

Effet de l'avance de l'injection sur les performances d'un moteur fonctionnant en biodiesel

C. boubahri ^{*1}, H. El Haj Youssef ^{#1}, R. Said ^{*2}, S. Fetni ^{*3}, ,

#1 Energy and Environment Research Unit, National School of Engineering of Tunis, University of Tunis El Manar, BP 37, Belvedere 1002 Tunis-Tunisia

**2 Ionized and Reactive Media Study (EMIR), University of Monastir, Avenue of Ibn El Jazzar, Monastir 5019, Tunisia*

32 Energy and Environment Research Unit, National School of Engineering of Tunis, University of Tunis El Manar, BP 37, Belvedere 1002 Tunis-Tunisia

**4 Military Academy of Fondek Jedid, Nabeul-Tunisia*

**Ionized and Reactive Media Study (EMIR), University of Monastir, Avenue of Ibn El Jazzar, Monastir 5019, Tunisia*

#1 Corresponding Author; Houssem El Haj Youssef; National School of Engineering of Tunis, University of Tunis El Manar, BP 37, Belvedere 1002 Tunis-Tunisia, Tel: +216 95 659 676, houcem_bacha@hotmail.com

Abstract— Les huiles de friture usagées sont recyclées en biodiesel, un substitut renouvelable, qui a un double objectif, celui de réduire la consommation du pétrole et celui d'abaisser les niveaux d'émissions de gaz à effet de serre.

La transformation de ces déchets en biodiesel résulte d'une réaction chimique de transestérification. Leurs propriétés physico-chimiques sont très intéressantes et sont de haute qualité à moindre coût. Ils sont jugés comme susceptibles d'être utilisés dans tous les types de moteurs Diesel.

La combustion de divers mélanges de gazole avec les EMHV a été étudiée en moteur diesel TDI 300, à injection directe quatre cylindres équipé d'un turbocompresseur, sur un banc d'essais, suivant la norme internationale ISO 27020.

Les résultats expérimentaux ont montré que les performances énergétiques du moteur, ont été légèrement réduites, que celles obtenues avec les produits pétroliers.

L'objectif étant de faire fonctionner le moteur cité en mélange de carburant contenant un taux maximal de biodiesel tout en gardant les performances du moteur avec moins de pollution et un faible coût de production.

La méthode la plus simple et non coûteuse consiste à jouer sur l'avance à l'injection.

Les études de combustion sur les divers mélanges de carburant, avec le calage d'injection standard et avancée, ont été effectuées en utilisant les mêmes procédures de moteur et de test afin que les évaluations comparatives puissent être faites.

Des résultats détaillés de la combustion montrent que l'avance à l'injection permet de maximiser les performances des moteurs sans pénalité sur les émissions polluantes (opacité des fumées).

Keywords— huile de friture usagée, transestérification, Biodiesel, moteur diesel, combustion, avance à l'injection et performances moteur.

I. INTRODUCTION

De nos jours, l'épuisement prévisible des carburants fossiles et les problèmes environnementaux causés par sa consommation, ont

engendré la nécessité du recours à des sources d'énergie alternatives moins polluante et économiquement rentables pour continuer à satisfaire les besoins énergétiques mondiaux tout en préservant l'environnement.

Une solution semble la plus prometteuse : l'utilisation des biocarburants. Cette alternative plus propre que le pétrole et fabriquée à partir de la biomasse, présente le double avantage de réduire la consommation du pétrole ainsi que les émissions de gaz à effet de serre. Il peut être utilisé seul ou en mélange avec du gazole.

Aujourd'hui, ceux-ci sont mondialement au cœur des préoccupations et considérés comme une filière d'avenir et suscitent l'intérêt des acteurs scientifiques, politiques et économiques, mais elles ont encore beaucoup de progrès à faire pour remplacer le pétrole.

Les pays africains, en particulier la Tunisie, ne sont pas restés indifférents face à cette prise de conscience. Ils s'intéressent aux énergies renouvelables comme le biocarburant afin de remplacer les dérivés du pétrole dans le secteur des transports pour limiter leur dépendance et avoir accès une source d'énergie à moindre coût. La Tunisie a une potentialité végétale non utilisée qui peut servir à produire différentes huiles dont les

consommables peuvent être destinées à la production de biodiesels.

