



Valorisation des déchets de poisson en biocombustible pour moteur diesel

BOUSBAA H, NAIMA K, LIAZID A

LTE Laboratory, ENSET-Oran, BP 1523 El Mnaouer 31000- Oran.

E.mail : bou_sbaa@yahoo.fr

Résumé: — L'augmentation de la population mondiale a entraîné un développement accru des industries agro-alimentaires. Celles-ci génèrent des quantités énormes de déchets organiques qui sont composés principalement par des triglycérides. Ces déchets peuvent être convertis en tant que biocarburant par divers procédés. Dans cet article, différentes déchets graisseux de poissons sont considérés comme une source d'énergie pour les moteurs diesel afin de donner le potentiel de la valorisation énergétique de ces déchets. Pour cela, nous avons utilisé l'extraction par solvant comme procédé de valorisation de ces déchets en biocarburant. Les propriétés du biocarburant final produit sont conformes aux normes. Donc, le biocarburant obtenu par extraction des déchets graisseux de poisson, peut être considéré comme un carburant alternatif pour les moteurs diesel.

Mots clés — Energie renouvelable, biocarburants, déchets Graisseux de poisson.

I. INTRODUCTION

L'investigation des alternatives au pétrole dans le secteur du transport, principal consommateur d'énergie fossile, ne cesse de gagner du terrain. Ceci est dans le but de lutter contre le réchauffement climatique par la réduction des émissions de gaz à effet de serre, et de diversifier les approvisionnements énergétiques en réduisant la dépendance au pétrole. Du fait de sa viabilité technique et de son intérêt environnemental, le biocarburant s'est avéré être une solution facile à mettre en œuvre. Le biocarburant a fait l'objet, dans certains pays, d'un plan de développement. Ce plan s'appuie sur des mesures d'incitation à la production des cultures agricoles à l'origine de la production de biocarburant. Cependant, une problématique qui se pose est celle de l'impact du développement des biocarburants sur les prix et les marchés de produits agricoles. De ce fait, le développement des biocarburants doit nécessairement exploiter de nouvelles ressources abondantes et peu coûteuses. Les déchets organiques à base végétales et animales (solides ou liquides), les résidus agricoles et les résidus de l'exploitation forestière ou d'autres types de déchets constituent des matières premières très intéressantes qui peuvent être exploités dans ce sens [1-4]. D'autre part, des politiques de protection de l'environnement encourageant le développement de nouveaux procédés et filières de traitement de ces déchets.

Différentes voies de production de biocarburant sont explorées, parmi lesquelles la transestérification, l'extraction par solvant, la dilution, le traitement thermique et d'autres.

Actuellement la recherche dans le domaine des biocarburants est dirigée de manière à améliorer les procédés de conversion de la matière végétale et animale, et à étudier leur adaptation au le moteur des véhicules [5-7].

Le gisement des déchets graisseux est en augmentation continue, tels que la graisse de poulet, de bœuf, et de poisson. En effet, ces déchets graisseux sont formés principalement de molécules de triglycérides. Ces derniers ont été utilisés comme source d'énergie depuis un siècle lorsque Rudolph Diesel (1893) a montré que les huiles végétales peuvent être utilisées comme carburant dans les moteurs [3,8]. Actuellement, pour les moteurs diesel, l'huile végétale et animale, en mélange avec le gasoil, à de faibles proportions, commence à être utilisée. Or, les graisses animales comme les huiles végétales ont un pouvoir calorifique voisin de celui du diesel [9-11]. Mais le problème est que leur propriétés physiques, notamment leur viscosité et leur température de fusion, sont bien supérieures à celles du diesel ordinaire ce qui provoque des problèmes de combustion et de pollution [12]. De plus, il y a risque d'endommager les organes du moteur comme les injecteurs et les pistons [8]. Ces problèmes sont dus aux propriétés physicochimiques qui ne sont pas comparables à celles du diesel ordinaire. Pour rendre les propriétés des huiles et graisses animales similaires à celles du gazole, différents procédés ont été proposés [1, 3, 4, 8, 13, 15] : la dilution, le traitement thermique, l'émulsion, la transestérification et la pyrolyse. En ce sens Nadia Mrad et al [3, 4] ont étudié la valorisation de la graisse de bœuf et de poisson en tant que carburant diesel par le procédé de pyrolyse. L'hydrocarbure obtenu à l'issue du craquage thermique (l'huile de pyrolyse) possède un taux d'acidité très élevé. Le craquage catalytique paraît une meilleure solution pour résoudre le problème de l'acidité.

