

COMPARAISON DES ÉMISSIONS POLLUANTES D'UN MOTEUR DIESEL ALIMENTÉ AVEC QUATRE CARBURANTS

Cheikh KEZRANE¹, Abdelkader BENDRISS¹, Khaled LOUBAR², Awad SARY², Abdelkrim LIAZID³, Mohand TAZEROUT²

¹LDMM, Cité 05 Juillet route Moudjbara BP : 3117 Djelfa, kezrane@yahoo.fr

²GEPEA, UMR 6144, DSEE, Ecole des Mines de Nantes, Nantes 44307- France, khaled.loubar@mines-nantes.fr

³Laboratoire LTE, BP 1523 El-Mnaouer, ENP, 31000 Oran, Algérie ab-liaz@hotmail.fr

RÉSUMÉ

Les biocarburants sont une voie intéressante pour la substitution des carburants fossiles. Les moteurs existant peuvent fonctionner avec un mélange de biodiesel et de gasoil ou même avec du biodiesel pur. La présence du biodiesel dans le combustible induit des changements importants sur le processus de combustion. Ces changements sont susceptibles de se répercuter sur la formation des émissions du moteur diesel. Dans cette étude, un biocarburant issu des huiles de fritures usagées et ses mélanges avec le diesel fossile ont été testés sur un banc d'essais moteur. Le diesel fossile est pris comme carburant de référence (témoin) dans le but d'évaluer les taux de changement des émissions polluantes du moteur. À l'exception des oxydes d'azote, les résultats montrent des réductions significatives dans tous les autres émissions polluantes.

Mots Clés: *Moteur Diesel, Biocarburant, Biodiesel, Huile de friture usagée, Emissions polluantes.*

NOMENCLATURE

Symboles :	HFU Huile de friture usagée
B0 Diesel fossile	HCT Hydrocarbures imbrûlés, ppm
B25 Mélange à 25% de biodiesel	PM Particules, mg/m ³
B50 Mélange à 50% de biodiesel	CO Monoxyde de carbone, ppm
B100 Biodiesel	NOx Oxydes d'azote, ppm

1. INTRODUCTION

Les combustibles fossiles jouent un rôle vital dans le développement et la croissance de l'industrie, du secteur agricole, des besoins domestiques, et surtout du transport. Globalement, 11 milliards de tonnes de combustibles fossiles sont consommés chaque année pour répondre aux nombreux fondamentaux besoins humains [1]. À ce rythme, ces sources seront bientôt épuisées. D'autre part, comme la demande d'énergie a surgi, les conséquences indésirables de sa production se répercuteront forcément sur l'environnement. L'émission de la fumée, des particules (PM), du monoxyde de carbone (CO), du dioxyde de carbone (CO₂), des oxydes d'azote (NO_x) et des hydrocarbures imbrûlés (HCT) provenant de la combustion de combustibles fossiles sont les principales causes à la fois de la pollution atmosphérique et des effets plus graves sur la santé [2,3]. Le développement des énergies alternatives est un choix incontournable pour la coexistence harmonieuse de l'être humain et de l'environnement, aussi bien que pour la croissance économique durable de la société humaine. Parmi les sources d'énergie renouvelables qui ont attiré l'attention des chercheurs, particulièrement dans le secteur des transports, le biocarburant est le choix le plus répandu. Récemment, le biodiesel a été considéré dans le monde entier comme

un produit de substitution important pour le diesel fossile. Selon l'agence internationale de l'énergie, l'industrie du biodiesel s'est développée rapidement durant ces dernières années et la production globale du biodiesel a augmenté de plus de dix fois de 2000 à 2008 [4]. Le biodiesel peut garantir un certain nombre d'avantages techniques et environnementaux par rapport aux combustibles fossiles, tels que l'amélioration des caractéristiques de la combustion et plus notamment en matière de réduction des gaz à effet de serre (GES) [5]. L'objectif de ce travail est de mettre en évidence les changements en termes d'émissions polluantes pour un moteur à allumage par compression alimenté en biodiesel de l'huile de friture usagée (HFU) et ses mélanges avec le gazole.