Parmi les solutions qui peuvent être valorisées en biocarburant, on compte sur la récupération des huiles alimentaires qui constituent une matière première de choix pour les utiliser comme réactif lors du procédé de thermo conversion puisqu'elles sont des déchets et ont donc un coût de revient très faible et qu'elles ne sont que très peu valorisées à ce jour. Cela permettra de résoudre le problème de destruction des déchets car les huiles alimentaires usagées représentent un grave problème écologique.

Notre démarche s'inscrit dans ce cadre général, nos efforts s'étant plus particulièrement concentrés sur la production de biodiesel à partir des huiles de friture recyclées (huiles alimentaires de cuisson) afin de l'exploiter sur les engins de l'armée tunisienne.

Le pétrole reste toujours la source d'énergie la plus consommée à l'heure actuelle. Notons bien, que la Tunisie ne fait pas partie des pays producteurs du pétrole ni sur le plan mondial, ni en Afrique. Notre pays est obligé donc d'importer tous les dérivés du pétrole de l'étranger.

Face à la poussée démographique et le développement du secteur des transports, les besoins en pétrole de la Tunisie ne font que croître. Ce qui accentue sa dépendance énergétique des pays producteurs du pétrole.

Afin de remplacer les dérivés du pétrole dans le secteur des transports, limiter leur dépendance et avoir accès à une source d'énergie à moindre coût, les scientifiques se sont penchés sur la recherche des énergies pouvant remplacer les énergies fossiles qui ont beaucoup contribué à la détérioration de l'environnement et à la destruction de notre planète. Il devient urgent de développer des nouvelles filières, impliquant d'autres ressources et d'autres technologies [01].

II. LES PROPRIETES DES HUILES UTILISEES COMME COMBUSTIBLES

La caractérisation physico-chimique d'huile de friture usagée a montré qu'elle ne peut pas être utilisée directement à l'état brut sur moteur, vu sa viscosité élevée $\approx 37,02 \text{ mm}^2/\text{s}$, (environ 8 – 18 fois plus élevée que le carburant diesel). Celle-ci provoque une mauvaise pulvérisation du jet dans la chambre de combustion et par la suite, la détérioration du système d'injection (pompes et injecteurs). Cette mauvaise pulvérisation provoque une combustion incomplète dans le moteur. Cette mauvaise combustion se traduit par des performances dégradées du moteur et des émissions polluantes plus élevées (suies, monoxydes de carbone et hydrocarbures imbrûlés).

Il y a beaucoup de différences entre les propriétés physico-chimiques des huiles végétales et celles du gazole.

Tous ces facteurs concourent à l'emploi des EMHV afin d'éviter tout désagrément lors de l'utilisation des huiles végétales pures comme carburant.

II.1- LA TRANSESTERIFICATION

La transesterification est l'une des plus importantes méthodes utilisées pour la transformation des huiles végétales en carburant diesel, c'est la meilleure méthode pour produire de

biodiesel de haute qualité. C'est une méthode qui a sa particularité d'être simple à manipuler et à moindre coût. Elle consiste à estérifier les triglycérides des huiles végétales en utilisant un alcool, généralement le méthanol ou l'éthanol en présence de catalyseur.

III.2- LE MODE OPERATOIRE POUR LA SYNTHÈSE DE BIODIESEL

Dans le présent travail, en se basant sur la littérature les valeurs des paramètres de la réaction ont été fixées comme suit :

- La température de la réaction T_0 était choisie légèrement inférieure à la température de l'ébullition d'alcool. $T_0 = 60^\circ\text{C}$ pour le méthanol dont le point d'ébullition est de 64°C .
- La quantité de catalyseur était de 1% de la masse de l'huile de friture : (5 g) d'hydroxyde de sodium (NaOH).

