cuivre a pu être influencée par la présence d'un tube en cuivre chauffé entre le réservoir d'huile de coton et la pompe d'injection.

Ces résultats nous indiquent clairement que le moteur a subi une usure importante par abrasion et/ou corrosion. La corrosion est vraisemblablement causée par les acides gras libres présents dans l'huile de coton. Toutefois, nous pensons que les teneurs importantes en aluminium, fer, chrome, cuivre et plomb observées dans l'huile lubrifiante du moteur sont en

partie imputable au manque de rodage de ce moteur avant les essais. Nous suggérons donc de réaliser donc un nouvel essai de 500 à 1000 heures, en prélevant toutes les 100 heures un échantillon d'huile lubrifiante. Les analyses de ces échantillons permettront de compléter les informations ci-dessus et nous aideront dans la détermination de la teneur maximale acceptable d'acides gras libres dans l'huile de coton carburant.

Nous avons également analysé la viscosité de l'huile lubrifiante du moteur et de l'huile neuve. Les résultats sont présentés dans le tableau 4 ci-dessous. Ces résultats nous permettent simplement d'affirmer que la viscosité de l'huile lubrifiante dans le moteur n'a pas été affectée au terme de l'essai et ce, malgré 1% d'huile de coton d'acidité, 7,8 mg KOH/g diluée dans l'huile lubrifiante.

On relève 1,1% d'huile végétale diluée dans l'huile lubrifiante du moteur, ce qui est tout à fait acceptable.

Tableau 6 : Analyse de la viscosité de l'huile lubrifiante dans le moteur

Echantillon	ID	Paramètres	Méthode	Résultats	Unités
Huile neuve SHELL Rimulax30	85461	Viscosité cin. (40°C)	DIN EN ISO 3104	88,4	mm ² /s
Moteur (Huile de coton)	85463	Viscosité cin.(20°C)	DIN EN ISO 3104	73	mm ² /s

Le tableau ci-dessous montre les résultats des mesures effectuées.

Tableau 7 : Mesures effectuées sur le moteur

Moteur													
heures cumulées	p1, (g)	p2, (g)	t1, (min)	P (kW)	F (Hz)	consommation (g/kWh _{élec})(g/kWh _{méca})		T1 (°C)	T2, (°C)	T3, (°C)	T4, (°C)	T5, (°C)	T6, (°C)
01 h 00	0	-482	17'	4,16	59	409	295	27	80	422	78	80	65
18 h 00	0	-551	19'	4,16	59,5	418	302	32	80	414	70	80	70
24 h 00	2130	1599	19'	4,16	60	403	291	29	90	415	70	75	65
36 h 30	2100	1514	20'	4,16	59,5	422	305	26	90	450	70	76	68
48 h 00	2190	1595	20'	4,15	59,5	430	310	30	85	450	70	77	69
60 h 00	2180	1603	20'	4,16	59,5	416	300	30	90	450	70	80	70
70 h 30	2190	1605	20'	4,16	58,5	422	305	30	85	450	70	75	65
83 h 00	2180	1588	20'	4,16	59	427	308	29	85	460	70	80	70
93 h 00	2170	1580	20' 30''	4,16	59,5	415	300	35	90	460	70	80	70
109 h 00	2170	1575	20'	4,16	59	429	310	30	90	470	70	80	70
120 h 30	2170	1610	19'	4,16	59	425	307	22	90	470	70	80	70
132 h 30	2150	1552	20' 30''	4,17	58,5	419	303	30	90	460	70	80	70
142 h 00	2160	1580	20'	4,16	59	418	302	33	90	460	70	80	70
155 h 00	2180	1410	26'	4,18	58,5	425	307	28	85	470	70	80	70

Le tableau 7 nous donne les mesures des différents paramètres à savoir :

- P1 masse du carburant
- t Durée de la mesure de consommation
- P Puissance instantanée débitée par la génératrice
- F fréquence de la tension produite par la génératrice
- T1 température de l'air d'admission
- T2 température de l'eau de refroidissement
- T3 température des gaz d'échappement
- T4 température de l'huile de coton dans le réservoir
- T5 température de l'huile de coton avant la pompe d'injection
- T6 température de l'huile de coton après la pompe d'injection

4. Conclusion

Nous pouvons affirmer après notre essai que l'emploi de l'huile de coton n'a pas posé de problème majeur. Les divergences que nous avons constatées sur les résultats obtenus, peuvent s'expliquer par la différence de la qualité des huiles, les conditions d'essai, les équipements utilisés. Cet essai fait ressortir les avantages et les inconvénients de l'utilisation de l'huile de coton dans les moteurs. Comme avantages, entre autres, nous pouvons dire que les gaz rejetés dans la nature par le moteur utilisant l'huile de coton ne sont pas nocifs pour l'environnement car ces gaz ne sont autres que ceux mobiliser par la plante pendant sa croissance (Pramanik, 2003). Par contre l'huile de coton ayant une viscosité très élevée pose des problèmes au démarrage du moteur pouvant affectés certaines de ces pièces. Le choix du moteur indien est un bon choix du point de vue endurance, ténacité et longévité et peut se substituer au gasoil. Il faudrait encore réaliser de nouveaux essais pour lever les incertitudes relatives au rodage du moteur, notamment au niveau des tiges de culbuteur et de l'injecteur.

Références

Daho, T. 2008. Contribution à l'étude des conditions optimales de combustion des huiles végétales dans les moteurs diesel et sur les brûleurs P 245 : cas de l'huile de coton, in Energétique – combustion. , Université de Ouagadougou.

Deepak Agarwal, A.K.A..2007. Performance and emissions characteristics of jatropha in a direct injection compression engine P 10. Applied thermal Engineering.

Fort EF, Blumberg Pn, 1982. Performance and durability of a turbocharged diesel Fuelled Cottonseed Oil Blends, in: vegetable Oil fuels proceedings of the international conference of plant and vegetable Oils as Fuel, SAE 105,126,140.

Gilles D., juin 2006. Rapport d'essai des moteurs à l'huile de palme 16 p.

Higelin P. 1992. Huiles végétales biocombustible Diesel incidence des aspects thermiques liés au type de moteur sur la combustion. Thèse de doctorat, Université d'Orléans, 1.

Higelin P. 1992. Huiles végétales biocombustible Diesel incidence des aspects thermiques liés au type de moteur sur la combustion. Thèse de doctorat, Université d'Orléans.

Higgelin, P. 1992. Huiles végétales – biocombustible diesel. Incidence des aspects thermiques liés au type de moteur sur la combustion, in *Mecanique-Energétique*, Université d'Orléans : Orléans, 257 p.

Kalam, M.A & Husnawan, M & Masjuki, H.H, 2003. "Exhaust emission and combustion evaluation of coconut oil-powered indirect injection diesel engine," *Renewable Energy*, Elsevier, vol. 28 (15), pages 2405-2415.

Makareviciene V., Janulis, P. 2006. Influence of fuel oxygen content on diesel engine exhaust emissions. *Renewable Energy*, p. 2505-2512.

Murugesan A. et al., 2009. Bio-diesel as an alternative fuel for diesel engine A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 2009; 13:653-62.

Narayana Reddy, J. & Ramesh, A., 2006. "Parametric studies for improving the performance of a Jatropha oil-fuelled compression ignition engine," *Renewable Energy*, Elsevier, vol. 31(12), pages 1994-2016.

Pramanik, K., 2003. Properties and use of jatropha curcas oil and diesel fuel blends in compression ignition engine P 239-248. *Renewable Energy*.