La production de biodiesel par les réactions de transestérification fait objet de nombreuses études récentes. En 2008, H. M. El-Mashad et al [16] étudie la transestérification des déchets de poisson de Salomon avec le méthanol sous présence de KOH comme catalyseur. Ils ont mentionné que le rendement de la fraction organique obtenue dans cette étude était de 99%, avec un taux molaire de 9.2:1 et 0.5% de KOH. De plus, La synthèse des résultats a prouvé que la valeur



Le 3^{ème} Séminaire International sur les Energies Nouvelles et Renouvelables

The 3rd International Seminar on New and Renewable Energies

Unité de Recherche Appliquée en Energies Renouvelables,
Ghardaïa - Algérie 13 et 14 Octobre 2014



d'acidité est plus grande, ce qui peut imposer des problèmes. Les résultats de cette étude confirmée par d'autres chercheurs [17]. C.Y. Lin et R.J. Li [18] en 2009, ont indiqué que leurs propriétés physiques de biodiesel à base huiles des déchets de poissons, notamment leur viscosité et leur acidité, sont bien supérieures à celles du diesel ordinaire ce qui provoque des problèmes au niveau des performances et des NOx dans la combustion des moteurs Diesel [17, 19]. D'autres chercheurs se sont intéressés à l'utilisation des mélanges biodiesel à base l'huile de poisson et de diesel comme carburant. En 2010, S. Godiganur et al [19] ont effectués des essais en utilisant un ester méthylique à base l'huile de poisson avec différents dosages, allant de 0% jusqu'à 100% (B0, B2, B5, B10, B20, B50, B75, B100), sur un moteur Diesel ID, afin d'étudier l'effet du biodiesel sur les performances et les émissions. D'après analyse des résultats on observe une augmentation de consommation spécifique et une diminution de l'efficacité thermique avec l'augmentation de pourcentage de biodiesel. De plus ce dernier réduit la formation de CO, suie et HC mais augmente malheureusement l'émission de NOx. Ainsi que le pourcentage optimal sera déterminé, 20% offriraient les meilleures performances qui sont proches de celles données par l'utilisation du diesel. Ainsi en 2011, R. Behçet [20], ont effectué des tests pour différents dosages d'ester méthylique d'huile de poisson allant de 25% jusqu'à 100% (B25, B50, B75, et B100), sur un moteur diesel ID. D'après une analyse, les résultats ont montré que la puissance de ces deux moteurs alimentés par le biodiesel était comparable à celle du diesel, mais avec une légère augmentation des consommations spécifiques de biodiesel et une diminution au niveau du couple et de l'efficacité thermique. Pour les gaz polluants on a observé une légère augmentation des NOx, par contre une réduction des émissions des CO, CO₂, HC et suie. Pour réduire les émissions des NOx et les particules de suies, certains chercheurs ont proposé de l'injection de petite quantité d'Éther di-éthylique 2% ou l'utilisant de la technique d'EGR [21]. De même, E. G. Varuvel et al [22] ont proposé d'étudier la valorisation des déchets de poisson par la technique de pyrolyse afin de produire un biocarburant pour les moteurs diesel. Dans cette étude en utilisant des mélanges biodiesel/diesel, allant de 60% jusqu'à 100%, sur un moteur ID. cette étude a prouvé que ces investigations donnent des résultats très intéressants et amélioration significative sur les performances et les émissions d'un moteur diesel alimenté par un biodiesel B80. Donc, ces résultats confirment que le mélange biodiesel/diesel peut être utilisé sans risque et avantageusement dans le moteur diesel.

Finalement on conclut que la majorité des études effectuées ont mentionnées que l'huile obtenue est généralement acide, visqueuse et thermiquement instable. Ceci rend souvent impossible l'utilisation directe de ces huiles dans des moteurs diesel ordinaires. Par conséquent, différents procédés de traitement et de raffinage ont été proposés parmi lesquels, la pyrolyse, la transestérification, l'extraction par solvant et d'autre. Nous avons retenu ce dernier procédé pour tenter de produire un biocarburant à partir des déchets gras de poissons, et puis l'huile extraire a été analysée afin de déterminer leur propriétés physico-chimiques.