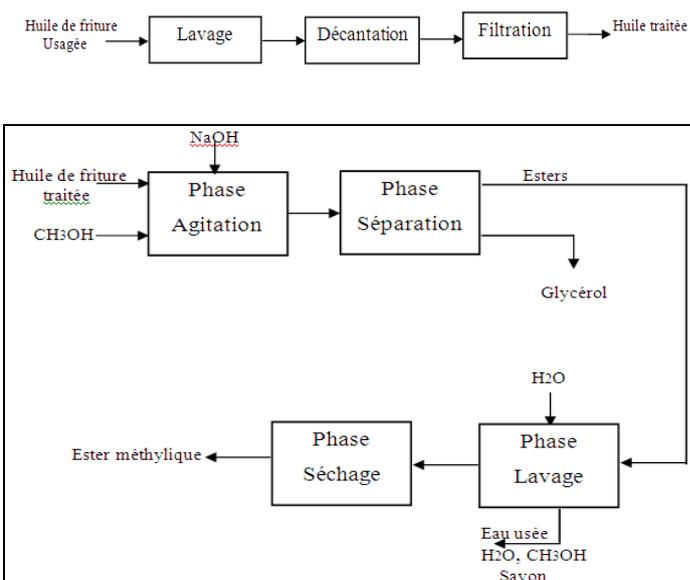


FIGURE 1: PROCESSUS DE PRODUCTION DU BIODIESEL

C'est l'hydroxyde de sodium en solution méthanoïque qui est le catalyseur que nous avons retenu pour la production du biodiesel, à cause de sa disponibilité sur le marché local et son efficacité dans notre réaction chimique [03].

- le ratio molaire alcool/huile était de 6:1.
- L'opération transesterification a été réalisée en utilisant (500 g) d'huile de friture usagée et (125 g) de méthanol.
- La durée de la réaction était 2h [02].

Notre objectif consiste à produire du biodiesel, à partir d'huile de cuisson usagée, de qualité supérieure à moindre coût.

La production de biodiesel à partir d'huile de friture usagée comprend deux phases importantes, soit le traitement d'huile de friture usagée et la transformation de cette huile en biodiesel (Figure 1).

L'analyse du produit de réaction donne une conversion en esters méthyliques de l'ordre de 78% d'esters qui est obtenu avec une qualité d'esters répondant le mieux possible aux spécifications imposées aux esters carburants. . Même résultat a été obtenu par H. Venkatesan et al. [03].

III. CARACTERISATION PHYSICO-CHIMIQUE DU BIODIESEL DE L'HUILE DE FRITURE

Le biodiesel élaboré était sujet d'une campagne de tests.

Il est clair que les propriétés physiques changent énormément quand on passe de l'huile à son ester correspondant. La réaction de transesterification nous a permis

de raffiner les huiles végétales et de rapproche leurs caractéristiques de celles d'un gazole conventionnel. Les esters méthyliques, en termes de densité spécifique, de viscosité à 40°C et d'indice d'acidité se comparent avec celle du gazole, ce qui n'est pas le cas des huiles.

IL est à remarquer que la densité a été légèrement améliorée par rapport à celle de l'huile végétale pure. Par contre, l'effet positif de l'estérification de l'huile est très significatif avec l'amélioration flagrante des autres caractéristiques (viscosité, acidité...).

La viscosité cinématique à 40°C du biodiesel, estimée initialement pour l'huile pure à 37.02 mm²/s, a été mesurée à 4.6 mm²/s. Cette valeur est incluse dans l'intervalle de viscosité toléré, que ce soit par la norme américaine européenne. Ce fait est bénéfique pour la qualité de la pulvérisation du biodiesel dans les chambres de combustion des moteurs [04]. Entre autre, le processus à des limites, ce procédé est très sensible à l'eau, ce qui rend son utilisation sous forme pure difficile sur les véhicules.

Une solution probable de ce problème consiste à l'utiliser sous forme de mélanges ou de le préchauffer avant son injection au moteur.

IV. CARACTERISATION PHYSICO-CHIMIQUE DU MELANGE DE BIODIESEL DE L'HUILE DE FRITURE AVEC LE GAZOLE

Bien qu'il puisse être employé à l'état pur, le biodiesel est généralement mélangé à différentes proportions avec des combustibles fossiles classiques.

Les dernières directives européennes du 8 mai 2003 indiquent que la part minimale des biocarburants vendus sur le marché atteint 10 % fin 2015 (part des EMHV portée à 10 % en volume). Il est également intéressant d'étudier l'incorporation des esters d'huile à de plus fortes teneurs, environ 30% dans le gazole.

Les résultats des analyses physicochimique, des différents mélanges effectués, ont confirmé la possibilité d'exploiter ces produits, mais avec des améliorations nécessaires concernant quelques paramètres tel que leur teneur important d'eau.

Si on veut s'affranchir de ce phénomène, Un réglage très fin du procédé est nécessaire afin de permettre son utilisation dans un moteur diesel. Un séchage poussé des esters (par évaporation à l'air libre) pendant une période de 24H au minimum semble être la bonne solution.

