

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique



Université Abou Bekr Belkaïd – Tlemcen –
Faculté de technologie
Département de Génie Mécanique
Option Génie thermique et énergies
renouvelables



PROJET
De fin d'études pour l'obtention du diplôme
de master

THEME

Valorisation énergétique des déchets grasseux de poissons

Présenté devant le jury :

Mr. C. SELADJI
Mr. O. MIMOUN
Mr. R. SAIM
Mr. H. BOUSBAA

Président
Examineur
Examineur
Encadreur

Présenté par :

- Mr. HACHEM Redouane
- Mr. BOUZIANE Sidi Mohamed

Année universitaire 2012 – 2013

REMERCIEMENT

Nous remercions dieu le tout puissant qui nous à donné le courage et la volonté pour terminer ce travail.

Au terme de ce projet de fin d'études, nous tenons à remercier non seulement comme devoir, mais par grand respect et gratitude profonde, notre éminent Encadreur M.Bousbaa.H et qui nous a soutenus tous au long de notre travail.

Le travail présent dans ce mémoire de fin d'étude est effectué au sein du laboratoire EOLE d'université de Tlemcen et au sein du laboratoire LTE de l'Ecole nationale polytechnique de l'université d'Oran.

J'adresse mes remerciements à Monsieur Dr. Seles (Lab. EOLE) et à madame Dr. Bouanani (Lab. LTE) qui a gracieusement mis à ma disposition le matériel nécessaire durant les expériences, chacun pour son apport pour la préparation du biocarburant.

Je n'oublie pas adresser mes remerciements aux directeurs des laboratoires de recherche LTE et EOLE.

Nous tenons à remercier également devant les jurys, M.Seladji.C, M.Mimoun.O et M.Saim.R pour leur correction de ce travail.

En fin nous adressons nos remerciements à toutes les personnes qui de près ou de loin ont contribué à la réalisation de ce travail.

DEDICACES

Je dédie ce modeste travail

A mes parents, à mes grands-mères, mes frères, et ma seule sœur.

A ces enfants : Ayoub, Lamia, Meriem

Sans exception

A toute la famille BOUZIANE.

Une spéciale dédicace pour mes meilleurs amis :

Hamdaoui, Izzaar, Terbach, Mouffok, Yalaoui

Sans oublier toutes personnes qui me connaissent de loin ou de près.

En particulier : la classe de M2 génie thermique et énergie renouvelable.

A tous mes professeurs de l'université Abou-Bekr Belkaïd

-Faculté de Technologie-

BOUZIANE SIDI MOHAMED

DEDICACES

Je dédie ce modeste travail

A mes parant, a mes grands-mères, mes frères, et ma seul sœur.

Sans exception

A toute la famille HACHEM

Une spéciale dédicace pour mes meilleurs amis :

Guenife, Benbakhti, Malki, Choayb

Sans oublier toutes personnes qui me connaissent de loin ou de prés.

En particulier : la classe de M2 génie thermique et énergie renouvelable.

A toute mes professeurs de l'université Abou-Bekr Belkaïd

-Faculté de Technologie-

HACHEM REDOUANE

Sommaire

Résumé

Liste des figures

Liste des tableaux

Abréviation

Introduction général 2

CHAPITRE 1 : Les moteurs à combustions internes

I.1 Introduction 4

I.2 Architecture d'un moteur à combustion interne 5

 I.2.1 Le bloc moteur (bloc cylindre)..... 5

 I.2.2 La culasse 6

 I.2.3 Le piston..... 6

 I.2.4 Le mécanisme bielle-manivelle..... 7

 I.2.5 Le dispositif de distribution 8

 I.2.6 Le système d'injection 8

 I.2.7 La suralimentation..... 8

I.3 Classifications des moteurs à combustion interne 9

I.4 Déroulement de la combustion dans un moteur Diesel..... 11

I.5 Comparaison entre moteur Diesel et Essence 13

 I.5.1 Fonctionnement..... 13

I.5.2 Combustible	15
I.5.3 Rendement.....	16
I.6 La Formation des polluants	16
I.7 Formation du monoxyde de carbone (CO)	17
I.7.1 Formation des hydrocarbures (HC) imbrûlés.....	17
I.7.2 Formation des oxydes d'azote (NO _x).....	17
I.7.3 Formation des suies	18
I.7.4 Formation des hydrocarbures aromatiques polycycliques (HAP)	18
I.8 Nouvelles voies envisagées pour la réduction de la consommation des carburants et des Émissions de polluants	18
I.8.1 Amélioration de la combustion dans les moteurs	19
I.8.2 Les systèmes de post-traitement.....	20
I.8.3 Reformulation des carburants	20
I.9 Utilisation des biocarburants pour le secteur de transport.....	21
I.9.1 Utilisation du biodiesel dans les moteurs	22
I.9.2 Production du biodiesel dans le monde	23
I.9.3 Performance des biocarburants	24
I.9.4 Aspects environnementaux	24
I.10 Conclusion	25

CHAPITRE 2 : génialité sur les biocarburants

II.1 Introduction	27
II.2 Les biocarburants.....	28
II.3 Les différentes sources des biocarburants	28
II.3.1 Les huiles végétales	29
II.3.2 Les graisses animales	31
II.3.3 Les alcools	31
II.3.4 Les autres sources lipidiques	32
II.4 Evolution des biocarburants	32
II.4.1 Première génération	33
II.4.2 biocarburants de deuxième et troisième génération	35
II.4.2.1 Deuxième génération	35
II.4.2.2 Troisièmes générations	37
II.5 Les biocarburant pour les moteurs	39
II.6 Les coproduits et valorisation	40
II.7 Caractéristiques physico-chimiques de biocarburant	41

CHAPITRE 3 : Adaptation des huiles à un moteur à combustion interne

III.1 Introduction	47
III.2 Adaptation des huiles à un moteur à combustion interne.....	47
III.2.1 Le préchauffage	47

III.2.2 Dilution.....	49
III.2.3 La transestérification	50
III.2.4 Pyrolyse	54
III.2.5 Les émulsions	55
III.3 Utilisation des huiles animale dans les moteurs	57
III.4 Conclusion.....	58

CHAPITRE 4 : Valorisation des déchets graisseux de poisson

IV.1 Introduction	60
IV.2 Les déchets graisseux du poisson	60
IV.3 Les déchets graisseux en Algérie	61
IV.4 Compositions des huiles et des graisseux de poisson	61
IV.5 L’huile de poisson comme biocarburant.....	62
IV.6 Extraction de l’huile des déchets de poisson en laboratoire	64
IV.6.1 Matière première : les déchets de poisson	64
IV.6.2 Etude expérimentale	67
IV.6.3 Résultats et discussions	69
IV.7 Conclusion	74
Conclusion générale	76
Référence bibliographie	78
Annexe I	82
Annexe II.....	85

Introduction générale

Avant propos

La croissance de la demande d'énergie et la limitation des ressources en pétrole conduisent au développement des énergies renouvelables telles les matières grasses (huiles végétales, graisses animales et huiles usagées...) ou leurs dérivés. De là, l'intérêt pour les énergies renouvelables « dites propres » est de plus en plus important. Parmi ces dernières apparaissent les biocarburants comme une forme d'énergie alternative notamment dans le domaine automobile vu qu'ils réduisent la consommation spécifique des carburants et la production des gaz polluants.

La recherche dans le domaine des biocarburants est actuellement 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. Le gisement des déchets gras est en augmentation continue, tels que la graisse de poulet, de bœuf et de poisson. En effet, ces déchets gras sont formés principalement de molécules de triglycérides. Ces derniers ont été utilisés comme source d'énergie depuis un siècle lorsque Rudolph Diesel en 1893 a montré que les huiles végétales peuvent être utilisées comme carburant dans les moteurs.

Mais le problème est que leur propriétés physiques, notamment leur viscosité (μ) et leur densité(ρ), indice d'acidité..., sont bien supérieures à celles du diesel ordinaire ce qui provoque des problèmes de combustion et de pollution. De plus, il y a risque d'endommager les organes du moteur comme les injecteurs et les pistons. Pour rendre les propriétés des huiles et graisses animales similaires à celles du gazole, différents procédés ont été proposés : la dilution, le préchauffage, l'émulsion, la transestérification et la pyrolyse.

But du travail

Le sujet dans ce mémoire (valorisation énergétiques des déchets de poisson) s'inscrit dans le cadre de Master en Génie thermique et énergies renouvelables.

Dans le cadre d'un développement et de valorisation énergétique des déchets à base animales pour la production de biocarburants en Algérie, l'objectif majeur du présent travail c'est d'étudier la valorisation des déchets gras de poisson (déchets solides) 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.

Contenu du mémoire

Le présent mémoire s'articule en quatre chapitres :

En premier lieu une description générale sur les moteurs à combustion interne avec les différentes utilisées pour réduire les gaz polluants émanant des moteurs. Dans ce chapitre on met accent sur utilisation des carburants alternatifs (les biocarburants) pour les moteurs à combustion interne.

Puis, dans le deuxième chapitre une description générale sur les biocarburants et ces caractéristiques physico-chimique.

Le troisième chapitre présente en détail les techniques d'adaptation pour valorisation des huiles à base végétale et animale.

Finalement, on s'intéresse particulièrement au procédé de valorisation des déchets graisseux de poisson par le procédé d'extraction par solvant et ensuite l'adaptation par le procédé de transestérification, qui permet de raffiner les huiles animales pour rapprocher leurs caractéristiques à celles d'un gazole conventionnel. Nous comparons les propriétés de gazole aux résultats expérimentaux. Les résultats seront analysés et discutés.

