

## Evaluation des performances et de l'encrassement d'un moteur diesel à injection indirecte modifiée, utilisant des carburants à base d'huiles végétales

Yomi Woro GOUNKAOU<sup>1,\*</sup>, Tizane DAHO<sup>1</sup>, Gilles VAITILINGOM<sup>2</sup>, Bruno PIRIOU<sup>2</sup>, Ali DIANE<sup>1</sup>, Jean KOULIDIATI<sup>1</sup>, Antoine BERE<sup>1</sup>.

<sup>1</sup>Laboratoire de Physique et de Chimie de l'Environnement (LPCE), Département de physique, Université Joseph KI-ZERBO, 03 BP 7021, Burkina Faso

<sup>2</sup>Centre International en Recherche Agronomique pour le Développement (CIRAD), Unité de Recherche Biomasse Bois Énergie Bioproduits (UR-BioWooEB), TA B-114/16, 73 rue JF Breton, 34398 Montpellier, France

\* Adresse email : [gounkaouyomi@yahoo.fr](mailto:gounkaouyomi@yahoo.fr) ; Tel : +226 71947483

### INFOS SUR L'ARTICLE

*Historique de l'article:*

*Reçu le : 31 juillet 2019*

*Reçu en format révisé le : 13 décembre 2019*

*Accepté le : 17 décembre 2019*

**Mots-Clés:** huiles végétales ; moteur diesel ; encrassement ; performances globales ; « point chaud ».

### RESUME / ABSTRACT

Ce travail a consisté à évaluer les performances et l'encrassement d'un moteur diesel à injection indirecte de type LISTER lors de son fonctionnement aux huiles végétales, avec l'ajout d'un « point chaud ». L'objectif visé était de réduire l'encrassement du moteur lorsqu'il fonctionne à l'huile végétale et de comparer ses performances avec celles obtenues lors du fonctionnement au gazole. Les principaux carburants utilisés sont du gazole, de l'huile de colza et des mélanges gazoles-huile de colza (25% gazole / 75% huile de colza et 10% gazole / 90% huile de colza). Les résultats obtenus montrent une réduction de l'encrassement du moteur en couplant le « point chaud » avec les mélanges suscités. Les performances globales pour l'ensemble des carburants sont comparables, et en particulier pour les mélanges et le gazole.

solutions à l'instar des autres sources d'énergies renouvelables (solaire, éolien, hydro-électricité etc.).

Les huiles végétales pures (HVP) et leurs dérivées constituent aujourd'hui l'une des solutions alternatives renouvelables intéressantes, capables de diminuer significativement la consommation de carburants fossiles, surtout pour des applications spécifiques de type stationnaire (production d'électricité ou de force mécanique).

La combustion des huiles végétales dans les moteurs a fait l'objet de nombreuses études (Agarwal and al. 2015; Basinger et al. 2010; Channapattana, Pawar, and Kamble 2015; Chauhan et al. 2010; Daho et al. 2008, 2012, 2013; Daho, and al. 2009; Hossain and al. 2012; Jain et al. 2016; Kannan and al. 2012; Mutyalu, Das and al. 2018; Pramanik 2003; Rao, Kumar, and al. 2018; Reding et al. 2009; Sayin and al. 2011; Sidibé et al. 2010; Suresh, Kamath, and al. 2014; Suryawanshi and al. 2005; Yadav, Saravanan, and al. 2015). L'huile végétale, utilisée directement dans un moteur diesel peut engendrer de nombreux problèmes si certaines conditions ne sont pas respectées. Il s'agit principalement des dépôts carbonneux sur certaines parties du moteur, des baisses de puissance et de rendement, une surconsommation en carburant, des problèmes de pompage et de vaporisation du jet de

### I. INTRODUCTION

L'énergie occupe une place importante dans le développement socio-économique d'un pays. Pour tous les pays du monde et en particulier les pays en développement, sa maîtrise est plus que nécessaire. L'énergie électrique est la source d'énergie la plus utilisée dans le monde grâce à sa facilité de conversion. L'Afrique en général, et l'Afrique subsaharienne en particulier, sont en déphasage du point de vue énergétique par rapport au reste du monde. L'Afrique qui comptait près de 1,033 milliards d'habitants en 2017 avait une consommation électrique qui représentait seulement 3,8% de la demande en énergie électrique mondiale (Agency for Natural Resources and Energy 2018). En dépit des ressources énergétiques importantes dont dispose le continent, en Afrique subsaharienne, environ 42,81% de la population seulement a accès à l'électricité, et 24,81% en zone rurale (Agency for Natural Resources and Energy 2018). Le Burkina Faso est dépourvu de sources d'énergie fossile. Le taux d'électrification nationale était de 20,07% en 2016. En milieu rural, où la biomasse est la source d'énergie la plus utilisée, ce taux est de 3,24% (Ministère de l'Énergie du Burkina Faso 2017). Pour pallier ce déficit, les biocarburants, en particulier les huiles végétales sont l'une des