Plusieurs mélanges ont été formulés où les rapports volumétriques considérés de gazole/biodiesel sont (90/10), (80/20) et (70/30).

V. RESULTATS ET DISCUSSIONS

Les propriétés physico-chimiques de différents mélanges ont été mesurées par des méthodes standards à la SNDP Société Nationale de Distribution de Pétrole et elles ont été comparées avec celles du gazole.

Les propriétés des mélanges sont généralement intermédiaires entre celles du gazole et d'ester méthyliques des huiles végétales. Pour certains moteurs qui n'acceptent pas les esters méthyliques d'huiles végétales brutes, certains mélanges riches en gazole peuvent être utilisés.

TABLEAU 1: PROPRIETES PHYSIQUES COMPAREES ENTRE UN MELANGE D'ESTER B10, B20, B 30, UN BIODIESEL ET DU GAZOLE.

Masse Volumique à 15°C	Kg/m ³	820.0	860	860.0	900	836.8	837.3	837.3
Point d'Éclair	°C	55.0	-	101	-	64.0	62.0	58.0
Distillation : 250°C 350°C	% V	- 85.0	65 -	- -	- -	31.6 87.4	31.6 88.2	32.0 90.0
Indice de cétane Calculé	N	46.0	-	51	-	53.4	53.3	53.3
Teneur en eau	mg/Kg	-	200	-	500	114,3	163.5	624
Teneur en Soufre Total	% (m/m)	-	0.3	-	1	0.12	0.12	0.12
Viscosité : à 40°C	CSt	2.00	4.50	3.5	5	3.71	3.1	3.12

L'association de 70, 80 et 90 % de gazole au biodiesel d'huile de friture usagée forme des mélanges de masses volumiques respectives de 837.3, 837.3 et 836.8 kg/m³, ce qui représente une légère diminution de la masse volumique par rapport à celle du biodiesel pure, de 896 kg/m³. L'augmentation de la quantité du gazole dans le mélange a fait aussi diminuer sa viscosité cinématique et son point d'éclair.

Concernant les différents mélanges testés, les teneurs en eau varient fortement d'un mélange à l'autre. Ces différents mélanges contiennent 114.3 et 163.5 respectivement pour les mélanges B10 et B20.

L'augmentation de la quantité du biodiesel dans le mélange entraîne une augmentation de la teneur en eau (238 mg/kg pour un mélange B30) et un dépassement de la spécification la plus restrictive de la norme ISO 12937 (max 200 mg/kg). La teneur en eau des différents mélanges est nettement plus élevée que celle du gazoil [05].

Ce biodiesel ne contient pas de soufre, n'est pas toxique et est biodégradable.

Le biodiesel obtenu est de qualité supérieure en comparaison avec les résultats obtenus par Boubahri et al [04], surtout la viscosité cinématique.

Les mélanges biodiesel / gazole sont considérées comme les premières possibilités pour la motorisation future.

Le mélange B20 peut être considéré en tant qu'un candidat potentiel pour être utilisé comme carburant dans les moteurs à allumage par compression. Ce même mélange B20 s'est avéré le meilleur pour le moteur suite à l'étude réalisé par P. Verma [06].

Les performances similaires entre le biodiesel et le gazole ainsi que la réduction des émissions polluantes sont des atouts du biodiesel, mais elles ne sont pas suffisantes pour l'adopter comme carburant alternatif sur les moteurs diesel. IL faut combiner ces résultats avec des études d'endurance sur les moteurs.

VI. UTILISATION DE L'HUILE DE FRITURE USAGEE CARBURANT : PERFORMANCES ET POLLUANTS

Une fois que les biocarburants sont produits et sont jugés comme susceptibles d'être utilisés sur les moteurs diesel, des essais ont été menés sur un banc d'essais, suivant la norme internationale ISO 27020.

Ces essais visant à mesurer les performances et les émissions de la production et de l'utilisation des biocarburants d'un moteur diesel TDI 300, à injection directe quatre cylindre équipé d'un turbocompresseur, lors de son alimentation avec des mélanges de gazole avec les esters méthyliques d'huiles de

ANALYSE	UNITE	Limites Diesel		Limites Biodiesel		RESULTATS		
		MIN	MAX	MIN	MAX	10% Bio	20% Bio	30% Bio

friture usagées où les rapports volumétriques considérés de gazole/biodiesel sont (90/10), (80/20) et (70/30) a été mené. Les essais initiaux réalisés avec un carburant normalisé, le gazoil, servent de point de référence pour ensuite un fonctionnement du moteur avec des mélanges gazole/biodiesel. Voyons à l'aide de quelques expériences effectuées sur l'ester méthylique d'huile de friture usagée en mélange, comment se chiffrent ces résultats à la figure 2 et 3.