Chapitre I

Les moteurs à combustion interne

I.1 Introduction

Les moteurs à combustion interne (ou à explosion) transforment l'énergie chimique stockée dans un carburant en travail grâce à l'expansion du gaz durant la combustion.

La combustion se produit à l'intérieur de la chambre de combustion, voir la figure (1.1).

Ils sont principalement utilisés pour la propulsion des véhicules de transport : avions à hélice, automobiles, motos, camions et bateaux. Traditionnellement, l'appellation Moteur à combustion interne est réservée uniquement aux moteurs à pistons. Dans le présent exemple : on s'intéresse aux moteurs dits à 4 temps [1].

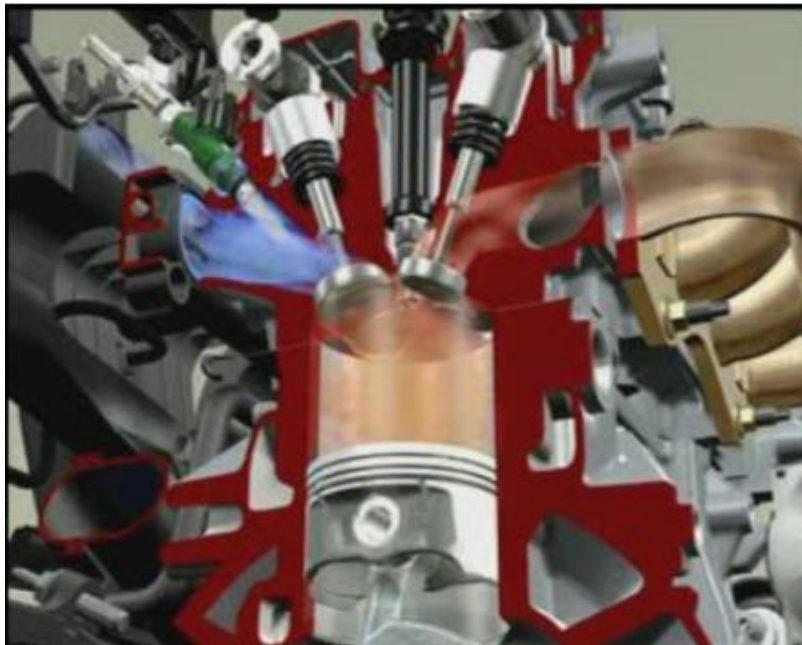


Fig.1. 1.Chambre de combustion d'un moteur à combustion interne [1].

I.2 Architecture d'un moteur à combustion interne [2, 3]

Avant d'aborder le fonctionnement du moteur à combustion interne et les principes théoriques mis en jeu, il nous semble utile de décrire les principaux organes qui le composent. Les parties essentielles du moteur à combustion interne sont montrés dans la figure (1.2).

I.2.1 Le Bloc moteur (bloc cylindre)

Le bloc moteur est le support principal de tous les éléments fixes et mobiles constituant l'ensemble moteur. Il est généralement en fonte, fabriqué à l'aide d'un moule.

Il doit supporter la culasse, le vilebrequin, les cylindres, le carter inférieur, et souvent il est fixé à la boîte de vitesse formant ainsi un ensemble solidaire relié au châssis du véhicule, une circulation d'eau assure leur refroidissement.

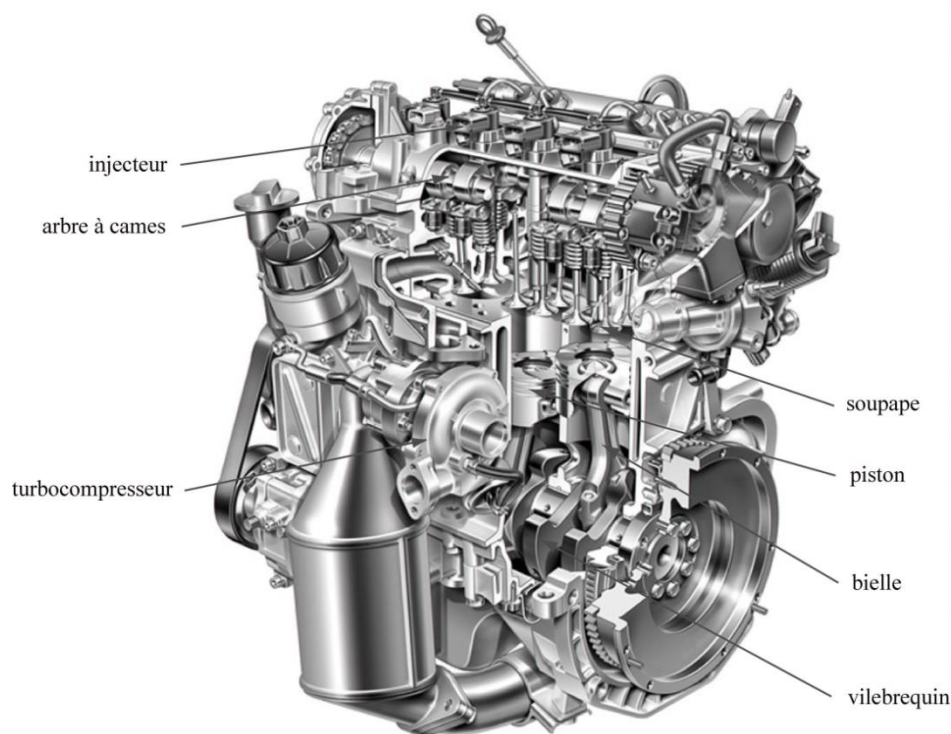


Fig.1. 2.Moteur Diesel injection directe à quatre cylindres en ligne [2].

I.2.2 La culasse

La culasse est montée sur la partie supérieure du bloc moteur, c'est une plaque épaisse généralement en fonte ou en alliage d'aluminium, elle ferme le cylindre et constitue la chambre de combustion, elle comporte les éléments de distribution, l'injecteur, les conduites d'admission et d'échappement. Comme elle est fortement sollicitée de point de vue thermique des chambres d'eau sont nécessaires à son refroidissement, figure (1.3).



Fig. 1.3. La culasse [3].

I.2.3 Le piston

Le piston est réalisé en alliage d'aluminium et il remplit plusieurs fonctions : il constitue la paroi mobile de la chambre d'explosion, il reçoit l'impulsion motrice, il doit résister à de hautes températures et il sert de guide à la bielle.

Il est quelque fois creusé de cavités destinées à créer une turbulence favorable à la combustion. Des segments sont logés dans la partie haute du piston, assurent l'étanchéité de la chambre de combustion. On distingue le segment coupe de feu, le segment de l'étanchéité et le segment racleur, voir la figure (1.4).

Le segment coupe de feu est souvent chromé, il est disposé assez loin du bord du piston afin d'éviter qu'il soit directement soumis à la chaleur dégagée lors de la combustion.



Fig.1. 4. Le piston [3].

I.2.4 Le mécanisme bielle-manivelle

La bielle est la pièce mécanique dont une extrémité est liée au piston par l'axe de piston et l'autre extrémité au vilebrequin. Elle permet la transformation du mouvement alternatif du piston en mouvement circulaire continue du vilebrequin, figure (1.5).

Tout comme le piston la bielle doit être aussi légère que possible, mais au même temps être capable de transmettre des efforts considérables du piston au vilebrequin est inversement.

A ce titre elle est fabriquée en acier forgé.



Fig.1. 5. La bielle [3].

I.2.5 Le dispositif de distribution

Le système de distribution gère l'admission de la charge fraîche (air sec ou mélange air-combustible) dans les cylindres puis la vidange des gaz brûlés. Il est constitué d'éléments mobiles, des soupapes d'admission et d'échappement, d'un arbre à cames, de poussoirs, de culbuteurs, ressorts de rappel et d'une courroie ou chaîne de distribution. Au repos, les soupapes sont maintenues fermées par des ressorts de rappel, l'ouverture est assurée par l'arbre à cames qui est couplé au vilebrequin par l'intermédiaire d'une courroie ou chaîne de distribution. La vitesse de rotation de l'arbre à cames est deux fois plus petite que celle du vilebrequin. Ainsi, l'ouverture et la fermeture des soupapes sont parfaitement synchronisées avec les mouvements du piston.

I.2.6 Le système d'injection

Le système d'injection est un organe essentiel car le moteur Diesel nécessite un dosage rigoureux du combustible. L'introduction du carburant dans le cylindre est réalisée par un ensemble comprenant une pompe qui alimente les injecteurs (un par cylindre) placés sur la culasse. La pompe d'injection garantit l'alimentation de chaque injecteur. Ces derniers sont chargés de laisser entrer la quantité adéquate de carburant aux instants désirés. On distingue deux catégories de moteurs Diesel selon que les injecteurs débouchent directement dans le cylindre (injection directe) ou bien dans une chambre annexe dite chambre de précombustion (injection indirecte). Nous nous intéresserons plus particulièrement aux moteurs Diesel à injection directe.

I.2.7 La suralimentation

En fait, la puissance maximum d'un moteur Diesel est limitée par la quantité d'oxygène qui peut brûler le maximum de gazole injecté. Toute pompe peut augmenter son débit et la seule limite est donc bien la quantité d'air aspirable par le moteur (pour une cylindrée donnée).

Si, au lieu de laisser aspirer naturellement le piston lors de sa course descendante. On fournit au cylindre de l'air déjà sous pression, on augmente ainsi la quantité d'air dans le cylindre.