carburant etc. (Agarwal et al., 2007; Chauhan et al., 2010; Hossain et al., 2012; Jain et al., 2016; Pramanik 2003; Reding et al., 2009). Plusieurs solutions technologiques ont fait l'objet d'études pour pallier ces problèmes. Il s'agit des systèmes de bicarburation permettant un fonctionnement du moteur aux huiles dans les conditions thermiques favorables ou la modification des chambres de combustion et piston avec des matériaux réfractaires (Sidibé et al., 2010; T.Daho et al., 2013). Ces solutions sont généralement coûteuses et sont peu adaptées aux applications en milieu rural dans la plupart des pays en développement. D'autres options moins coûteuses et dont la mise en œuvre est plus aisée impliquent la réduction de la viscosité par préchauffage du carburant, des modifications d'avance à l'injection du carburant et de la pression de tarage (Agarwal et al., 2015; Agarwal and al., 2007; Kannan et al., 2012; Mutyalu et al. 2018; Sayin et al., 2011; Yadav et al., 2015). Ces solutions sont généralement mises en œuvre individuellement et ne sont utilisées que lorsque la charge du moteur excède 50%, tandis que, les moteurs diesels sont couramment utilisés à des charges inférieures à 50%. L'objectif de ce travail est de coupler différentes solutions avec un « point chaud » placé sur la trajectoire du jet de carburant dans l'optique de permettre une meilleure vaporisation du carburant et par conséquent réduire l'encrassement et améliorer les performances du moteur fonctionnant aux huiles végétales à de faibles charges.

## II. MATÉRIEL ET MÉTHODES

Les essais ont été effectués sur un banc moteur, qui est composé d'un moteur diesel à injection indirecte de type lister refroidi à eau et de puissance 5,9 kW, un alternateur de puissance 14,8kW de type LSA.38M8, un système de charges résistives et de mesure de la puissance, un système d'analyse des gaz d'échappement et des températures, un système de mesure de la consommation, un système d'acquisition de données. La Fig.1.donne le schéma de principe du dispositif expérimental.

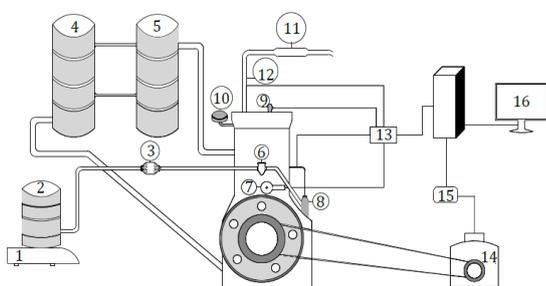


Fig. 3. Schéma de principe du dispositif expérimental (1) balance ;(2) réservoir ;(3) filtre ; (4) baril d'eau froide ; (5) baril d'eau chaude ;(6) filtre ;(7) codeur angulaire ; (8) pompe à injection ; (9) capteur de pression cylindre ;(10) admission ;(11) thermocouple échappement ;(12) analyseur des gaz

d'échappement ;(13) rack d'acquisition ; (14) alternateur ; (15) analyseur de puissance ; (16) ordinateur

Des modifications mécaniques mineures ont été apportées sur une pièce du moteur ; telles que l'introduction d'un « point chaud » (Fig.2a.) et d'une bougie de préchauffage (Fig.2b.). Ces deux éléments ont tous été montés sur la vis de préchambre qui elle-même est montée sur la culasse (Fig.3.).

Le « point chaud » (partie encerclée en rouge de la Fig.2a) est une paroi parabolique surmonté d'un « téton ». Cet ensemble est en contact avec la vis sur une surface équivalente à la section du « téton ». Cela permet au « point chaud » qui est situé sur la trajectoire du jet de carburant, d'être à un niveau de température voisine de celle régnant dans la préchambre. En effet, celui-ci reçoit le flux convectif des gaz chauds de la préchambre dont une faible partie seulement est transmise à la vis par conduction qui, elle, est refroidie par la culasse. Cela permet d'obtenir un niveau de température plus élevée lors de l'impact du jet que dans le cas sans le « point chaud ». La bougie de préchauffage est alimentée par une batterie de 12 volts ; elle est considérée comme étant un « point chaud extrême » produisant une chaleur plus intense. La Fig.2 présente les deux modifications apportées sur la vis de préchambre. De plus, les modifications d'augmentation de pression de tarage et d'avance à l'injection de carburant comme proposé par plusieurs auteurs peuvent améliorer le fonctionnement du moteur lors de l'utilisation des huiles végétales (Basinger et al., 2010; Channapattana et al., 2015; Mutyalu et al., 2018; Puhan et al., 2009; Rao et al., 2018; Suresh, K et al., 2014; Suryawanshi et al., 2005). Aussi, des mélanges gazole-huiles à différentes teneurs (T.Daho et al., 2013) permettent une amélioration du fonctionnement du moteur. La charge appliquée avoisine 35% de la puissance totale du moteur.