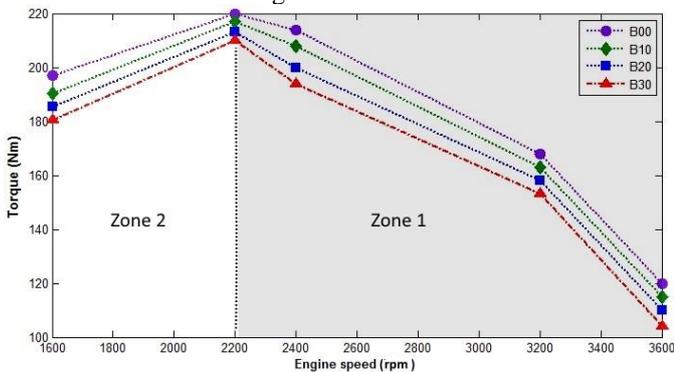


FIGURE 2 : LE COUPLE EN FONCTION DE REGIME MOTEUR POUR DIFFERENTS POURCENTAGES D'ESTER DANS LE CARBURANT

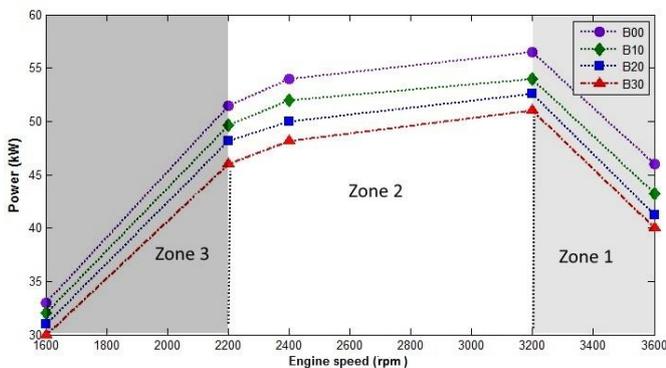


FIGURE 3 : PUISSANCE EN FONCTION DE REGIME MOTEUR POUR DIFFERENTS POURCENTAGES D'ESTER DANS LE CARBURANT

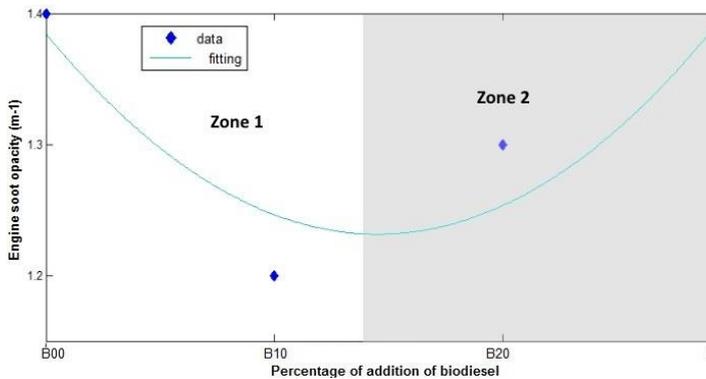


FIGURE 4 : L'OPACITE DES FUMÉES EN FONCTION DES POURCENTAGES D'ESTER DANS LE CARBURANT

De manière identique à ce qui avait été observé par M. Karabektas (2009) [08], Boubahri et al (2012) [04], O. Can (2014) [09] et P. Verma (2015) [06], les résultats ont montré que l'utilisation des différents mélanges formulés à partir des huiles de friture usagées conduit à une baisse dans le couple et la puissance du moteur. Cette baisse avait tendance à augmenter avec la quantité des esters méthyliques dans de carburant comparativement à l'utilisation du gazole. La figure 4 présente l'opacité des gaz d'échappement du moteur en fonction du taux d'ester méthylique dans le mélange de carburant allant de B0 à B30 avec un pas de 10%.