Le remplissage étant meilleur, la compression sera plus forte .la combustion sera améliorée et en conclusion le moteur aura un meilleur rendement.

La description du turbocompresseur est détaillée dans la figure (1.6).Le turbocompresseur comprend une turbine recevant l'énergie des gaz d'échappement et calé sur le même axe d'un compresseur d'air. La Turbine et le compresseur fonctionnent dans des carters séparés de façon étanche.

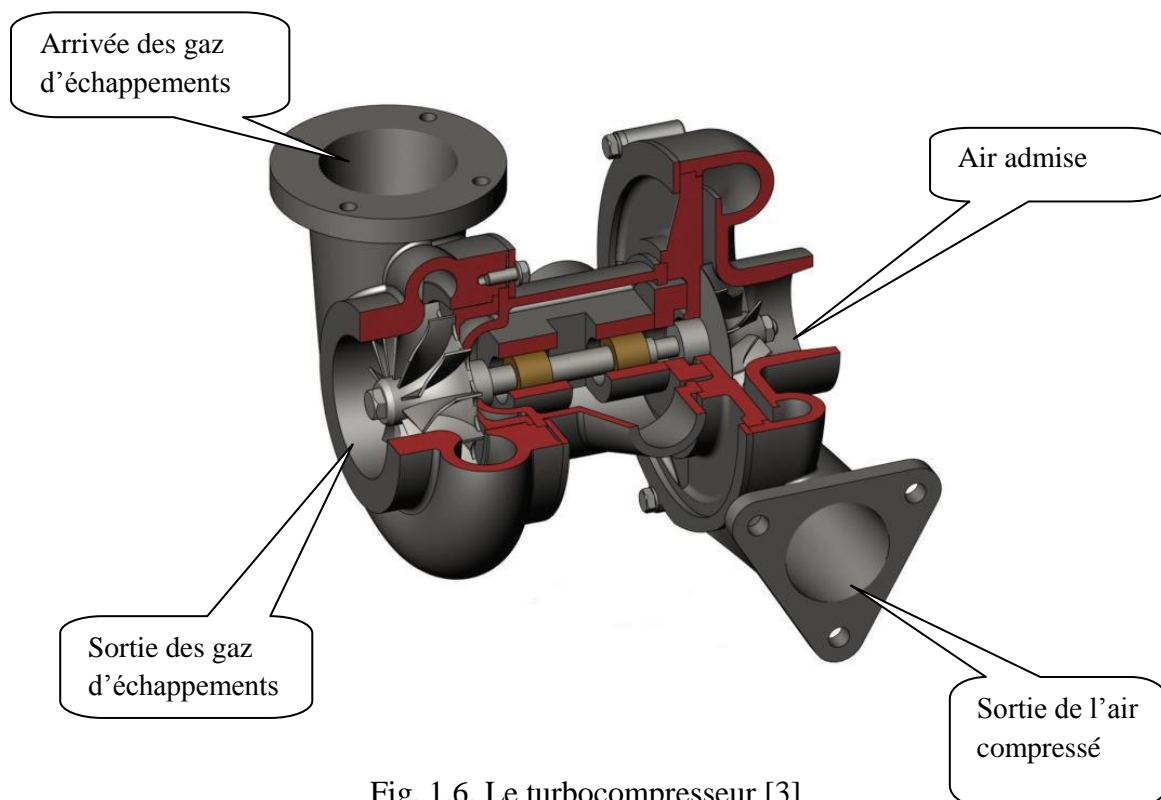


Fig. 1.6. Le turbocompresseur [3]

I.3 Classifications des moteurs à combustion interne

Les moteurs Diesel sont classés selon le type d'injection et de chambre de combustion qui les équipe. Deux grandes familles de types de combustion existent:

- L'injection directe, le carburant est injecté directement dans la chambre de combustion, qui est dessinée spécialement dans la tête du piston pour créer une turbulence suffisante, figure (1.7). Ces moteurs équipent la plupart des tracteurs

agricoles depuis 25 ans, les camions et les moteurs industriels. Ils sont équipés d'une pompe à injection (avec des éléments électroniques et parfois même un ordinateur). La pression d'injection est comprise entre 180 et 1600 bars pour l'injection avec le système commune rail.

- L'injection indirecte, ces moteurs équipent encore la plupart des véhicules automobiles et les très gros moteurs industriels. Dans ce type l'injecteur pulvérise le combustible dans une chambre auxiliaire où a lieu le début de combustion, figure (1.8), les gaz rejoignant ensuite la chambre de combustion principale à travers un passage ou des canaux de liaison. Ces moteurs sont obligatoirement équipés de bougies de préchauffage du carburant à l'intérieur de la préchambre de combustion. La pompe à injection est manuelle (ou avec un petit peu d'électronique pour les plus récentes), elle est chargée de distribuer le carburant successivement à chaque cylindre en ouvrant les injecteurs les uns après les autres par la pression du gazole (aux environs de 130 bars)

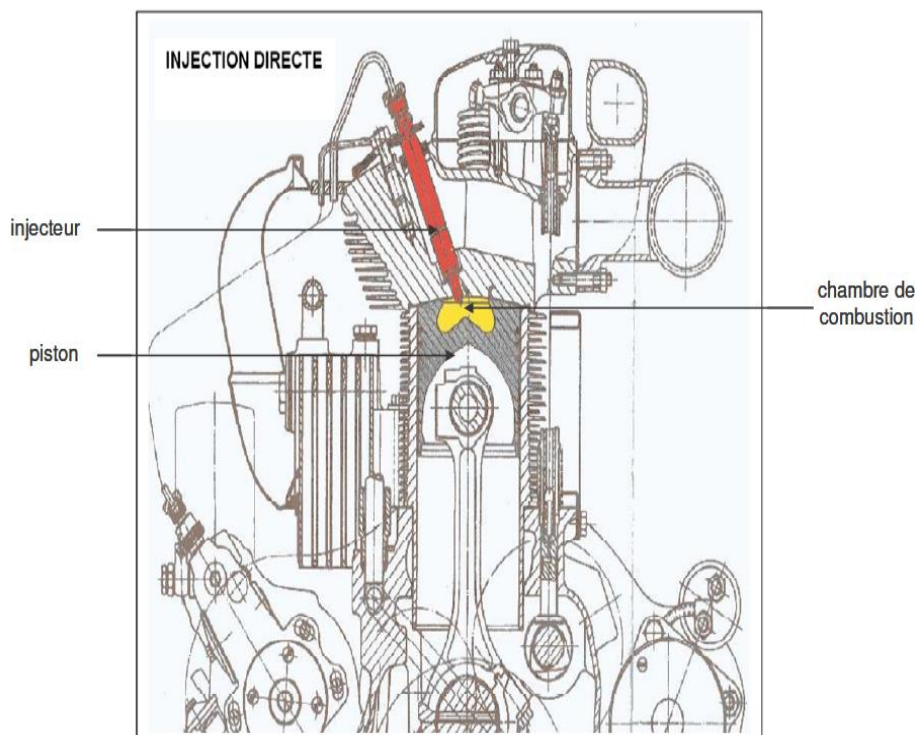


Fig.1. 7. Coupe d'un cylindre de moteur à injection directe [4].

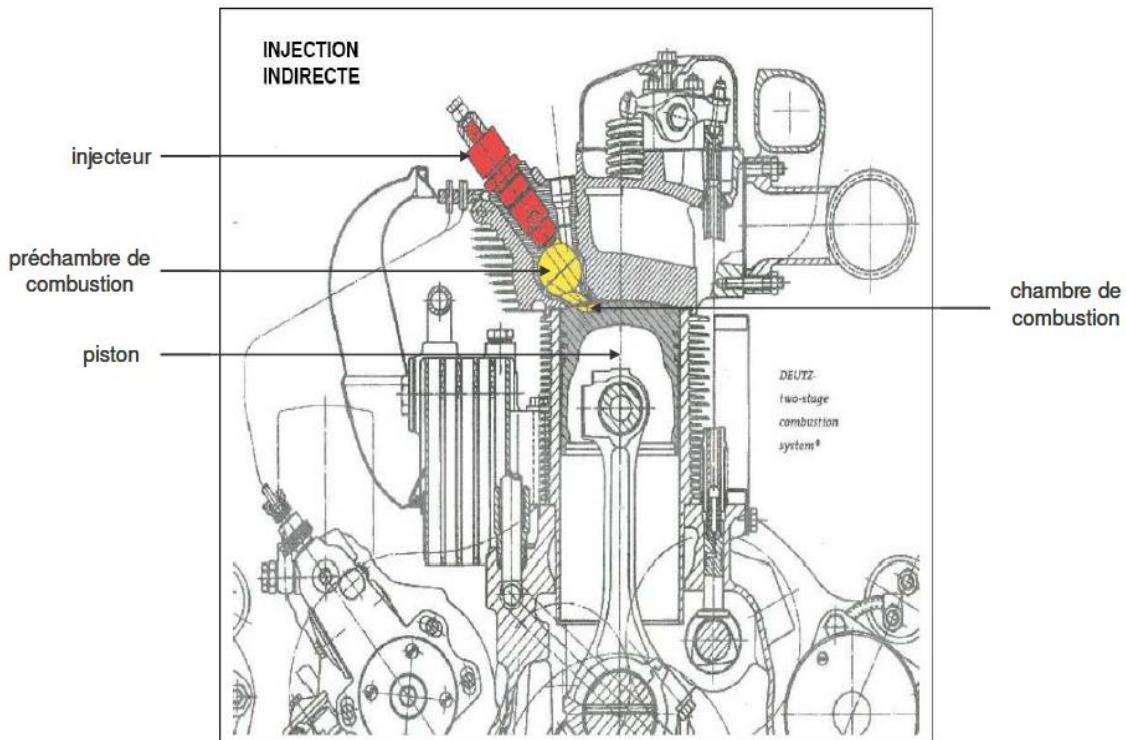


Fig.1. 8. Coupe d'un cylindre de moteur à injection indirecte [4].