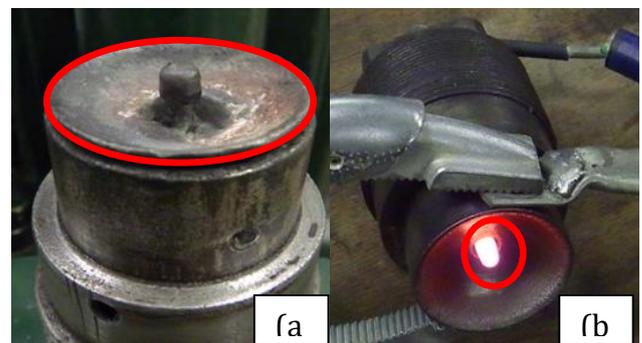


Fig. 4. (a) vis de préchambre surmontée d'un "point chaud", (b) bougie de préchauffage dans la vis de préchambre

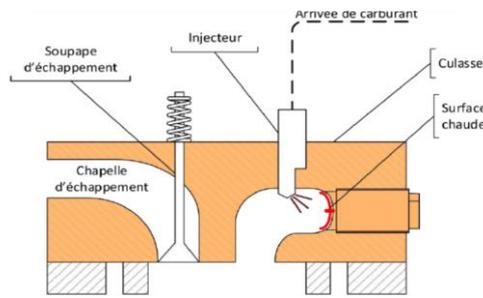


Fig.5. « Point chaud » monté dans la culasse

Le tableau 1 donne quelques caractéristiques des carburants utilisés.

Tableau 1 : Caractéristiques des carburants

Carburant	Masse volumique (kg/l) à 15°C	PCI (kJ/kg)	Viscosité (mm <sup>2</sup> /s)
G100	0,83	45716	3,3
C100	0,921	37636	78
C75G25	0,898	39656	-
C90G10	0,911	38444	-

G100 : gazole pur ; C100 : huile pure de colza ; C75G25 : 75% d'huile de colza et 25% de gazole ; C90G10 : 90% d'huile de colza et 10% de gazole

Le tableau 2 donne les caractéristiques des essais réalisés.

Tableau 2 : Récapitulatif des expérimentations

Essais	Carburant	Réglages	PI (bars)	AI (°V)
COLZA 1	C100	PC	150	20
COLZA 2	C100	PC	180	10
COLZA 3	C100-P	BP	180	10
COLZA 4	C75G25	PC	150	20
COLZA 5	C90G10-P	PC	150	20
GAZOLE	G100	PC	150	20

PC : Point chaud ; BP : Bougie de préchauffage ; PI : pression d'injection ; AI : Avance à l'injection ; °V : degré vilebrequin ; P : Préchauffage du carburant à 70°C.

### III. RÉSULTATS ET DISCUSSION

#### III.1 Performances

Les fig.4.a-b-c présentent les résultats de la consommation spécifique, du rendement du moteur et de la température des gaz d'échappement pour les essais.

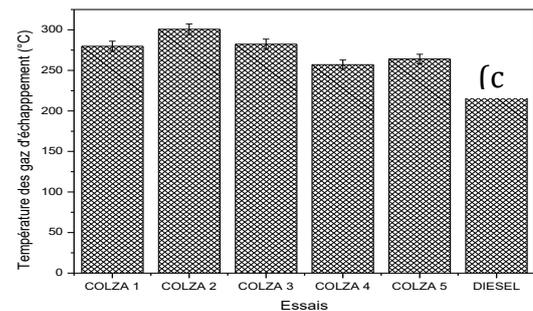
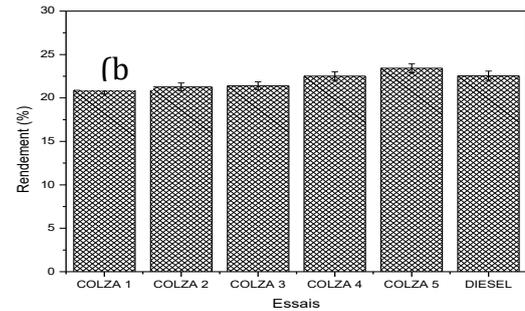
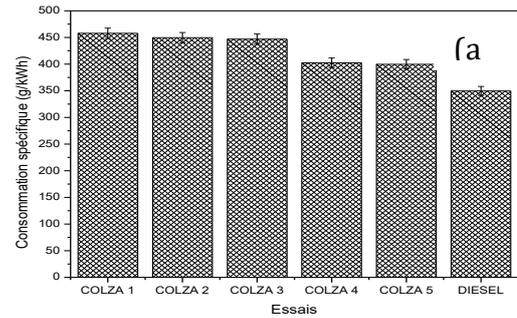