2. METHODE EXPERIMENTALE

2.1 Les carburants

Afin de comparer les émissions du biodiesel (esters méthyliques d'huile de friture) avec le carburant diesel ordinaire. Le gazole fut d'abord utilisé comme combustible et toutes les caractéristiques de fonctionnement du moteur ont été déterminées. Des tests identiques ont été repris pour l'ester méthylique, ainsi que pour deux mélanges dont les rapports volumétriques biodiesel/gazole sont (25/75) et (50/50). Les courbes des caractéristiques relevées pendant les tests permettront, par la suite, de comparer les performances de gazole aux autres combustibles de substitution.

2.2 Banc d'essais moteur

La figure 1 donne un schéma de l'ensemble du banc d'essai, ainsi que les moyens d'acquisition utilisés. Ce banc d'essai est composé principalement d'un moteur diesel (Lister Petter de série TS1), d'un frein dynamométrique, d'une baie d'analyse des gaz d'échappement, d'un analyseur de particule et d'un système d'alimentation en carburant. Le dynamomètre électrique est utilisé pour entraîner et charger le moteur. Le couple effectif est directement donné par le module de contrôle du frein du banc d'essai équipé d'un couple-mètre à bride HBM-T40, dont la précision à pleine échelle (500 N.m) est de 0.05%.

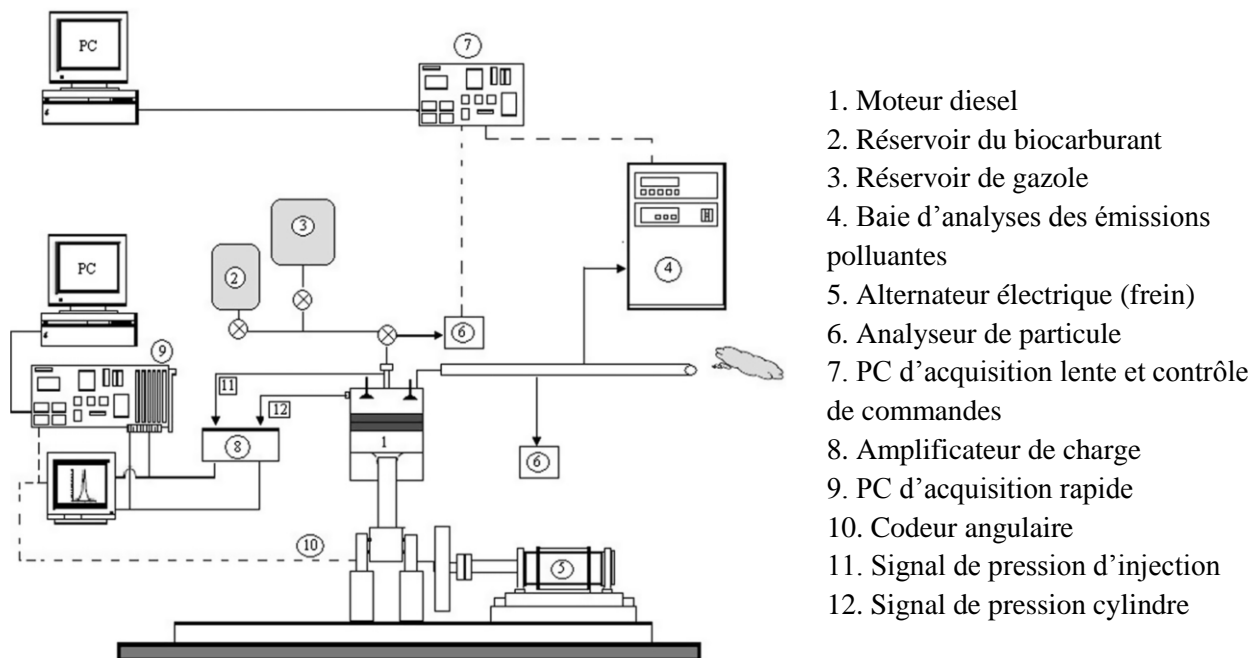


FIGURE 1. Schéma du banc d'essais Lister-Petter Série TS1

La mesure de la position du vilebrequin, ainsi que le régime du moteur sont assurés via un codeur angulaire, de type AVL 364C, placé du côté libre du vilebrequin. Ce codeur détermine l'intervalle d'acquisition qui peut