Selon la FAO (l'Organisation pour l'alimentation et l'agriculture), la production des produits de pêche en 2006 était de 141,6 millions de tonnes contre 20 millions en 1950. Ces valeurs sont en augmentation progressive. Cependant, environ 50% de la quantité se transforme en déchets représentant ainsi 70.8 millions de tonnes de pertes. Ces déchets organiques regroupent principalement 40% à 65% des huiles [23].

Dans ce travail, on se propose d'étudier la valorisation des différents déchets de poissons afin de produire un biocarburant pour les moteurs diesel. Les produits issus de ce procédé sont : l'huile de poisson pour l'utiliser comme biocarburant et la farine de poisson pour la nutrition animale.

II. MATÉRIEL ET MÉTHODE

L'étude expérimentale de l'extraction d'huile à partir des déchets de poissons a été faite dans deux laboratoires différents: le laboratoire EOLE de l'Université de Tlemcen, et le laboratoire LTE d'ENP-Oran. La caractérisation de l'huile par la détermination des propriétés physico-chimiques a été faite dans le laboratoire LTE.

A. Matériels utilisés

La valorisation des sous-produits (déchets gras de poissons) notée DGP peut être d'une part destinée à la production de substances pour nutrition animale, la cosmétique, et d'autre part des huiles comme un biocarburant. Les sous-produits usuels résultant de la transformation des poissons sont: les têtes, les viscères, les arêtes, les chutes de filetage, les peaux, etc... (Figure. 1).

Pour cette étude, les DGP de sardine seront utilisés comme pro-type. Parce que la sardine, est une espèce de poisson très consommée au niveau de la région méditerranéenne, en particulier par la population Algérienne en raison de ses qualités nutritives et son faible coût. Les sous-produits représentent entre 30 et 60% de l'animal [23].

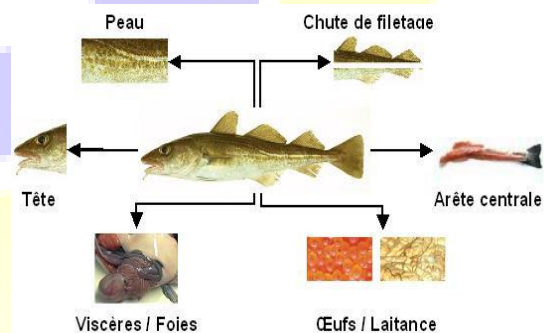


Fig.1. Principaux déchets de poisson [24].

Les échantillons que nous avons choisis pour notre étude est bien la sardine qui est une espèce de poisson très consommée au niveau de la région méditerranéenne, le mélange de poissons (sardine, sourire, pageot) et le thon. Les déchets gras de poisson utilisés dans notre étude sont fournis par les restaurants et la société Raja food à Hassi Ameur en Oran (cet usine Raja food génère ≈ 6-8 tonnes de déchets de poisson chaque semaine). C'est une société spécialisée essentiellement



Le 3^{ème} Séminaire International sur les Energies Nouvelles et Renouvelables

The 3rd International Seminar on New and Renewable Energies

Unité de Recherche Appliquée en Energies Renouvelables,
Gharđaia - Algérie 13 et 14 Octobre 2014



dans la production de Thon. Les déchets de Sardine et de thon sont présentés sur la figure 2.



Déchets de sardine



Déchets de thon.

Fig.2. Les différents déchets de poisson.



Fig. 3. Extracteur Soxhlet

B. Etude expérimentale

L'extracteur de Soxhlet est un appareil spécialement conçu pour l'extraction continue solide-liquide à l'aide d'un solvant (éther, pentane, hexane ...). La conception de cette technique d'extraction a été décrétée pour la première fois par F. V. Soxhlet en 1879 [25] pour la détermination de la teneur lipidique du lait. Le système conventionnel de Soxhlet il est montré dans la figure 3. L'hexane qui est un solvant facile à éliminer sera utilisé dans ce procédé d'extraction. La durée de l'extraction dépend de la rapidité avec laquelle le réactif (matières premières) diffuse dans le solvant. L'avantage de ce procédé est que le solvant condensé s'accumule dans un réservoir à siphon, ce qui augmente la durée de contact entre le solvant et le produit à extraire.