Fig. 6. (a) Consommation spécifique en carburant, (b) rendement global du moteur, (c) température des gaz d'échappement

On observe une surconsommation massique avec l'huile végétale comparativement au gazole pour les essais COLZA1, 2 et 3. La surconsommation la plus élevée est obtenue avec l'essai COLZA 1, elle est de l'ordre de 30%. En effet, le faible pouvoir calorifique de l'huile (17% plus faible comparativement au gazole) est l'une des raisons courantes qui permet d'expliquer cette surconsommation. Ainsi, pour fournir la même puissance, le déficit énergétique est compensé par la surconsommation de l'huile végétale. Ces résultats sont en accord avec différents travaux de la littérature (Chauhan et al. 2010; Pramanik 2003). On observe également une baisse de la surconsommation massique du carburant avec les mélanges C75G25 et C90G10 de l'ordre de 15% comparativement au diesel. Notons que le PCI des mélanges augmente de 13% comparativement à celui de l'huile pure. Les modifications apportées à l'huile de colza, donnent des rendements assez similaires à ceux obtenus au gazole.

En effet, les écarts obtenus entre les trois carburants sont de l'ordre de grandeur des incertitudes (5%). Cela s'explique par le fait qu'à puissance effective égale, le déficit énergétique de l'huile végétale (faible pouvoir calorifique inférieur) est compensé par la surconsommation de celle-ci ; cela conduit ainsi à des rendements globaux comparables entre les carburants (T. Daho et al., 2013). Pour les températures des gaz d'échappement, les essais à l'huile de colza pur (COLZA 1, 2 et 3) présentent les valeurs les plus élevées comparativement au gazole. L'écart maximal observé entre les températures des gaz d'échappement obtenues avec l'huile pure de colza et le gazole est de l'ordre de 22%. Pour les essais du couplage du « point chaud » et des mélanges gazoles-huiles, les écarts avec les essais au gazole pur sont plus réduits comparativement au cas de l'huile pure (7%). Cela induit une amélioration de la combustion dans le moteur (injection du jet, initiation de la combustion) avec ce couplage. Il ressort de ces différentes observations que le couplage du « point chaud » au mélange gazole-huile offre les meilleures performances du moteur comparativement à celles obtenues avec les autres à l'huile végétale pure.

### III.2 Émissions

Les Fig. 5.a et b présentent les résultats d'émissions de quelques gaz d'échappement. Les émissions de monoxyde de carbone (CO) sont relativement élevées pour tous les carburants à 100% d'huile végétale par rapport au gazole. Cela est surtout dû au fonctionnement à faible puissance du moteur (35% de la puissance maximale) où les conditions de température sont défavorables à l'évaporation des huiles végétales. En effet, la viscosité élevée des huiles, la taille des gouttes et la faible évaporation des huiles font parties des causes de la mauvaise combustion des huiles à de faibles charges (faible température) (Daho et al. 2008; T. Daho et al. 2012). Ainsi, la formation du CO lors de la combustion diffusante qui est plus longue avec les huiles pure et courte au gazole conduit à des teneurs plus importantes de CO. Toutefois, on observe des différences notables selon les essais.

Les modifications de tarage de l'injecteur de 180 bars et de l'avance à l'injection à 10°V de l'injecteur (COLZA 2 et 3) permettent de réduire les émissions de CO avec de l'huile pure du fait de l'amélioration de l'atomisation du jet comparativement au cas du COLZA 1 (sans modification de tarage). Le préchauffage de l'huile pure dans le cas de l'essai COLZA 3 permet de réduire davantage les émissions de CO relativement aux cas COLZA 1 et 2 du fait de la réduction de la viscosité et la taille des gouttelettes injectées. Certains auteurs ont montré que la réduction de la viscosité de l'huile végétale entraînait une

réduction des émissions de CO (Chauchan et al., 2010 ; Sidibé et al., 2010).