atteindre 0,1 degré de vilebrequin. De plus, il assure la coordination avec les mesures à haute fréquence (pression cylindre, pression dans le collecteur d'admission et pression d'injection dans le cylindre). La mesure de la pression cylindre, P_{cyl} , est assurée par un capteur de pression piézoélectrique, de type AVL QH32D refroidi à l'eau qui est inséré dans la chambre de combustion en tête de culasse. La pression d'injection, P_{inj} , est mesurée par un capteur de pression piézoélectrique, de type AVL QH33D, positionné dans la durite reliant la pompe d'injection à l'injecteur. Ce capteur mesure aussi la température du carburant mais à basse fréquence. Un transmetteur de pression absolue PMP 4070 situé dans le collecteur d'admission assure la mesure de la pression d'admission. L'acquisition des mesures du débit et de la température d'air d'admission se fait à basse fréquence. Et elle est assurée par un capteur de pression différentiel, de type LPX5841, lié à une capacité tampon assurant l'atténuation des ondes de pression en amont du capteur. Un débitmètre (RHM015) à effet Coriolis lié à un transmetteur (RHE08) permet la mesure du débit massique de carburant consommé par le moteur. Les différentes températures (d'huile, de combustible utilisé, de gaz d'échappement...) sont mesurées à l'aide de thermocouples de type K, à l'exception de la température du milieu ambiant, qui est mesurée par un transmetteur actif d'humidité et de température, de type HD 2012 TC/150.

Les émissions de particules sont mesurées en temps réel à l'aide d'un analyseur de poussière TEOM 1105, basé sur la pesée en continu de la concentration massique en particules des gaz d'échappement. Une baie d'analyse, des émissions polluantes, placée sur la ligne des gaz d'échappement du moteur permet d'analyser les principaux gaz polluants. Avant d'être analysée, la fraction des gaz d'échappement qui passent dans la baie d'analyse est déshydratée. Cette dernière assure la mesure des hydrocarbures imbrûlés par ionisation de flamme FID au moyen d'un analyseur d'hydrocarbures du type GRAPHITE 52M. Les oxydes nitriques (NOx) sont mesurés par chimiluminescence au moyen d'un analyseur de type TOPAZE 32M. Un détecteur infrarouge de type MIR 2M permet la mesure du monoxyde et du dioxyde de carbone et de l'oxygène (CO, CO₂ et O₂).

3. RESULTATS

3.1 Les hydrocarbures imbrûlés

La présence des zones très riches en combustibles conduit à une combustion incomplète et le combustible au lieu d'être brûlé sera décomposé en hydrocarbures de chaînes plus ou moins longues. Si ces molécules d'hydrocarbures ne rejoignent pas assez d'oxygène à une température assez suffisante pour compléter leur combustion elles seront rejetées avec les gaz d'échappement du moteur.

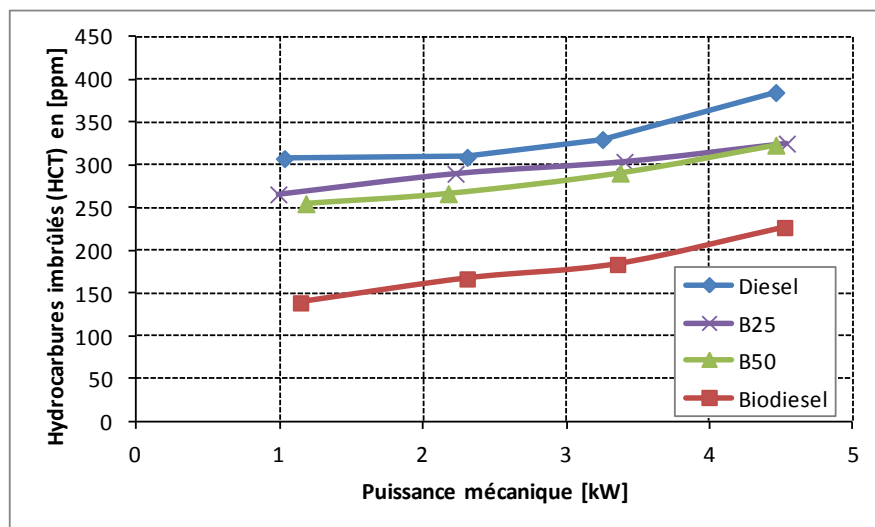


FIGURE 2. Evolution de la concentration des hydrocarbures dans les gaz d'échappement