I.4 Déroulement de la combustion dans un moteur Diesel [5]

Les moteurs thermiques automobiles (dits les moteurs à combustion interne) transforment l'énergie chimique contenue dans les molécules du carburant en énergie thermique puis mécanique, nécessaire à assurer le mouvement du véhicule. La présence d'un comburant dans la chambre de combustion (21% d'oxygène contenu dans l'air) est nécessaire pour que la combustion du carburant, produisant l'énergie thermique. L'augmentation de pression, due à la combustion, crée une force s'exerçant sur un piston et transformant le mouvement de translation de celui-ci en un mouvement de rotation du vilebrequin.

Les moteurs Diesel fonctionnent habituellement au gazole, au fuel lourd ou aux biocarburants. Ils peuvent être aussi bien à deux temps qu'à quatre temps. Le fonctionnement d'un moteur à combustion interne se décompose en étapes élémentaires plus connues sous le nom de temps moteur. Un temps moteur correspond à un trajet du PMH vers le PMB, ou inversement (soit un demi tour de vilebrequin). Voici la description des quatre temps élémentaires dans le cas du moteur atmosphérique à allumage par compression :

1^{er} temps : Admission

Initialement, le piston se trouve au PMH, la soupape d'admission est ouverte et la soupape d'échappement est fermée. Durant sa première course du PMH vers le PMB, le piston crée une dépression. L'air frais est alors aspiré à la pression atmosphérique à travers la soupape. La phase d'aspiration ou d'admission s'achève par la fermeture de la soupape lorsque le piston atteint le PMB. Chaque temps du cycle a son importance : ici, la qualité de l'admission conditionne la puissance du moteur car la quantité de combustible qui peut être brûlée est intimement liée à la charge d'air dans les cylindres.

2^e temps : Compression

Tout au long de cette étape, les deux soupapes sont fermées. Le volume de la chambre de combustion diminue à mesure que le piston se déplace du PMB vers le PMH. L'air admis précédemment est alors comprimé, sa pression et sa température augmentent considérablement. L'élévation de la pression dans le cylindre dépend du rapport volumétrique, en général, à l'issue de cette phase, la pression de l'air atteint de 10 à 25 fois sa valeur initiale.

3^e temps : La combustion et détente

Le combustible liquide est injecté sous forme de très fines gouttelettes lorsque le piston atteint le PMH (le carburant est parfois injecté avant le PMH, ainsi la combustion s'effectue entre la fin de la compression et le début de la détente). Au contact de l'air chaud comprimé, ce carburant commence à s'évaporer puis s'enflamme spontanément. La combustion libère l'énergie du carburant. Il en résulte une augmentation de la pression des gaz dans le cylindre. Le piston, sous l'effet de cette pression, est repoussé jusqu'au PMB. C'est pendant cette phase que l'énergie mécanique est transmise à l'arbre moteur via le piston et le système bielle-manivelle. Le troisième temps s'achève lorsque le piston atteint le PMB.

4^e temps : Echappement

Au PMB, la soupape d'échappement s'ouvre laissant s'échapper les gaz brûlés sous l'effet de leur pression et du déplacement du piston. Lorsque le piston se retrouve au PMH, la boucle est bouclée, et un nouveau cycle peut alors commencer. Cette étape joue un rôle primordial ;

En effet, si l'expulsion des gaz brûlés est incomplète, la quantité d'air frais admissible au cycle suivant sera moindre et le mélange n'aura pas la même composition. La variation de la richesse du mélange d'un cycle à l'autre est l'une des causes de la dispersion cyclique et, par conséquent, de bruits et de vibrations indésirables.

Un cycle de fonctionnement correspond à deux tours de vilebrequin, c'est à dire deux montées et descentes du piston. La figure (1.9) est un rappel schématique du cycle.

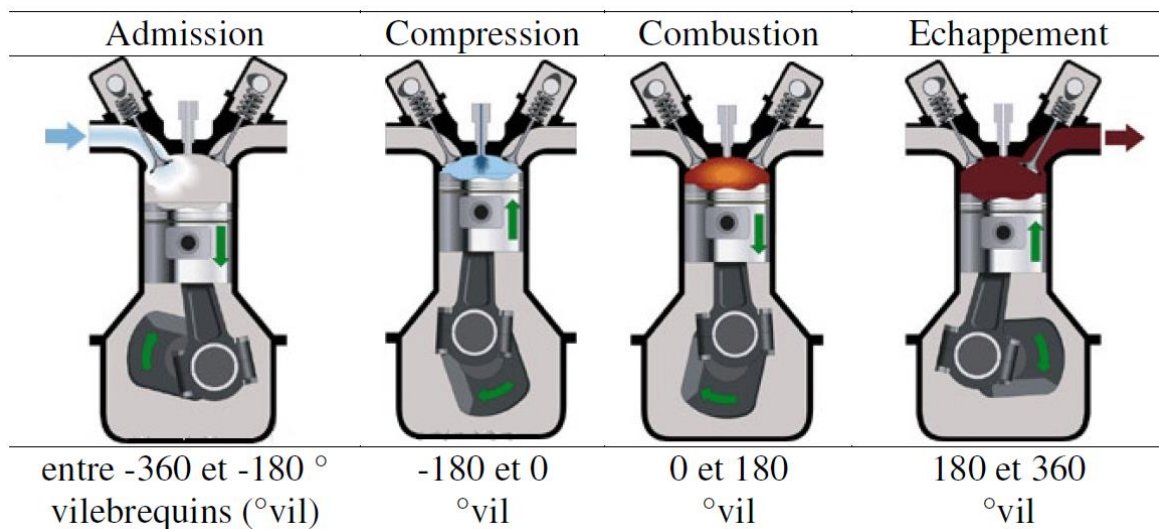


Fig.1. 9. Les quatre temps d'un moteur à allumage par compression.

I.5 Comparaison entre moteur Diesel et Essence [3]

Nous comparerons ces moteurs celons :

- leurs fonctionnements
- leurs combustibles
- leurs rendements

I.5.1 Fonctionnement :

En prenant comme base le cycle à 4 temps d'un moteur thermique nous constatons :

➤ **Admission :**

Essence	Diesel
le moteur à essence aspire un mélange air-essence dosée par le carburateur.	-le moteur Diesel aspire de l'air seul.

Tableau 1. 1 Admission dans les deux moteurs

➤ **Compression :**

Essence	Diesel
Le rapport de compression du moteur a essence est de 5/1 à 11/1 a pour effet d'engendrer une température de fin de compression d'environ 300°C et une pression de 8 à 12 bars.	le rapport de compression élevé du moteur Diesel 15/1 à 22/1 a pour effet d'engendrer une température de fin de compression d'environ 600°C et une pression de 35 à 40 bars d'où amélioration du rendement.

Tableau 1. 2 la compression dans les deux moteurs.

➤ **Combustion et Détente**

Essence	Diesel
<ul style="list-style-type: none"> - Une étincelle électrique provoque l'explosion du mélange air-essence. - Cette combustion se propage par ondes de combustion (conductibilité thermique). 	<ul style="list-style-type: none"> - Le gazole injecté sous forte pression (90 à 175 bars) et sous forme de brouillard s'enflamme spontanément au contacte de l'air surchauffé et sous pression. - Cette combustion est beaucoup plus rapide que celle de l'essence et elle se propage par ondes de choc.

Tableau 1. 3 la combustion et la détente dans les deux moteurs

➤ **Echappement :**

Essence	Diesel
Les gaz d'échappement (très toxiques) du moteur à essence sortent à la température de 650°C.	Les gaz d'échappement (peu toxiques) atteignent 500°C (meilleur rendement).

Tableau 1. 4 l'échappement dans les deux moteurs

I.5.2 Combustible :

Le fonctionnement différent entre ces deux moteurs exige des combustibles également différents. Chaque moteur a été conçu en fonction des propriétés du combustible utilisé.

Essence	Diesel
<ul style="list-style-type: none"> - Dans le moteur à essence le mélange ne sera valable que si la température de vaporisation de l'essence est voisine de la température de l'air ambiant. - Par contre la température à laquelle l'essence s'enflamme dans l'air comprimé doit être la plus haute possible afin d'éviter l'auto-allumage puisqu'on comprime un mélange. - Le taux de compression actuel est limité par cette condition. 	<ul style="list-style-type: none"> - Dans le Diesel le gazole n'est pas volatil à la température ordinaire. Ceci donne la force d'impacte des gouttelettes à l'injection. - La température à laquelle le gazole s'enflamme dans l'air comprimé doit être la plus basse possible. Il doit avoir des qualités d'auto-allumage c'est-à-dire s'enflammer le plus rapidement possible dans la chambre de combustion au moment de l'injection.

Tableau 1. 5 le combustible utilisé dans les deux moteurs

I.5.3 Rendement :

C'est le moteur Diesel qui de tous les moteurs thermiques convertit en travail utile le plus d'énergie calorifique du combustible.