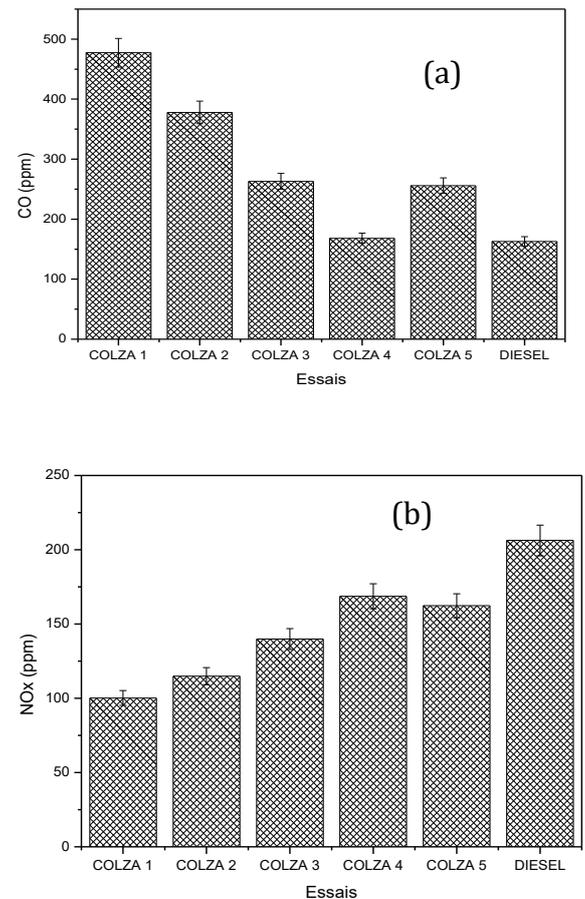


Fig. 7. Taux d'émission des gaz d'échappement : (a) CO et (b) NO<sub>x</sub>

Les mélanges d'huile et de gazole conduisent à des émissions de CO élevées par rapport au gazole pur mais relativement bas comparativement à l'huile pure. En général, les émissions de CO sont en rapport avec le pourcentage d'huile introduit dans le mélange (gazole-huile) ; lorsque le mélange contient plus de gazole ces émissions sont plus bas (Daho et al., 2008). Il ressort des résultats que l'introduction de gazole dans l'huile à une proportion atteignant 25%, couplée à l'utilisation du « point chaud » conduit à des niveaux de CO comparables à ceux du gazole pur. Cela peut s'avérer intéressant en termes d'utilisation, car cela représente la solution technologique la moins complexe à mettre en œuvre sur les différents tests effectués avec les plus faibles émissions de CO.

Pour l'ensemble des tests réalisés, les émissions d'oxydes d'azotes (NO<sub>x</sub>) sont relativement basses, cela est dû à la faible charge (35%) appliquée au moteur. Différents travaux ont montré que la teneur en NO<sub>x</sub> des gaz d'échappement augmentait avec la charge appliquée au moteur (Daho et al. 2013 ; Sidibé et al. 2010). Toutefois, la teneur en NO<sub>x</sub> dans les gaz

d'échappement reste légèrement plus élevée au gazole comparativement à l'huile végétale pure ou avec les mélanges. Cela est dû à l'origine thermique du monoxyde d'azote (NO) principal composant des NO<sub>x</sub> lors de la combustion dans les moteurs (Guibet 1997). Il ressort également que l'indice de cétane plus élevé est un facteur d'émission de NO<sub>x</sub>. En général, le gazole a un indice de cétane plus élevé que les huiles végétales (Daho et al., 2008; T. Daho et al., 2013). La taille des gouttes et l'évaporation rapide du carburant influencent le taux d'émission des NO<sub>x</sub>. Les essais COLZA 2 et 3 donnent des émissions plus élevées en NO<sub>x</sub> par rapport à l'essai COLZA 1. Cela est dû aux modifications de tarage de l'injecteur et d'avance à l'injection qui permettent d'augmenter la température de la chambre et de réduire la taille des gouttelettes de carburant injecté. L'essai COLZA 3 donne des émissions plus élevées en NO<sub>x</sub> que les deux précédents car le préchauffage de l'huile influence la viscosité (la taille des gouttes de carburant) et la bougie de préchauffage permet d'augmenter la température locale de la chambre. Les essais COLZA 4 et 5 réalisés avec des mélanges d'huile et de gazole donnent des émissions de NO<sub>x</sub> élevées et proches de celles du gazole comparativement aux huiles pures. Cela s'explique par une viscosité des mélanges semblable à celle du gazole (facilitant l'injection du carburant et diminuant la taille des gouttelettes). Aussi, elles conduisent probablement aux niveaux de températures les plus élevés (NO thermique) en cohérence avec les émissions de CO obtenus pour ces essais.

### III.3 Encrassement

Les Fig.6, 7 et 8 présentent des images de la « tête » du piston et celles de la culasse pour les différents essais qui ont duré chacun quatre (04) heures.