Le principe général de valorisation des déchets de poisson consiste en première lieu à séparer entre une phase solide (farine non délipidées) et une phase liquide (eau), c'est à dire le séchage, en suite le broyage, voir la figure 4. Après le broyage de déchets de poisson est placée dans une cartouche en papier-filtre épais (une matière pénétrable pour le solvant), et quand l'hexane atteint un certain niveau, il amorce le cartouche dans un extracteur de lipides (Soxhlet, Labo EOLE, Tlemcen). Dans le montage, l'extracteur est placé sur un ballon contenant le solvant d'extraction (Hexane). Le ballon étant chauffé à 50 °C, le liquide est amené à l'ébullition, les vapeurs de l'hexane passent par le tube de distillation et rentrent dans le réfrigérant pour être liquéfiées. Ensuite, le condensat retombe dans le corps de l'extracteur sur la cartouche, faisant ainsi macérer les déchets dans l'hexane. L'hexane condensé s'accumule dans l'extracteur jusqu'au niveau du sommet du tube-siphon, suivi par le retour dans le ballon du liquide de l'extracteur accompagné des substances extraites. Ainsi l'hexane dans le ballon s'enrichit progressivement en composants solubles. L'extraction continue jusqu'à l'épuisement des déchets chargées dans la cartouche. La durée de l'extraction \approx 1 heure.

Après cette étape d'extraction, le solvant est séparé de l'huile à l'aide d'un roto-vapeur (figure 5), ce qui permet de séparée les huiles de poisson et en même temps de récupérer le solvant. Le protocole global d'extraction d'huile est illustré dans la figure 6. Les paramètres opératoires pour l'extraction sont présentés dans le tableau 1.



Fig. 4. Les déchets de poisson après le séchage.



Fig.5. Évaporateur rotatif

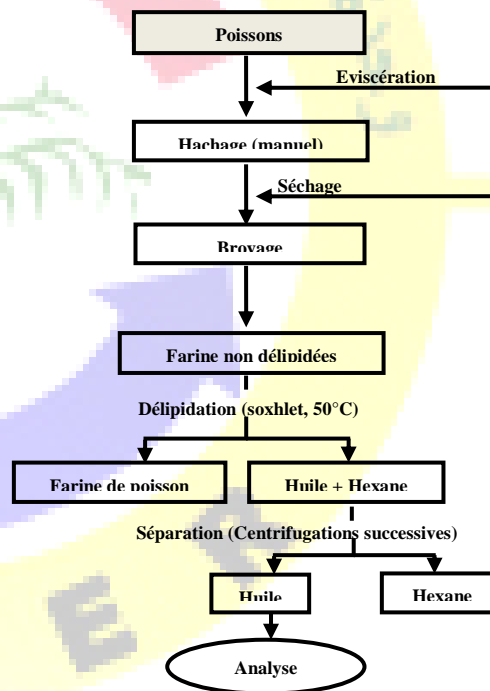


Fig.6. Procédé d'obtention d'huiles et de farines de poisson.

TABEAU 1. PARAMETRES OPERATOIRES POUR L'EXTRACTION.

	Sardine	Thon	mélange
Co-produit (déchets)	146 g	324 g	542 g
déchets solide	48 g	100 g	180 g
Hexane	300 ml/100g de déchets solide		



Le 3^{ème} Séminaire International sur les Energies Nouvelles et Renouvelables The 3rd International Seminar on New and Renewable Energies

Unité de Recherche Appliquée en Energies Renouvelables,
Ghardaïa – Algérie 13 et 14 Octobre 2014



III. RÉSULTATS ET DISCUSSIONS

Les produits issus de cette valorisation sont : les huiles des différents déchets et la farine de poisson. Le tableau 2 résume les résultats d'extraction des trois échantillons des déchets de poisson exprimés en pourcentage massique.

TABLEAU 2. RESULTATS D'EXTRACTION.

	Sardine	Thon	Mélange
Matières premières	33 %	31 %	33 %
Rendement	42.33 %	23.33 %	14 %
Farine de poisson	57.67 %	76.67 %	86 %

Les résultats montrent que le rendement maximal est d'environ 42% pour les déchets de sardine. Tous les huiles de poisson à une couleur marron, avec une odeur typique de poisson, voir la figure 7. Les trois échantillons contiennent entre 57 et 86% de farine, cette dernière contiennent en général de 65 à 67% de protéines. Elles possèdent de bonnes valeurs nutritives. Une partie importante de ces farines est utilisée pour faire des aliments pour l'aquaculture de poissons. L'autre partie est utilisée pour l'alimentation des poulets.