Meilleure utilisation du combustible, pouvoir calorifique plus élevé au litre, emploi d'un combustible moins cher : voilà les 3 raisons qui justifient le succès du moteur Diesel à gazole.

Toutefois il faut noter deux inconvénients du moteur Diesel par rapport au moteur à essence. Ces inconvénients sont le revers de la médaille des qualités du moteur.

Si le moteur Diesel engendre des pressions plus fortes à la compression et à la détente avec détonation rapide il doit être conçu d'une manière plus robuste. Le moteur Diesel est plus lourd que le moteur à essence.

D'autre part dans le moteur Diesel la formation du mélange détenant doit s'exécuter avec une extrême rapidité par pulvérisation du gazole dans l'air comprimé.

Pour que chaque gouttelette du gazole puisse disposer d'une quantité d'oxygène suffisante on admet de 30 à 40 % d'excédent d'air. La combustion est ainsi totale, les gaz d'échappement peu toxiques mais la puissance délivrée par litre de cylindrée est plus faible dans le moteur Diesel (18 KW) que dans le moteur à essence (40 KW).

I.6 La formation des polluants [5]

La réaction globale de combustion se décrit sous la forme d'une équation chimique qui tient compte de la composition initiale du mélange de réactifs. Le processus de réaction fait intervenir une succession d'un nombre très élevé de réactions élémentaires en chaîne dont chacune ne met en jeu que deux ou au maximum trois espèces qui sont soit des molécules stables, soit plus généralement des radicaux libres.

Les polluants majeurs émis lors de la combustion Diesel sont le monoxyde de carbone (CO), les hydrocarbures (HC) imbrûlés, les oxydes d'azote (NOx), les hydrocarbures aromatiques polycycliques (HAP), et les particules de suies.

I.7 Formation du monoxyde de carbone (CO)

La formation du CO intervient comme une étape intermédiaire essentielle du processus d'oxydation des hydrocarbures conduisant au produit final CO_2 . En effet, la vitesse d'oxydation du combustible dépend de la concentration disponible en oxygène, de la température des gaz et du temps disponible laissé aux réactions pour s'accomplir (c'est à dire le régime moteur).

Le paramètre principal gouvernant les émissions de CO est la richesse du mélange carburé. En mélange riche, les concentrations en CO augmentent régulièrement avec la richesse ; le défaut d'oxygène entraîne une combustion incomplète.

Comme les moteurs Diesel fonctionnent toujours en mélange globalement pauvre (excès d' O_2), les émissions de CO y sont nettement plus faibles que celles du moteur à essence.

Toutefois, des conditions de charge très élevées peuvent conduire à des émissions significatives de CO, dans la mesure où le mélange avec l'air ne s'effectue pas complètement. Par ailleurs, des blocages de combustion peuvent également conduire à la formation de CO ainsi que d'autres imbrûlés.

I.7.1 Formation des hydrocarbures (HC) imbrûlés

L'émission d'hydrocarbures imbrûlés, ou plus généralement de produits organiques, provient de combustion incomplète des hydrocarbures. Contrairement au CO et aux NO_x , qui se forment en phase homogène à haute température au sein du fluide, les HC imbrûlés proviennent plutôt d'effets hétérogènes dans le mélange au voisinage des parois, donc à température plus basse.

I.7.2 Formation des oxydes d'azote (NO_x)

Les oxydes d'azote (typiquement rassemblés sur le signe NO_x), qui représentent l'ensemble des molécules NO, NO_2 et N_2O , sont produits lors de la combustion dans le moteur.

Contrairement aux moteurs à allumage commande, la combustion en Diesel est hétérogène. Par conséquent, même si le mélange est globalement très pauvre en carburant, il y a toujours des zones de la charge gazeuse où le mélange est au voisinage de la stœchiométrie. La formation de NO se produit dans ces zones par simple effet d'augmentation de la température de l'air, qui contient les ingrédients clés : l'azote et l'oxygène.

Donc, la combustion pré-mélangée ne contribue pas considérablement aux émissions de NO_x puisque les températures sont basses et le mélange est bien effectué.

I.7.3 Formation des suies

Les émissions de suie sont formées dans les régions riches en combustible dans le cœur liquide du jet de carburant gazole. La température de la région de flamme varie entre 1000°K et 2800°K d'où la pyrolyse du combustible par les gaz brûlés chauds qui l'environnent et forme donc les particules des matières.

I.7.4 Formation des hydrocarbures aromatiques polycycliques (HAP)

Les HAP sont des composés aromatiques comportant plus de deux et jusqu'à six noyaux benzéniques condensés.

L'étape cinétiquement déterminante du mécanisme de formation des HAP est la formation du premier noyau aromatique: le benzène (C₆H₆). Les structures saturées présentes dans les carburants peuvent, aux hautes températures régnant dans les flammes, donner lieu à des réactions de déshydrogénation conduisant à la formation de radicaux vinyloxy qui eux-mêmes pourront se transformer en acétylène, après déshydrogénation.

I.8 Nouvelles voies envisagées pour la réduction de la consommation des carburants et des émissions de polluants [6, 7]

Les efforts pour diminuer la consommation spécifique des véhicules et la quantité de polluants qu'ils émettent s'orientent aujourd'hui dans trois directions principales :

- L'amélioration de la combustion proprement dite par la conception de nouveaux moteurs plus performants, en utilisant les méthodes CFD (computational fluid dynamics) combinés à des essais expérimentaux ;
- L'amélioration des techniques de post-traitements des gaz émis à la sortie du moteur : pot catalytique, filtres à particules ;
- La reformulation des carburants.

I.8.1 Amélioration de la combustion dans les moteurs

L'effort de recherche des motoristes pour l'amélioration de la combustion dans les moteurs a principalement porté sur trois axes :

- La réduction de la cylindrée (downsizing)
- Le système d'injection
- Utilisation d'EGR

- **Le downsizing**

Le downsizing repose sur le principe de réduction de la consommation en carburant par diminution de la taille du moteur avec suralimentation en carburant pour une performance équivalente.

- **Le système d'injection**

Le mode d'injection des carburants dans la chambre de combustion a fait l'objet de nombreux changements au cours de la dernière décennie. Ainsi pour les nouveaux moteurs Diesel, on a depuis le début des années 2000 une généralisation de l'injection de la carburante sous-pression avec alimentation des injecteurs au travers d'une rampe commune à tous les cylindres (système Common-Rail). Ce système permet une pression d'injection identique dans tous les cylindres et donc un meilleur contrôle de l'alimentation et de la dispersion du carburant.

- **Recirculation des gaz d'échappement «EGR »**

Ce procédé est souvent appelé EGR (Exhaust Gases Recirculation). L'objectif principal de l'EGR est de réduire la formation des NO_x, par réduction simultanée de la température maximale atteinte lors de la combustion et de la concentration en oxygène. En effet, dans ce procédé, une partie des gaz d'échappement est recirculée et mélangée à l'air lors de l'admission. Cette quantité de gaz d'échappement recirculée, remplace une quantité égale l'air frais.

De forts taux de recirculation de gaz d'échappement permettent d'obtenir des émissions de NO_x, très faibles. Dans ce cas, en l'absence de modifications du système de suralimentation, la réduction de la quantité d'oxygène disponible accroît considérablement les émissions de fumées du

moteur. Il faut alors utiliser un filtre à particules pour ramener les émissions à des niveaux acceptable.

I.8.2 Les systèmes de post-traitement

- Les filtres à particules

Les suies qui n'ont pas pu être brûlées dans la chambre de combustion peuvent être détruites par un filtre à particules. Celui-ci n'agit que sur les particules qui sont captées à la température où les gaz d'échappement les traversent. Il faudra prévoir les modes de fonctionnement suivants :

- Filtration et combustion quasi simultanée des particules lorsque la température des gaz d'échappement le permet.
- Rétention et accumulation des particules de suies dans le filtre lorsque la température des gaz d'échappement est trop faible.
- Régénération du filtre avant que les pertes de charge dues à l'accumulation de suies deviennent inacceptables.

- Les catalyseurs

Les catalyseurs d'oxydation permettent de transformer en aval des soupapes d'échappement les hydrocarbures HC imbrûlés en produits moins toxiques tels que le dioxyde de carbone (CO_2) et l'eau (H_2O). Contrairement aux filtres à particules, les catalyseurs d'oxydation ne posent pas le problème de colmatage par accumulation d'un produit solide retenu.

I.8.3 Reformulation des carburants

L'utilisation de nouveaux carburants (biocarburants). En effet, ces derniers ont des caractéristiques différentes des carburants classiques, ce qui influence considérablement la formation du mélange et la combustion par la suite.

I.9 Utilisation des biocarburants pour le secteur de transport

On appelle biocarburants, les carburants produits à partir des matières végétales ou animales non fossiles, encore appelées biomasse. L'histoire des biocarburants a souvent été ponctuée par les crises énergétiques telles que des chocs pétroliers ou des pénuries des carburants fossiles.

Les deux principaux secteurs consommateurs de carburants sont le transport et l'agriculture. Ceux-ci contribuent majoritairement à la pollution de l'environnement qui peut être réduite en remplaçant le carburant d'origine fossile par un biocarburant d'origine renouvelable. Les principaux biocarburants sont le biodiesel et le bioéthanol. Le bioéthanol est produit à partir de la fermentation de la cellulose, du sucre de canne, de maïs et du sucre de betterave. Les deux derniers sont les principales sources d'éthanol en Europe. En revanche, le biodiesel est un carburant qui est produit à partir des huiles végétales ou des graisses animales, des huiles usagées, ou d'huiles à base de micro-algues. Pour le secteur du transport, les pays européens utilisent du biodiesel ou d'autres carburants renouvelables qui peuvent remplacer le gazole ou l'essence. Plusieurs facteurs doivent être pris en compte avant de recommander l'utilisation à différentes échelles d'un nouveau carburant alternatif. Plusieurs facteurs doivent être pris en compte avant l'utilisation d'un nouveau biocarburant.