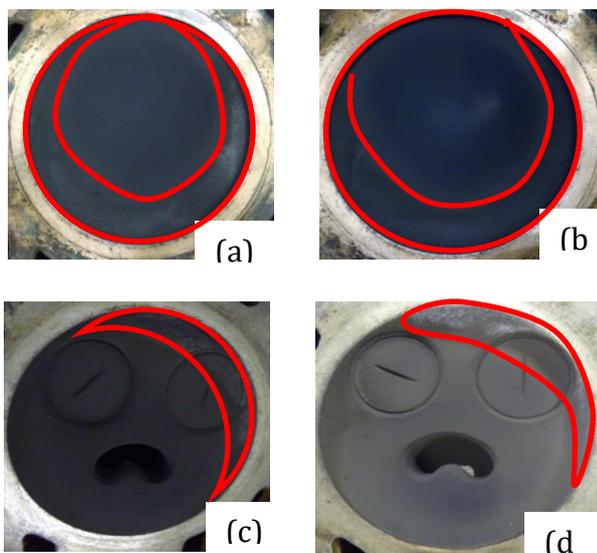


Fig.8. Tête du piston et culasse : (a) et (c) Colza 1 et (b) et (d) Colza 2

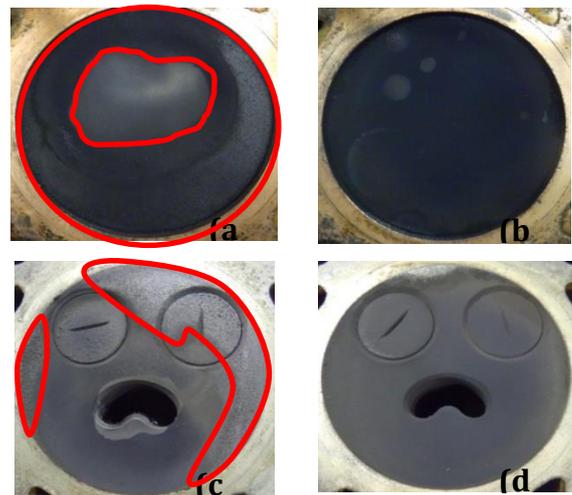


Fig.9. Tête du piston et culasse : (a) et (c) Colza 3 et (b) et (d) Colza 4

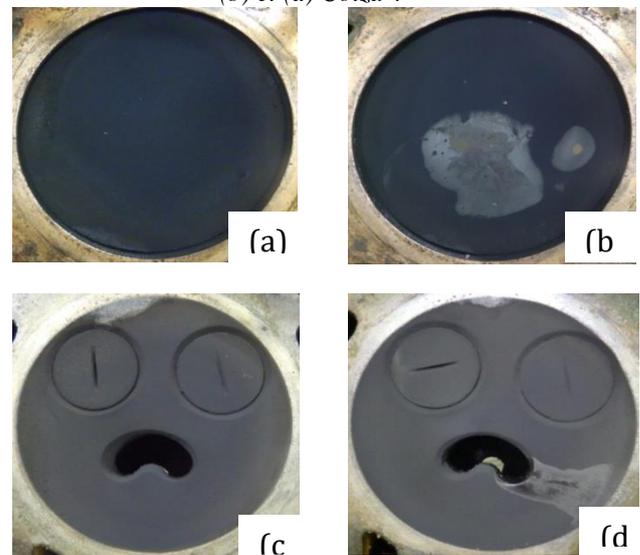


Fig.10. Tête du piston et culasse : (a) et (c) Colza 5 et (b) et (d) Gazole

L'encrassement est le paramètre le plus important qui a été apprécié dans cette partie des travaux. L'appréciation de ce paramètre, bien que qualitative, permet d'appréhender le niveau de dépôts selon les conditions de fonctionnement du moteur. Les parties encrassées sont constituées de dépôts d'huile polymérisées qui se présentent sous forme de vernis gras qui peuvent être observées sur la « tête » du piston et celle de la culasse. Ces vernis s'accumulent au fur et à mesure que le moteur fonctionne. Ils sont difficiles à nettoyer. Lorsque le moteur fonctionne au gazole, des dépôts sont observables : c'est de la suie sèche facilement nettoyable.

Avec l'essai COLZA 3, la partie encrassée (sous forme d'anneau sur la tête du piston et encerclé sur la tête de la culasse (Figs. 7 a et c)) est plus importante que l'encrassement observé pour tous les autres essais COLZA 1 et 2, 4 et 5 qui utilisent un « point chaud ». Cela implique que l'utilisation du « point chaud » est

efficace pour la réduction de l'encrassement comparativement à la bougie de préchauffage (essais COLZA 3). En effet, le « point chaud » apparaît ici plus comme une surface chaude que rencontre le jet de carburant, contrairement à la bougie de préchauffage. Mais l'encrassement perdure lors des essais COLZA 1 et 2 (sous forme d'anneau sur la tête du piston et encerclé sur la tête de la culasse, Figs.6a-d). Cela montre que malgré sa présence, la température obtenue sur la surface de la vis de préchambre n'est pas assez suffisante pour assurer une bonne combustion des huiles pures.