La figure 2 représente l'évolution de la concentration des hydrocarbures non brûlés (HCT) dans les gaz d'échappement lors de l'utilisation de différents carburants. On peut voir que le fonctionnement en biodiesel pur émet des taux d'hydrocarbures plus faibles par rapport à tous les autres combustibles. La quantité d'oxygène participe lors de la combustion améliorera le processus d'oxydation. Il n'y a plus d'oxygène contenu dans le

biocarburant qui est une source supplémentaire d'oxygène autre que l'oxygène présent dans l'air d'admission. Cet oxygène contribue à la formation du mélange air-carburant, et il permet une combustion plus complète. En effet, lors de la phase de combustion diffusive, l'oxygène présent dans les molécules du biodiesel rend la zone moins riche en carburant. En d'autres termes, l'oxygène intramoléculaire a un même effet qu'une meilleure distribution de l'air avec le combustible non oxygéné. L'augmentation de la quantité des HCT dans les gaz d'échappement suivant la quantité de gazole dans les mélanges est due à la quantité moindre d'oxygène dans le mélange. Cela peut être vérifié par la formation d'émissions de particules.

Les émissions des HCT pour le biodiesel, B50, B25 et le diesel à trois quarts de la charge du moteur sont respectivement 183 ppm, 291 ppm, 302 ppm et 330 ppm. Il est très clair que les HCT sont très élevés pour le diesel conventionnel par rapport à tous les carburants testés. En outre, la différence dans les émissions des HCT entre les mélanges B50 et B25 n'est pas beaucoup importante en face de la différence de quantité de biocarburant qui est double dans le B50.

3.2 Les particules

Suivant un mécanisme de formation très complexe et dépendant des composés contenus dans le combustible, la formation des particules (PM) commence par une pyrolyse des molécules de combustible ayant 12 à 24 atomes de carbone à des températures comprises entre 1000 et 2800 K [6]. Autour des sphérules carbonées formées par la pyrolyse vont s'adhérer les aromatiques, les hydrocarbures imbrûlés, les composés oxygénés, ...etc.

La présence de l'oxygène dans les molécules de biodiesel sous forme de $-OH$ contribue à l'oxydation des PM formées davantage que dans le diesel conventionnel. Le biodiesel peut contenir des produits oxygénés incluant des liaisons $-OH$ (peroxydes, alcools, ...) qui précipitent l'oxydation des PM.