- Les coûts d'investissement doivent être raisonnables pour faciliter le développement des procédés de production des biocarburants.
- La production de biocarburant pour le transport nécessite de produire des quantités importantes pour rentabiliser les équipements de valorisation.
- Le nouveau biocarburant doit répondre à la technologie actuelle des moteurs.
- Le biocarburant est actuellement dirigé de manière à améliorer les procédés de conversion de la matière végétale et animale et à étudier leur adaptation au moteur des véhicules.
- La compatibilité énergétique et environnementale comparée au carburant conventionnel doit être évidente.
- L'amélioration des propriétés du biocarburant, pour limiter l'effet négatif de l'acidité et de la viscosité élevée sur les organes du moteur comme les injecteurs et les pistons.

I.9.1 Utilisation du biodiesel dans les moteurs [7]

Le travail nécessaire à la propulsion et au fonctionnement de la majorité des véhicules continuera encore des décennies à être fourni par des moteurs thermiques. Dans le but de réduire la dépendance énergétique et d'abaisser les niveaux d'émissions de gaz à effet de serre et des polluants, les chercheurs se sont intéressés à l'utilisation du biocarburant en tant qu'alternative renouvelable et moins polluante. De plus, les biocarburants sont considérés comme les premières possibilités pour la motorisation future, car leur technologie de production a été déjà lancée; elles sont bien connues et économiquement viables. Aussi, leur utilisation est à la fois sécuritaire et a un impact environnemental positif. Parmi les biocarburants, le biodiesel est un carburant employé dans les moteurs diesel en remplacement ou en complément du gazole. Le biodiesel est aujourd'hui essentiellement produit à partir d'huiles végétales, des graisses animales, des huiles usagées, ou d'huiles à base de micro-algues.

Le biodiesel à base végétale, c'est un carburant composé d'ester méthylique d'huiles végétales (EMHV). Le biodiesel est le carburant composé d'Esters Méthyliques d'Huiles Végétales (EMHV) ou d'Esters Ethyliques d'Huiles Végétales (EEHV), par opposition au traditionnel diesel (pétro diesel).

Les EMVH ont des propriétés proches de celles du gazole, ce qui n'est pas le cas des huiles végétales. L'intervalle de distillation des EMHV est compris entre 320°C et 350°C, les situant au niveau des fractions les plus lourdes de la coupe gazole.

Le tableau I.6 compare les principales caractéristiques physico-chimiques, utiles pour un carburant, du gazole, de l'huile colza et des esters méthyliques d'huile de colza.

Caractéristique	Gazole	Huile de colza	EMHV
Densité à 15°C	0.82-0.86	0.92	0.8
Indice de cétane	>49	35	51
Point d'éclair °C	>55	220-240	185
PCI (MJ/l)	35.3-36.3	34.3	33.2
Viscosité à 40°C (mm ² /s)	2-4.5	30.2	4.5

Tableau 1 .6.caractéristiques physico-chimiques utiles pour un carburant, du gazole, de l'huile de colza et des EMVH.

I.9.2 Production du biodiesel dans le monde [8, 9]

Aujourd'hui, la consommation de l'Europe en diesel représente 60% de la demande mondiale en carburant. Depuis 1992, la production de biodiesel a augmenté de façon remarquable avec près de 35% de taux de croissance annuel moyen dans l'Union Européenne. L'Allemagne est le premier producteur et consommateur du biodiesel en Europe. Depuis 1991, la production et la vente du biodiesel a augmenté de 200 t à 800 000 t en 2003. L'huile de colza pure est utilisée sans transformation pour alimenter directement des véhicules à motorisation dédiée. En 2003, 5000 t d'huile de colza pure ont été utilisées dans 4000 véhicules essentiellement agricoles. Le biodiesel est utilisé sous sa forme pure, c'est-à-dire sans être mélange (B100) en Allemagne et en Autriche dans des moteurs de voitures, de bus, de camions, de tracteurs et autres engins agricoles. Cette voie offre un grand potentiel d'économie de CO₂. La réduction des émissions à l'utilisation est proportionnelle au taux d'incorporation du biodiesel.

En France, le biodiesel porte la marque déposée de Diester. Un taux d'incorporation de 5 % de diester dans le diesel est homologué par les pouvoirs publics français et est distribué à la pompe pendant qu'un diester à 30 % d'incorporation est actuellement réservé aux flottes captives. Dans ce même pays, la production du biodiesel s'accompagne d'une coproduction de tourteaux qui se substituent à des importations de tourteaux de soja.

Le Brésil, dispose de grandes surfaces cultivables, avec 90 Mha de terres agricoles. Le Brésil occupe le deuxième rang avec 26 % de la production mondiale de soja. En 2003-2004, le Brésil a produit 52 Mt de graine de soja, donnant 9.4 Mt d'huile. D'autres huiles transestérifiées sont utilisées tel que le tournesol, le coton et le ricin. Les esters synthétisés sont en grande partie des esters éthyliques, compte tenu de la disponibilité de l'alcool éthylique, alors que le méthanol est majoritairement importé.

Aux États-Unis, la production du biodiesel avoisine les 200 000 t/an, réparties en 25 unités. Les biodiesels sont synthétisés à partir d'huile de soja vierges et usagées, et de graisse animales, avec des taux de mélange de 2% et 20% dans le gazole.

En Algérie, les énergies renouvelables sont actuellement au cœur des préoccupations. L'Algérie a intégré le développement des énergies renouvelables dans sa politique énergétique par l'adoption d'un cadre juridique favorable au développement de ces énergies, la réalisation d'importantes infrastructures dans ce domaine et la planification d'importants projets en est la parfaite illustration. Le biodiesel est une voie prometteuse afin de diminuer

les importations en gazole et de contribué d'une part a la réduction des émissions des gaz a effet de serre et d'autre part à lutter contre la désertification.

I.9.3 Performance des biocarburants

L'incorporation d'EMHV permet d'augmenter significativement le pouvoir lubrifiant des gazoles, notamment ceux à basse teneur en soufre. Des tests d'usure ont montré que l'addition d'esters méthyliques de colza à des teneurs comprises entre 2 et 5 % volumique réduit l'usure des pièces métalliques en contact avec le carburant. Les caractéristiques à froid des esters d'huiles végétales sont très voisines de celles des gazoles mais restent en delà de celles des gazoles en hivers et plus encore des gazoles grands froids. Les EMHV ont un pouvoir calorifique inférieur (PCI) massique plus faible de 11 % que celui des gazoles et un PCI volumique plus faible de 7%.

I.9.4 Aspects environnementaux [7]

Les EMHV offrent un bilan environnemental positif .leur utilisation permet de réduire le émissions en CO hydrocarbures et particules en revanche leur température de combustion plus élevée induit une augmentation des rejeté en NO_x .Des gaine très appréciable sont observés en terme de rejets de gaz à effet de serre comme le montre la figure 1.10.

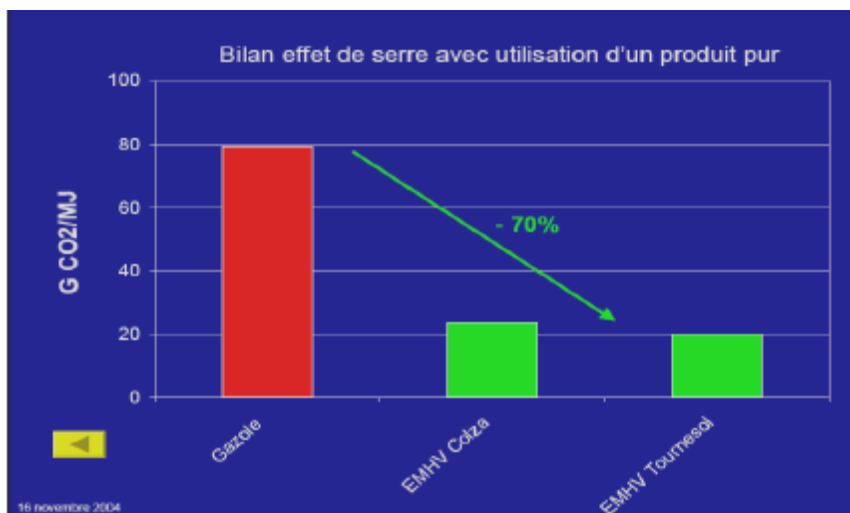


Fig.1.10 Bilan effet de serre des EMHV.

Le tableau 1.7 présente les émissions de deux mélanges de biodiesel, le B100 (100 % de biodiesel) et le B20 (20% de biodiesel avec le gazole) comparative au diesel pur.

Emissions	B100	B20
CO ₂	-48	-12
HC imbrulés	-67	-20
Particules	-47	-12
NO _x	+10	+2

Tableau 1.7: Emissions de mélanges de biodiesel

Par ailleurs, des essais sur moteurs réels (Audi 80 Diesel, 4 cylindres à injection directe) ont montré que sur la base des émissions en NO_x, CO, hydrocarbures et particules, ainsi qu'en termes de biodégradabilité dans l'eau, les EEHV avaient un effet négatif moindre sur l'environnement que les EMHV. Un mélange diesel (50 %) et EEHV (50 %) a montré comparativement au diesel pur, une réduction des émissions de l'ordre de 1.2 % pour les NO_x, de 1.8 % pour le CO, de 18 % pour les hydrocarbures et 45 % pour les particules.