L'avance à l'injection et l'augmentation du tarage de l'injecteur, qui devaient créer des conditions optimales de combustion ne donnent pas non plus des résultats satisfaisants en termes de dépôts. En effet, l'augmentation de la pression de tarage permet de réduire la taille des diamètres des gouttes de carburant et l'avance à l'injection plus faible réduit le délai d'inflammation. C'est le cas dans les essais COLZA 2 et COLZA 3 où nous observons une croûte d'huile polymérisée très difficile à nettoyer entourant une plus grande surface de la tête du piston.

Les essais COLZA 4 et 5 réalisés avec des mélanges de gazole et d'huiles sont plus satisfaisants au regard de l'encrassement qui est minime comparativement à l'essai COLZA 1. En effet, le « point chaud » permet de créer une température suffisante pour permettre à la partie gazole du mélange d'impulser la combustion augmentant ainsi la température de la chambre de combustion.

#### IV. CONCLUSION

En conclusion :

- Les performances globales (Consommation spécifique, rendement et température des gaz d'échappement) sont améliorées avec le couplage du point chaud et des mélanges gazoles-huiles.
- La teneur en NO<sub>x</sub> est élevée avec le gazole et les mélange et inversement la teneur en CO est réduite avec ces carburants.
- L'encrassement est réduit avec le couplage du point chaud et des mélanges gazole-huiles.

Cette étude a permis de montrer l'efficacité d'une intégration de solutions que sont, le « point chaud » et les mélanges gazole/huile peu coûteuses pour une utilisation assez satisfaisante des huiles végétales pures dans les moteurs diesels.

#### REFERENCES

- Agarwal, Avinash Kumar, Atul Dhar, Jai Gopal Gupta, Woong Il Kim, Kibong Choi, Chang Sik Lee, and Sungwook Park. 2015. "Effect of Fuel Injection Pressure and Injection Timing of Karanja Biodiesel Blends on Fuel Spray, Engine Performance, Emissions and Combustion Characteristics." *Energy Conversion and Management* 91:302–14.
- Agarwal, Deepak and Avinash Kumar Agarwal. 2007. "Performance and Emissions Characteristics of Jatropa Oil (Preheated and Blends) in a Direct Injection Compression Ignition Engine." *Applied Thermal Engineering* 27(13):2314–23.
- Agency for Natural Resources and Energy. 2018. "Key World Energy Statistics 2018 Energy Statistics." *IEA International Energy Agency*.
- Basinger, M., T. Reding, C. Williams, K. S. Lackner, and V. Modi. 2010. "Compression Ignition Engine Modifications for Straight Plant Oil Fueling in Remote Contexts: Modification Design and Short-Run Testing." *Fuel* 89(10):2925–38.
- Channapattana, S. V., Abhay A. Pawar, and Prashant G. Kamble. 2015. "Effect of Injection Pressure on the Performance and Emission Characteristics of VCR Engine Using Honne Biodiesel as a Fuel." *Materials Today: Proceedings* 2(4–5):1316–25.
- Chauhan, Bhupendra Singh, Naveen Kumar, Yong Du Jun, and Kum Bae Lee. 2010a. "Performance and Emission Study of Preheated Jatropa Oil on Medium Capacity Diesel Engine." *Energy* 35(6):2484–92.
- Chauhan, Bhupendra Singh, Naveen Kumar, Yong Du Jun, and Kum Bae Lee. 2010b. "Performance and Emission Study of Preheated Jatropa Oil on Medium Capacity Diesel Engine." *Energy* 35(6):2484–92.
- Daho, Tizane, Oumar Sanogo, Hervé Jeanmart, and Jean Koulidiati. 2008. "Evaluation Des Performances et Des Emissions Polluantes d ' Un Moteur Diesel à Injection Indirecte Fonctionnant Avec Différentes Huiles Végétales et Leurs Mélanges Au Gas-Oil." *J. Soc. Ouest-Afr. Chim.* 26:1–9.
- Daho, Tizane, Gilles Vaitilingom, K. Salifou Ouiminga, Bruno Piriou, S. Augustin Zongo, Samuel Ouoba, and Jean Koulidiati. 2013. "Influence of Engine Load and Fuel Droplet Size on Performance of a CI Engine Fueled with Cottonseed Oil and Its Blends with Diesel Fuel." *Applied Energy* 111:1046–53.
- Daho, Tizane, Gilles Vaitilingom, and Oumar Sanogo. 2009. "Optimization of the Combustion of Blends of Domestic Fuel Oil and Cottonseed Oil in a Non-Modified Domestic Boiler." *Fuel* 88(7):1261–68.
- Daho, Tizane, Gilles Vaitilingom, Oumar Sanogo, Salifou K. Ouiminga, Bila Gérard Segda, Jérémie Valette, P. Higelin, and J. Koulidiati. 2012. "Model for Predicting Evaporation Characteristics of Vegetable Oils Droplets Based on Their Fatty Acid Composition." *International Journal of Heat and Mass Transfer* 55(11–12):2864–71.
- Hossain, A. K. and P. A. Davies. 2012. "Performance, Emission and Combustion Characteristics of an Indirect Injection (IDI) Multi-Cylinder