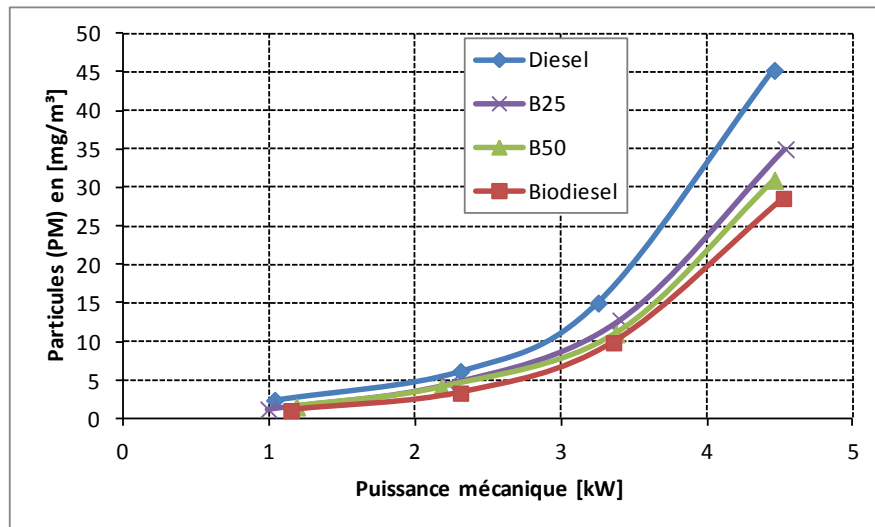


FIGURE 3. Evolution des concentrations des particules

La figure 3 montre la variation des émissions de particules en fonction de la puissance au frein pour le biocarburant, le diesel et les mélanges de biocarburant et de diesel. Les émissions de particules pour le biocarburant pur sont très faibles par rapport aux autres carburants testés. La présence de l'oxygène dans le carburant en plus de celui contenu dans l'air d'admission améliore le processus de mélange qui conduit à préparer plus de carburant pour la combustion de prémélange. L'indice de cétane plus élevé de biocarburant produit une combustion précoce. En outre, la durée de cette phase de combustion est inférieure pour le biocarburant. Toutes les raisons mentionnées ci-dessus conduisent à réduire les PM dans l'échappement. Il y a une légère augmentation des émissions de PM avec la quantité de gazole dans les mélanges. Pour le diesel conventionnel, le retard d'allumage avec plus de combustible injecté dans la phase de prémélange, augmente les émissions de PM. En outre, l'excès l'oxygène est nécessaire pour améliorer la conversion des particules de carbone en CO_2 . La formation des PM est s'accroît avec la charge du moteur pour les mêmes raisons que celles des HCT, une augmentation rapide sur les charges élevées est claire pour la formation de PM, ceci est

expliqué par le mécanisme d'oxydation plus lent vu la diminution des concentrations d'oxygène et des radicaux oxygénés (augmentation de la richesse). À pleine charge, Les émissions de particules sont très élevées avec le diesel elles atteignent 45 mg/m³, pour le biocarburant elles sont de 28 mg/m³, pour les mélanges B50 et B25 elles sont de 30 et 35 mg/m³ respectivement.

3.3 Monoxyde de carbone

Le monoxyde de carbone (CO) est un produit de combustion intermédiaire qui sera oxydé en CO₂ par la suite. Sa formation est surtout liée à la richesse du mélange et évolue d'une manière similaire à la formation des PM.

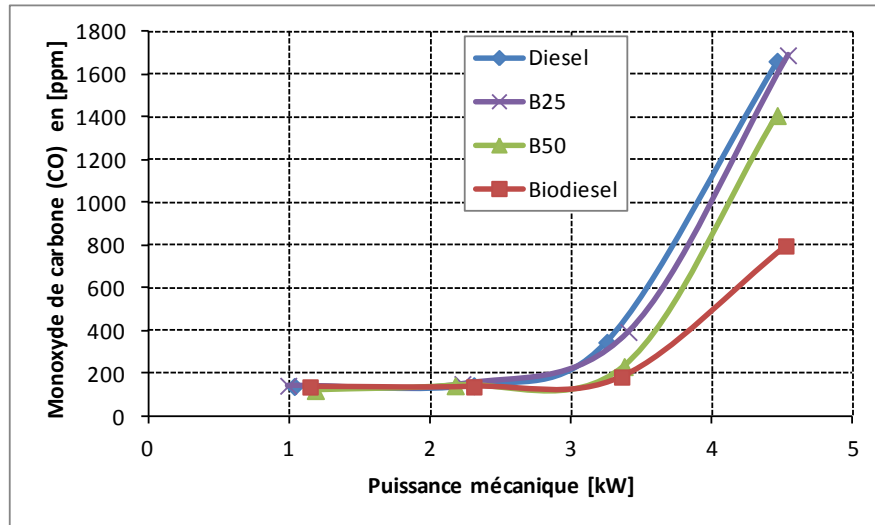


FIGURE 4. Evolution de la concentration du monoxyde de carbone dans les gaz d'échappement

La variation des émissions de monoxyde de carbone (CO) avec la puissance du moteur quand le moteur fonctionne avec les quatre carburants est donnée à la figure 4. A faibles charges, les carburants présentent des taux d'émission similaires. Quand la puissance du moteur augmente, les quantités de CO émises à l'échappement commencent à se distinguer d'un combustible à l'autre. Le biodiesel donne des taux de CO visiblement inférieurs par rapport au diesel et les autres mélanges. Cela peut être dû au contenu en oxygène à température plus élevée, ce qui encourage l'oxydation du CO en CO₂. Les émissions de CO augmentent avec les mélanges par rapport au biocarburant pur. Ces tendances indiquent l'amélioration de l'efficacité de la combustion avec la part du biocarburant dans le mélange. Les émissions de CO pour et le diesel à pleine charge du moteur sont de 1660 ppm, pour le biodiesel elles se sont réduites de moitié (790) ppm.