I.10 Conclusion

Les combustibles d'origine fossiles représentent actuellement la principale source énergétique utilisée dans le monde pour combler les besoins des populations en énergie. Les impacts environnementaux liés à leur utilisation sont nombreux et en lien direct avec la problématique des changements climatiques et l'émission des gaz à effet de serre.

Dans ce sens utilisation des biocarburants dans les moteurs sont considérées comme les premières possibilités pour la motorisation future, car leur technologie de production a été déjà lancée. Aussi, leur utilisation est à la fois sécuritaire et a un impact environnemental positif.

Chapitre II

Généralités sur les biocarburants

II.1. Introduction

Nous assistons ces 30 dernières années à une croissance significative de la demande mondiale en énergie primaire qui signifie un recours accru aux énergies fossiles. Ceci est confirmé par le nouveau scénario de référence élaboré par AIE et UE qui prévoient une évolution de cette demande de 65% à 70% entre 2000 et 2030, figure (1.1) [11]. De plus, la limitation des ressources en pétrole conduit au développement de nouvelles technologies d'obtention de combustibles de substitution à partir de la biomasse telles les matières grasses (huiles végétales et graisses animales...) ou leurs dérivés, pour les moteurs à combustion interne. Ces transformations des matières grasses comme biocarburant, apparaissent comme une solution intéressante pour valoriser énergétiquement les réserves en biomasses.

Le développement des biocarburants à l'échelle mondiale représente un phénomène d'actualité très présent, qui va certainement encore progresser durant les 25 années à venir. L'accroissement rapide et continu de la production et de l'utilisation des biocarburants, observé depuis le début des années 2000, s'explique en grande partie par l'augmentation des cours du pétrole brut et conséquemment des prix des carburants d'origine fossile, non renouvelables (essences et le gazole). Une autre raison prend en compte les aspects environnementaux liés au « développement durable » et aux problèmes de réchauffement climatique de notre planète. Ces aspects sont de plus en plus considérés par les responsables politiques et industriels.

Ce chapitre présente certaines des caractéristiques et limites des biocarburants de première, deuxième et troisième génération.

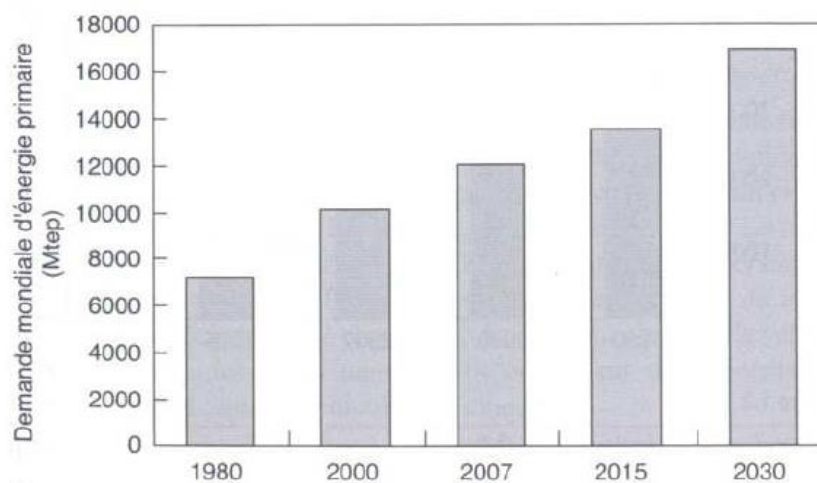


Fig.2.1. Demande mondiale d'énergie primaire (Mtep) selon le scénario AIE de 2009 [11].

II.2 Les biocarburants [11]

On appelle biocarburants, les carburants produits à partir de matières végétales ou Animales non fossiles, encore appelées biomasse. L'histoire des biocarburants a souvent été ponctuée par les crises énergétiques telles que des chocs pétroliers ou des pénuries de carburants fossiles mais pas uniquement, puisque la disparition du plomb dans la composition des essences a favorisé l'utilisation de l'éthyl-tertiobutyl-éther (ETBE) qui a un indice d'octane recherche intéressant. Les gazogènes qui produisent un gaz énergétiquement pauvre se sont ainsi développés par exemple durant la deuxième guerre mondiale et la plupart des productions actuelles en Europe, aux États-Unis et au Brésil ont eu comme origine les crises pétrolières de 1973, 1979 et d'autres crises géopolitiques. Mais les biocarburants peuvent aussi être valorisés, dans des situations où les lieux de production ou de distribution des produits pétroliers sont éloignés des lieux de consommation, conjuguées à l'existence de ressources locales à valoriser. Dans ces cas, ils ont une fonction purement énergétique de carburant de substitution. Aujourd'hui, d'autres fonctions des biocarburants ont été mises en évidence. De par leur composition oxygénée, ils peuvent améliorer la combustion des hydrocarbures et réduire certaines émissions, ou encore, pour les dérivés des huiles végétales, améliorer les capacités lubrifiantes des carburants. On peut parler dans ces cas de co-carburants ou même d'additifs selon les quantités utilisées. Ces composants seront d'autant mieux valorisés que les produits pétroliers devront évoluer vers des formulations différentes avec réduction voire suppression de certains corps ou fractions comme par exemple le plomb, le soufre, les hydrocarbures aromatiques et tout particulièrement le benzène, etc. Les biocarburants sont des énergies renouvelables pour lesquels on considère qu'ils ne contribuent pas à aggraver certains impacts environnementaux globaux, comme par exemple l'effet de serre.

II.3. Les différentes sources des biocarburants

En principe, toute source de corps gras peut être utilisée pour préparer du biocarburant. Cependant, certaines sources sont privilégiées plus que d'autres selon les pays. Ainsi, aux Etats-Unis, les fabricants utilisent l'huile de soja. Ils sont les plus grands producteurs de l'huile de soja devant le Brésil. Les brésiliens, quant à eux, utilisent différentes sources d'huile en raison de la biodiversité du pays. Par exemple dans le nord du pays c'est surtout l'huile de palme et de soja alors que le centre-ouest, c'est l'huile de soja, de coton, de ricin, et de tournesol. En France, les producteurs utilisent principalement l'huile de colza [12].

II.3.1. Les huiles végétales

La première utilisation des huiles végétales en tant que carburant a été testée par Rudolf Diesel (1893), l'inventeur du moteur qui porte son nom. L'intérêt porté à l'utilisation des huiles végétales a continué à se manifester dans différentes régions du monde au cours de la seconde guerre mondiale ou l'effort de guerre a créé le besoin de recherche de nouvelles sources d'énergie. Mais, par la suite, la recherche des carburants de remplacement du diesel a été rendue superflue avec l'arrivée de la période de paix et l'abondance relative des combustibles fossiles. Toutefois, dans les années 70, l'augmentation des prix du pétrole de 2 à 12 dollars le baril et la crainte d'une pénurie de carburant ont fait raviver l'intérêt pour des carburants de remplacement y compris les huiles végétales comme carburants dans les moteurs diesel.

De même, dans les dernières années la production mondiale d'huiles végétales est évaluée à 130 Mt en 2007, alors qu'elle n'atteignait que 86 Mt en 1999 et 101 Mt en 2003. Cette forte progression devrait se poursuivre dans les années puisque les premières estimations donnent des chiffres de production nettement supérieurs à 230 Mt en 2013.

L'huile de palme arrive en tête de la production globale d'huiles végétales (de l'ordre de 30% des huiles produits) devant l'huile de soja dans les dernières années.

Les huiles de colza et de tournesol viennent ensuite, avec des volumes voisins de la moitié des deux premières huiles, voir la figure (2.1) [11].

Donc, les biocarburants d'origine végétale pourront constituer un complément sérieux à la fourniture d'énergie dans le secteur des transports. Notons que les biocarburants à base des huiles végétales peuvent être utilisés purs, mélange avec gazole ou en transformer en ester.

Les huiles végétales sont généralement des substances insolubles constituées en majeure partie des acides gras appelés triglycérides. Comme structure, un triglycéride est une molécule de glycérol connectée à 3 molécules d'une longue chaîne d'acides mono-carboxyliques, appelés acides gras. Ces molécules de triglycérides ont une chaîne carbonée beaucoup plus longue que celle d'un carburant gazole ordinaire. Contrairement aux hydrocarbures constitués exclusivement d'hydrogène et de carbone, les molécules d'une huile végétale contiennent de l'oxygène et ont la structure chimique suivante, figure (2.2).