Il ressort de cette étude, que la substitution du biodiesel au petrodiesel à des faibles teneurs (B10, B20 ou B30), entraîne une réduction significative de l'opacité des fumées. L'opacité des fumées de tous les biocarburants sont inférieures à celles utilisant les carburants pétroliers. Les réductions les plus importantes sont observées pour le B10, elle était réduite de 15% à celles mesurées pour le diesel.

VII. EFFET DE LA VARIATION DE L'AVANCE DE L'INJECTION SUR UN MOTEUR FONCTIONNANT EN BIODIESEL: PERFORMANCES ET POLLUANTS.

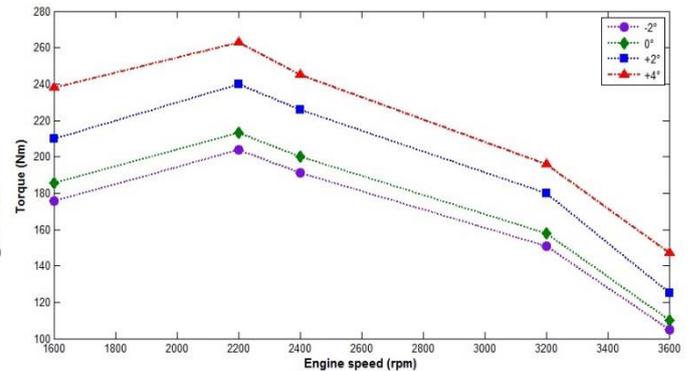


FIGURE 5 : COUPLE DU MOTEUR EN FONCTION DE L'AVANCE A L'INJECTION ET DU BIOCARBURANT.

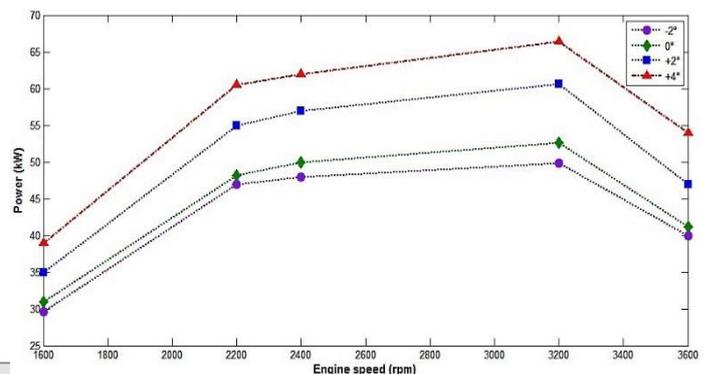


FIGURE 6 : PUISSANCE DU MOTEUR EN FONCTION DE L'AVANCE A L'INJECTION ET DU BIOCARBURANT

Au lieu de reproduire tous les essais avec tous les mélanges (10%, 20% et 30%), on va se contenter du mélange qui a permis d'avoir les meilleures performances lors des essais avec le moteur suralimenté et sans réglage moteur.

Notons bien que lors de l'injection d'ester méthylique en mélange au moteur, sa haute viscosité et sa densité élevée tend à augmenter la taille des gouttelettes pulvérisées et conduit à une masse de carburant injecté plus importante.

Cette quantité injectée n'a pas eu le temps pour se brûler. Pour que la combustion soit complète afin de brûler complètement toutes les fractions du mélange de biodiesel, il a été également nécessaire de prolonger la durée de combustion [07].

En effet, on remarque que les courbes se limitent à +4 ou - 2°; au-delà de ces limites, tout est à reconsidérer (on constate une densité maximale de fumées noires, sentir que ces fumées dégagent une

odeur typique de l'huile, et entendre un mauvais ronronnement du moteur) donc surtout ne pas sortir de cette fenêtre de réglage.

L'effet de l'avance à l'injection a été testé pour les B20.

D'après ces figures, il apparaît également que sur la plage d'avance à l'injection positive, pour les carburants B20 (mélanges diesel-biodiesel), les performances du moteur (couple et puissance), est plus important (augmentation de 2.8% du couple et 4% de la puissance), à celui du diesel conventionnel. Ces constatations peuvent être dues à l'amélioration de la qualité de la combustion.

Une adaptation précise du réglage de l'avance à l'injection à quelques degrés avant le Point Mort Haut (PMH), permet une longue pénétration du jet dans la chambre à combustion et une bonne dispersion des gouttes, ce qui donne plus de temps à l'air et au carburant de bien se mélanger et permet ainsi une combustion complète et produit moins de particules de suie.