Il en résulte qu'à partir d'une masse brute de 100kg des déchets de sardine par exemple on peut extraire approximativement une quantité de 13,7 litres d'huile et environ 20 kg de farine de poisson.



Fig.7. L'huile de poisson après l'extraction, cas de Sardine.

A. Bilan énergétique

L'huile des déchets gras de poisson notée HDGP produit par le procédé d'extraction est analysé par la détermination de leurs propriétés physicochimiques. Le laboratoire est équipé de certains appareils spécifiques pour la caractérisation physiques et chimiques de cette matière produit comme le viscosimètre portable PIVI (figure 8) et le densimètre portable (figure 9). Le tableau 3 illustre certaines caractéristiques physico-chimiques de l'huile obtenue après l'extraction des DGP comparativement aux normes européennes.



Fig.8. Viscosimètre portable.



Fig.9. Densimètre portable.

TABLEAU 3. PROPRIETES DE L'huile DE POISSON PRODUIT.

Propriétés	Unité	Sardine	Thon	mélange	EN
Densité à 20 °C	g/cm^3	0.920	0.997	0.931	0.860 - 0.900
Acidité	$mg\ KOH/g\ huile$	31.4	30.8	28	≈ 0.5
Viscosité	mm^2/s	5.13	6.67	7	3.5 – 5
PCI	MJ/kg	40 [26]	40 [26]	40 [26]	42.5

L'huile produit HDGA possède des propriétés similaires (en termes de densité, viscosité, acidité et pouvoir calorifique) à celles du biocarburant (selon les normes européennes).

Cependant, l'huile extraire obtenu présente une acidité élevée, comparativement aux normes.

En effet, l'acidité élevée (indice d'acide $\approx 17-142$, Wierggers et al. 2009) de cette huile risque d'endommager les éléments en cuivre et/ou chrome dans le moteur. Il s'en suivra une corrosion chimique qui détériorera inévitablement ces éléments.

Donc, la réduction de l'acidité de cette huile est donc indispensable. Dans ce sens, de nombreuses recherches ont été effectuées et différentes technologies de raffinage et de valorisation des l'huiles ont été proposées. Parmi ces techniques nous citons la transestérification. Le processus de transestérification utilisé consiste à mélanger un échantillon de huile extraire (quelque gramme d'huile de sardine : $\approx 5g$) avec une solution de méthanol (CH_3OH , méthanol, à cause de moins cout) et catalyseur liquide (KOH , sont moins couteaux et facilement manipulables) dans un réacteur pour former un ester. La transestérification est une méthode très connue, couramment pratiquée et utilisée pour réduire l'indice d'acidité, la viscosité, la densité et d'augmenter le pouvoir calorifique.

Après la transestérification le biocarburant final présente des propriétés proches de celui du Diesel, voir le tableau 4.



Le 3^{ème} Séminaire International sur les Energies Nouvelles et Renouvelables

The 3rd International Seminar on New and Renewable Energies

Unité de Recherche Appliquée en Energies Renouvelables,
Gharđaia – Algérie 13 et 14 Octobre 2014



TABLEAU 4. PROPRIETES DE BIOCARBURANT PRODUIT, CAS DE SARDINE.

Propriétés	Unité	Biocarburant final	Diesel [26]
Densité à 20 °C	g/cm ³	0.818	0.830
Acidité	mg KOH/g huile	0.2	-
Viscosité	mm ² /s	2.97	2
PCI	MJ/kg	42.87 [26]	43.12

B. Le co-produit de poisson (la farine de poisson)

La farine de poisson de sardine et de mélange est les premières sources de protéines utilisée pour l'alimentation des animaux en raison de ses hautes qualités nutritives. Une partie importante de ces farines est utilisée pour faire des aliments pour l'aquaculture de poissons. L'autre partie est utilisée pour l'alimentation des poulets, voire la figure 8.



Cas de sardine



Cas de thon

Fig.8. L'huile et la farine de poisson après l'extraction.