- Compression Ignition (CI) Engine Operating on Neat Jatropa and Karanj Oils Preheated by Jacket Water.” *Biomass and Bioenergy* 46(1):332–42.
- Jain, Narayan Lal, S. L. Soni, M. P. Poonia, Dilip Sharma, Anmesh K. Srivastava, and Hardik Jain. 2016. “Performance and Emission Characteristics of Preheated and Blended Thumba Vegetable Oil in a Compression Ignition Engine.” *Applied Thermal Engineering* 113:970–79.
- Kannan, G. R. and R. Anand. 2012. “Effect of Injection Pressure and Injection Timing on DI Diesel Engine Fuelled with Biodiesel from Waste Cooking Oil.” *Biomass and Bioenergy* 46:343–52.
- Ministère de l’Energie du Burkina Faso. 2017. *Annuaire Statistique Du Ministère de l’Energie Des Mines et Des Carrières 2016*.
- Mutyalu, K. B., V. C. Das, and K. Srinivasa Rao. 2018. “Effect of Fuel Injection Pressure on Performance and Emission Characteristics of DI- CI Engine with Shea Olein Biodiesel.” *Materials Today: Proceedings* 5(1):494–500.
- Pramanik, K. 2003. “Properties and Use of Jatropa Curcas Oil and Oiesel Fuel Blends in Compression Ignition Engine.” *Renewable Energy* 28(2):239–48.
- Puhan, Sukumar, R. Jegan, K. Balasubbramanian, and G. Nagarajan. 2009. “Effect of Injection Pressure on Performance, Emission and Combustion Characteristics of High Linolenic Linseed Oil Methyl Ester in a DI Diesel Engine.” *Renewable Energy* 34(5):1227–33.
- Rao, Gangadhara, G. N. Kumar, and Mervin Herbert. 2018. “Effect of Injection Pressure on the Performance and Emission Characteristics of the CI Engine Using *Vateria Indica* Biodiesel.” *International Journal of Ambient Energy* 0750(January):1–10.
- Reding, Thomas J., Mohammad Naraghi, Stephen Bosco, Sergio A. Rodriguez, Alexander W. Miranda, and Matthew Basinger. 2009. “Effects of Waste Vegetable Oil/Water Emulsions on the Emissions of a Listeroid Diesel Engine.” *Volume 8: Engineering to Address Climate Change; Sustainable Products and Processes* (July):35–46.
- Sayin, Cenk and Metin Gumus. 2011. “Impact of Compression Ratio and Injection Parameters on the Performance and Emissions of a Di Diesel Engine Fueled with Biodiesel-Blended Diesel Fuel.” *Applied Thermal Engineering* 31(16):3182–88.
- Sidibé, S. S., J. Blin, G. Vaitilingom, and Y. Azoumah. 2010. “Use of Crude Filtered Vegetable Oil as a Fuel in Diesel Engines State of the Art: Literature Review.” *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 14(9):2748–59.
- Suresh, G., H. C. Kamath, and N. R. Banapurmath. 2014. “Effects of Injection Timing, Injector Opening Pressure and Nozzle Geometry on the Performance of Cottonseed Oil Methyl Ester-Fuelled Diesel Engine.” *International Journal of Sustainable Engineering* 7(1):82–92.
- Suryawanshi, J. and N. Deshpande. 2005. “Effect of Injection Timing Retard on Emissions and Performance of a Pongamia Oil Methyl Ester Fuelled CI Engine.” *SAE Technical Paper* 1(724):3677.
- Yadav, S. Prasanna Raj, C. G. Saravanan, and M. Kannan. 2015. “Influence of Injection Timing on Di Diesel Engine Characteristics Fueled with Waste Transformer Oil.” *Alexandria Engineering Journal* 54(4):881–88.