Les résultats obtenus sont acceptables et en accord, même meilleur, avec ceux obtenus par Rajesh Kumar Saluja et al. (2017) [07]. Ce dernier a constaté que le rendement thermique du mélange B20 au moment d'injection avancé de 5° était légèrement supérieur à celui du diesel seulement à forte charge. Cette différence est expliquée par la différence de matière première utilisée et de procédé de transformation des huiles végétales.

Par contre, il a été constaté qu'avec un retard à l'injection, le moteur alimenté par B20 souffre d'une diminution de puissance du moteur d'une valeur variant de 2,5% à 5%, et de couple d'une valeur d'environ 5%. Ainsi, lors d'une injection tardive, la combustion devient de plus en plus incomplète favorisant une dégradation de la performance du moteur et une densité maximale de fumées noires

VIII. CONCLUSIONS

La production de biodiesels est complexe et n'est pas rentable qu'à grande échelle.

Nous nous sommes intéressés à l'étude de la réaction de transestérification à l'échelle du laboratoire, et après avoir compris les phénomènes chimiques et physico-chimiques mis en jeu au cours du temps en fonction des conditions expérimentales, il est temps de le faire transposer à l'échelle industrielle. Il reste à conclure que le bilan énergétique ainsi que l'opacité des fumées sont meilleurs lorsque le moteur est adapté à l'ester méthylique d'huile végétale (variation de l'avance de l'injection par exemple) plutôt que d'adapter l'huile végétale (transformation chimique en biodiesel) à des moteurs conçus pour fonctionner avec des dérivés du pétrole.

NOMENCLATURE

- ASTM*: American Society of Testing and Materials
WCO: Waste cooking oil
FAME: fatty acid methyl esters
BXX: blend of XX % biodiesel fuel and (100_XX) % petrodiesel fuel by volume
BSFC: brake specific fuel consumption
SOC: Start of combustion (°CA)
WEO: waste edible oil
SOI: start of injection
BTDC: before top dead center

REFERENCES

- [1] B.Verma, C. Balomajumder, "Algal biodiesel production: Comparison, Characterization and optimization of various extraction processes", International Journal of Renewable Energy Research (IJRER), vol.6, No.3, 2016 (Article)
- [2] Y. S. Pradana, W. Masruri, F. A. Azmi, E. A. Suyono, H. Sudibyo, Rochmadi, "Extractive-transesterification of Microalgae *Arthrospira* sp. Using Methanol-Hexane Mixture as Solvent", International Journal of Renewable Energy Research (IJRER), vol.8, No.3, 2018 (Article)
- [3] H. Venkatesan, G. John, S. Sivamani, "Cotton Seed Biodiesel as Alternative Fuel: Production and its Characterization Analysis using Spectroscopic Studies", International Journal of Renewable Energy Research (IJRER), vol.7, No.3, 2017 (Article)
- [4] C. Boubahri, R. Ennetta, R. Said, J. Bessrou, "Experimental study of a diesel engine performance running on waste vegetable oil biodiesel blend", Energy Resources Technology, vol 134, 2012 (Article)
- [5] M.O.Daramola, D. Nkazi, K. Mtshali, "Synthesis and Evaluation of Catalytic Activity of Calcined Sodium Silicate for Transesterification of Waste Cooking Oil to Biodiesel", International Journal of Renewable Energy Research (IJRER), vol.5, No.2, 2015 (Article)
- [6] P. Verma, M.P. Sharma, "Performance and Emission Characteristics of Biodiesel Fuelled Diesel Engines", International Journal of Renewable Energy Research (IJRER), vol.5, No.1, 2015 (Article)
- [7] R. K. Saluja, V. Kumar, "Assessment of Effect of Load and Injection Timing on the Performance of Diesel Engine Running on Diesel-biodiesel Blends", International Journal of Renewable Energy Research (IJRER), vol.7, No.1, 2017 (Article)
- [8] M. Karabektas, "The effects of turbocharger on the performance and exhaust emissions of a diesel engine fuelled with biodiesel". Renewable Energy 34, pp. 989 – 993, 2009 (Article)
- [9] O. Can, "Combustion characteristics, performance and exhaust emissions of a diesel engine fueled with a waste cooking oil biodiesel mixture". Energy Conversion and Management 87, pp. 676–686, 2014 (Article)