IV. CONCLUSIONS

La valorisation énergétique des déchets gras de poisson est un moyen qui peut résoudre certains problèmes environnementaux liés à la décharge de ces déchets. Les caractéristiques physiques et chimiques de DGP ont été déterminées pour faire ressortir celles adaptées ou modifiées pour que cette huile soit utilisée comme carburant dans le moteur.

Dans ce travail, nous avons étudié la valorisation des déchets gras de poisson en tant que carburant diesel. Il ressort qu'ils constituent un gisement intéressant en termes de valorisation énergétique. En effet, ce travail indique qu'il est tout à fait possible d'extraire par exemple jusqu'à 42% en masse d'huile à partir des déchets de la sardine. Le reste étant la farine qui pourra servir comme aliments pour animaux.

L'extraction HDGP au solvant, bien qu'efficace et de haute technologie est coûteuse et ne peut pour le moment être applicable à des utilisations demandant beaucoup d'huile, mais pour des raisons de recherche on peut utiliser afin de produire des petites quantités.

Les caractéristiques de l'huile des déchets de poisson ont été déterminées pour faire ressortir celles qu'il fallait adapter pour que cette huile soit utilisée comme carburant dans le moteur. Les propriétés de l'huile extraire (densité, viscosité et PCI)

sont très proches de celles du gazole, mais son indice d'acidité est environ 30 mg KOH /g huile et sa viscosité est entre 5 et 6 mm²/s.

Pour cette étude nous avons effectué un post traitement afin de réduire l'acidité, la viscosité en utilisant la technique d'estérification, un biocarburant substitut au gazole ordinaire par valorisation des déchets de poisson.

Ainsi, ces résultats nous encouragent pour un travail de recherche approfondi dans cette direction afin de déterminer une procédure économique énergétiquement et financièrement pour fabriquer un biodiesel qui sera testé sur un moteur diesel avec analyse des performances mécaniques, de consommation énergétique et d'émissions de polluants. Enfin le biodiesel reste un carburant sûr, non toxique, biodégradable et renouvelable qu'on gagnerait à utiliser dans les moteurs diesel non modifiés ainsi que dans diverses applications à base de combustibles.

REFERENCES

- [1] S. M. Metev and V. P. Veiko, *Laser Assisted Microtechnology*, 2nd ed., R. M. Osgood, Jr., Ed. Berlin, Germany: Springer-Verlag, 1998.
- [1] Mustafa Balat, Havva Balat, « *A critical review of bio-diesel as a vehicular fuel* », *Energy Conversion and Management*, V49, Pages 2727–2741, 2008.
- [2] Pedro Benjumea, John Agudelo, Andres Agudelo, « *Basic properties of palm oil biodiesel–diesel blends* », *Fuel*, Vol87, Pages 2069–2075, 2008.
- [3] Nadia MRAD, Fethi ALOUI, Mohand TAZEROUT, Sassi Ben NASRALLAH, « *valorisation des graisses animales comme biocombustibles pour moteurs diesel* », http://www.sft.asso.fr/Local/sft/dir/user-3775/documents/actes/Congres_2010/communications/51.pdf
- [4] Nadia MRAD, « *Valorisation des déchets gras de poisson en biocombustible pour moteur diesel* », thèse de doctorat, 2011, Université de Nantes, France.
- [5] K. Purushothaman, G. Nagarajan, « *Performance, emission and combustion characteristics of a compression ignition engine operating on neat orange oil* », *Renewable Energy*, Vol34, Pages 242–245, 2009.
- [6] Ndayishimiye P, Naima K, Liazid A, Tazerout A, « *Performance and Emission Characteristics of a DI Compression Ignition Engine Operated on PODL Bio-fuel* ». *Journal of Renewable Energy Technology*, In press.
- [7] Bousbaa H, Sary A, Liazid A, Tazerout M. « *Investigations on a CI engine using Animal Fats and Vegetable Oil as fuels* ». *ASME Transaction, JERT*, Vol134, 2012.
- [8] Sary A, Paraschiv M, Tazerout M. *Biodiesel elaboration from municipal fat wastes*. *Environment Engineering and Management Journal*; Vol 9; n° 10, Pages1347-1350, 2010.
- [9] Mohamed M. El-Awad and Talal F Yusaf, « *Performance and Exhaust Emission of a Diesel Engine Using Crude Palm Oil as Fuel Extender* », *Journal of Energy & Environment*, Vol3, Pages 61–68, 2004.
- [10] Senthil Kumar M, Kerihuel A, Belletre J, Tazerout M. « *Experimental investigations on the use of preheated animal fat as fuel in a compression ignition engine* ». *Renewable Energy*, Vol 30, Pages1443–56, 2005.
- [11] Kerihuel A, Senthil Kumar M, Belletre J, Tazerout M. « *Ethanol animal fat emulsions as a diesel engine fuel – Part 2: Engine test analysis* », *Fuel*, Vol85, Pages 2646–2652, 2006.
- [12] Ejaz M. Shahid, Younis Jamal, *A review of biodiesel as vehicular fuel*, Vol12, Pages 2484-2494, 2008
- [13] Kerihuel A, Senthil Kumar M, Belletre J, Tazerout M. « *Use of animal fats as CI engine fuel by making stable emulsions with water and methanol* ». *Fuel*, Vol84, Pages1713-1716, 2005.