3.4 Les Oxydes d'azote

Les émissions de NO_x, regroupent le dioxyde d'azote NO₂ et l'oxyde nitrique NO et parfois d'autres composés tel que le N₂O en proportions beaucoup plus faibles. L'oxyde nitrique NO étant prédominant. Les NO_x sont formés quand la combustion atteint des températures très élevées. Ces conditions sont réalisées pendant la combustion d'un mélange proche de la stœchiométrie dans un environnement à haute pression et température. D'après Heywood [6], l'intervalle des températures maximales du cycle est la plus contributive dans la formation des oxydes d'azote, c'est-à-dire après le début de la combustion et au voisinage de la pression maximale du cycle. Dans cet intervalle les NO_x se forment jusqu'à atteindre un maximum, ensuite la température commence à diminuer et les NO_x se décomposent pendant un certain temps avant de se stabiliser jusqu'à l'échappement.

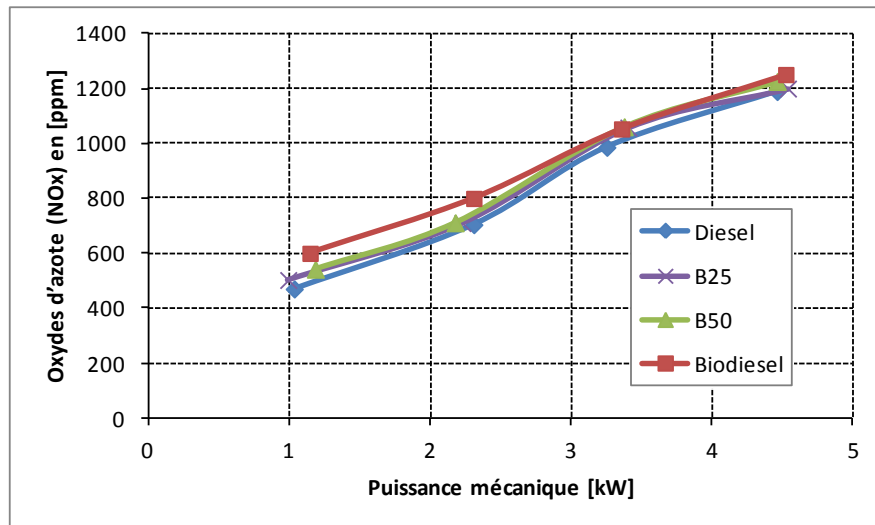


FIGURE 5. Evolution de la concentration de NO_x dans les gaz d'échappement

La variation des émissions de NO_x avec la puissance au frein pour le biocarburant, le diesel et leurs mélanges est présentée sur la figure 5. Comparativement au diesel, à faible charge, ces émissions de NO_x s'élèvent de 25% pour le biodiesel. Au fur et à mesure de l'augmentation de la puissance du moteur, la différence en émissions d'oxydes d'azote entre les carburants ne devient plus importante.

4. CONCLUSIONS

Les tests sur un moteur diesel à injection directe du biodiesel de l'huile de friture, du gazole et de leurs mélanges contenant 25 et 50% du méthyle esters avec du gasoil, conduit à une baisse importante des hydrocarbures imbrûlés pratiquement dans tous les régimes de fonctionnement. Lors de l'utilisation des biocarburants, les émissions de monoxyde de carbone et de particules montrent une réduction qui devient plus significative avec l'augmentation de la charge du moteur. Les réductions des HCT, du CO et de particules étant plus importantes que la quantité des esters dans les mélanges était plus grande à cause de la présence d'oxygène incorporé dans leurs molécules. En revanche l'addition des méthyles esters conduit à une légère augmentation des émissions d'oxydes d'azote surtout à faibles charges du moteur.

REFERENCES

- [1] CIA World factbook. 2013. Available from <https://www.cia.gov/library/publication/the-world-factbook/geos/af.html>.
- [2] Tormos B, Novella R, García A, Gargar K. Comprehensive study of biodiesel fuel for HSDI engines in conventional and low temperature combustion conditions, *Renew Energy* 2010;35(2):368–78
- [3] Liaquat AM, Kalam MA, Masjuki HH, Jayed MH. Potential emissions reduction in road transport sector using biofuel in developing countries. *Atmos Environ* 2010;44(32):3869–77
- [4] Tonkin I. Global biodiesel production reaches record high. 2009. <http://www.roadtransport.com>.
- [5] Kumar N, Varun, Chauhan SR. Performance and emission characteristics of biodiesel from different origins: a review, *Renew Sustain Energy Rev* 2013;21 (0):633–58.
- [6] Heywood J. B., *Internal combustion engines fundamentals*, Mc Graw Hill, 1988