**Le 3^{ème} Séminaire International sur les Energies Nouvelles et
Renouvelables**
**The 3rd International Seminar on New and Renewable
Energies**

**Unité de Recherche Appliquée en Energies Renouvelables,
Ghardaïa – Algérie 13 et 14 Octobre 2014**



- [14] Senthil Kumar, M Kerihuel A, Belletre J, Tazerout M. « *A Comparative Study of Different Methods of Using Animal Fat as a Fuel in a Compression Ignition Engine*». Journal of Engineering for Gas Turbines and Power, Vol 128, 2006.
- [15] F. Halek, A. Kavousi, and M. Banifatemi, «*Biodiesel as an Alternative Fuel for Diesel Engines*», World Academy of Science, Engineering and Technology, Vol57, 2009.
- [16] Hamed M. El-Mashada, Ruihong Zhanga, Roberto J. Avena-Bustillo, «*A two-step process for biodiesel production from salmon oil*», biosystems Engineering, vol99, Pages 220 – 227, 2008.
- [17] Punyama Jayasinghe, Kelly Hawboldt, «*A review of bio-oils from waste biomass: Focus on fish processing waste*», Renewable and Sustainable Energy Reviews, vol16, Pages798– 821, 2012.
- [18] Cheng-Yuan Lin, Rong-Ji Li, «*Fuel properties of biodiesel produced from the crude fish oil from the soapstock of marine fish*», fuel processing technology, Vol90, Pages 130-136, 2009.
- [19] Sharanappa Godiganur, Ch. Suryanarayana Murthy, Rana Prathap Reddy, «*Performance and emission characteristics of a Kirloskar HA394 diesel engine operated on fish oil methyl esters*», Renewable Energy, 35, Pages 355-359, 2010.
- [20] Rasim Behçet, «*Performance and emission study of waste anchovy fish biodiesel in a diesel engine*», Fuel Processing Technology, Vol92, Pages 1187-1194, 2011.
- [21] C. Swaminathan, J. Sarangan, «*Performance and exhaust emission characteristics of a CI engine fueled with biodiesel (fish oil) with DEE as additive*», biomass and bioenergy, Vol39, Pages 168-174, 2012.
- [22] Edwin Geo Varuvel, Nadia Mrad, Mohand Tazerout, Fethi Aloui, «*Experimental analysis of biofuel as an alternative fuel for diesel engines*», Applied Energy, Vol94, Pages 224–23, 2012.
- [23] V.R. Wiggers, A. Wisniewski Jr., L.A.S. Madureira, A.A. Chivanga Barros, H.F. Meier, «*Biofuels from waste fish oil pyrolysis: Continuous production in a pilot plant*», Fuel, vol88, Pages 2135-2141, 2009.
- [24] *La valorisation des co-produits, fiche réaliser pour bibliomer*, ifremer-V1, 2010. [http://www. Bibliomer.com](http://www.Bibliomer.com).
- [25] N. V. Cuong, «*Maîtrise de l'aptitude technologique des oléagineux par modification structurelle ; applications aux opérations d'extraction et de transestérification in-situ*», Thèse de doctorat, université de la Rochelle, France, 2010.
- [26] N. MRAD, «*Valorisation des déchets gras de poisson en biocombustible pour moteur diesel*», thèse de doctorat, Ecole des Mines de Nantes, 2011.