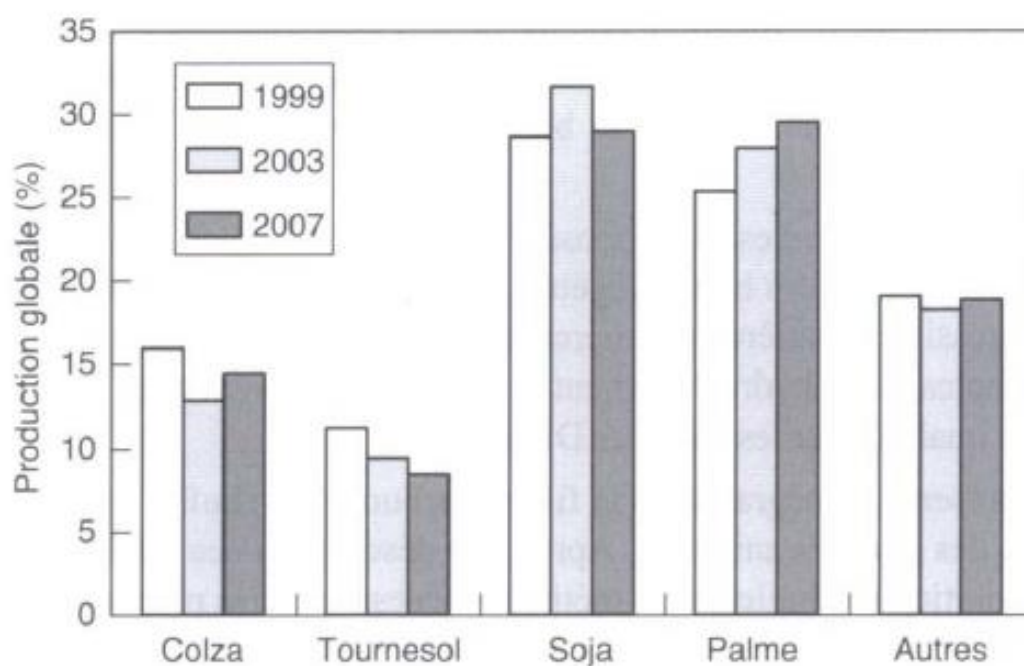


Fig.2.2. Production des différentes huiles végétales [11].

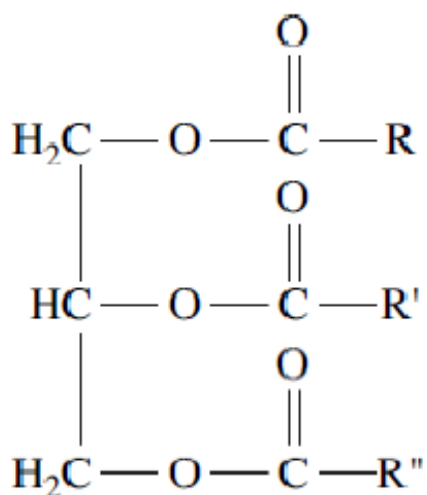


Fig.2.3. Structure générale de molécules de triglycéride [13].

II.3.2. Les graisses animales

Comme les huiles, ou graisses, d'origine végétale, la plupart des huiles animales sont insolubles dans l'eau et constituées de triglycérides, figure (2.2). De plus, les graisses animales comme les huiles végétales ont un pouvoir calorifique voisin de celui du gazole. Notons que les gisements des déchets graisseux est en augmentation continue, tels que la graisse de poulet, de canard, de bœuf et de poisson [12, 14, 15].

Cependant, leurs propriétés physico-chimiques, notamment leur viscosité et leur température de fusion qui sont bien supérieures à celles du gazole, les rendent solides à température ambiante. Il est donc impossible de les utiliser dans un moteur diesel sans les transformer en biocarburant [11]. Donc il faut changer les propriétés physiques pour qu'elles puissent être comparables au gazole et de changer sa composition chimique pour produire ce qui est communément appelé biodiesel.

II.3.3. Les alcools

Les alcools comme le méthanol et l'éthanol représentent des composés chimiques très utilisés comme carburant ou dans la synthèse des biocarburants comme biométhanol et bioéthanol.

Le méthanol est un des produits de la chimie organique le plus fabriqué au monde, avec une production d'environ 21Mt/an, dont 5.1 Mt aux Etats Unis, 2.3 Mt au Canada, 2.3 Mt en Arabie Saoudite et 1.6 Mt en Allemagne. Le méthanol, qui est obtenu à partir du gaz de synthèse résultant des dérivés d'origine pétrolière [12], donc non renouvelable (méthane, hydrocarbures lourds), est amené à être remplacé dans l'utilisation de biocarburant par l'éthanol, ce dernier étant d'origine végétale. C'est la raison pour laquelle une autre alternative de production du gaz de synthèse par gazification de matières lignocellusiques (bois, herbe) est en cours d'étude, permettant de conduire au biométhanol.

Le bioéthanol est produit à partir de la fermentation des matières premières d'origine végétale (canne à sucre, maïs et sucre de betterave). Néanmoins, l'amélioration des techniques de production d'éthanol et la réduction des coûts de production est nécessaire au développement de la production de biodiesel. L'éthanol (habituellement le plus utilisé) peut être utilisé comme biocarburant ou comme additif soit avec de l'essence ou du gazole à de faibles proportions. Les

proportions d'éthanol sont désignées par la lettre E suivie du pourcentage d'éthanol dans le mélange. Ainsi, l'éthanol pur est désigné par E100.

II.3.4. Les autres sources lipidiques

Certaines compagnies et centres de recherche travaillent depuis plusieurs années à la production de biodiesel à partir des huiles usagées et des microalgues.

II.4. Evolution des biocarburants [12]

L'utilisation de produits agricoles comme carburants n'est pas une innovation : le premier moteur diesel, développé en 1890, fonctionnait déjà avec de l'huile d'arachide, de nombreux autres exemples d'utilisation d'huiles végétales brutes ont jalonné l'histoire et la France avait aussi déjà produit et consommé du bioéthanol dans l'entre-deux-guerres.

L'objectif poursuivi alors consistait à réduire les importations de pétrole et donc à limiter le déséquilibre de la balance commerciale. Toujours d'actualité (face à un approvisionnement de plus en plus incertain, par des pays producteurs souvent caractérisés par une situation géopolitique difficile), mais aujourd'hui devancé par un autre souci, plutôt d'ordre environnemental.

Un impact positif des biocarburants sur la pollution de l'air avec une question de pollution des sols devenue nettement moins aigüe grâce à des pratiques agricoles mieux adaptées à la production de la biomasse, et à l'émergence de nouveaux types de biocarburants. C'est aujourd'hui essentiellement la contribution des biocarburants à la réduction des gaz à effet de serre qui est mise en avant, dans le contexte des engagements pris par divers pays dans le cadre du protocole de Kyoto et de ses suites. Le transport routier ne génère qu'une part (~25%) des sources de gaz à effet de serre, mais il est impératif d'agir à son niveau, surtout que cette contribution devrait augmenter. Vu le contexte écologique et la pénurie probable de carburants liquides dans un avenir plus ou moins proche, il est particulièrement crucial actuellement de mettre au point, pour les transports, des substituts du pétrole peu ou non émetteurs de gaz à effet de serre. Les enjeux actuels des biocarburants sont donc tout à la fois d'ordres énergétique et environnemental, mais aussi économiques. Ces problématiques diverses ont parfois des solutions contradictoires. Le biocarburant résulte donc d'un certain compromis et constitue un produit de transition énergétique intéressant.

II.4.1 Première génération [12, 16]

Les biocarburants sont des carburants utilisés en remplacement des combustibles fossiles pour alimenter des moteurs à combustion interne dans le secteur des transports. Ceux-ci sont produits à partir de ressources renouvelables telles que la biomasse végétale, les huiles végétales ainsi que les déchets industriels. La distinction entre les biocarburants de première et de deuxième génération provient de la matière dont ceux-ci sont issus. Dans le cas des biocarburants de première génération, des produits alimentaires comme le maïs, la canne à sucre, la betterave sucrière et les huiles végétales sont utilisés (voir la figure 1), alors que les carburants de deuxième génération sont, quant à eux, issus de sources ligno-cellulosiques comme le bois, les feuilles, la paille et plusieurs autres.

Les deux principaux carburants de première génération utilisés dans le monde sont le bioéthanol, représentant 85 % du marché mondial des biocarburants et le biodiesel, représentant 15 % du marché. Le bioéthanol est produit par la fermentation de plantes riches en sucre et en amidon principalement aux États-Unis à partir du maïs et au Brésil à partir de la canne à sucre. Ces deux pays sont responsables de 91 % de la production mondiale de bioéthanol. Toutefois, plusieurs autres pays augmentent leur production comme la Chine, et l'Union européenne. Le bioéthanol est utilisé comme additif à l'essence jusqu'à des proportions de 20 % sans avoir à modifier le moteur du véhicule. Il peut être utilisé à des proportions de 85 % et plus dans le mélange essence-éthanol pour un « Flexible Fuel Véhicule ». Le biodiesel est obtenu par un procédé appelé transestérification par lequel les huiles réagissent avec un alcool (éthanol ou méthanol) afin d'obtenir des mono esters éthyliques ou méthyliques. Des huiles de palme, de soya et d'arachide peuvent être utilisées ou encore des graisses animales. Ces cultures produisent cependant très peu d'huiles pouvant être utilisées à la production de biodiesel, soit moins de 5 % de la biomasse totale de la culture en question.

L'Union européenne est responsable de 90 % de la production mondiale de biodiesel qui peut être mélangé au gazole à des teneurs de 5 % à 30 % sans modifications du moteur. Il peut aussi être utilisé à 100 % en nécessitant l'emploi de joints particuliers dans les moteurs. L'utilisation de biodiesel correspond à approximativement 0,3 % de la demande totale en carburants pour le transport. L'importante part de la production de biodiesel pour l'Union européenne est due à la prédominance de véhicules à moteur diesel. D'ailleurs, la consommation mondiale de diesel

augmente plus rapidement que celle de l'essence et tendra à augmenter dans le futur au détriment de l'essence.

Cependant, est-il possible de croire que ces biocarburants seront en mesure de remplacer les combustibles fossiles, Selon différents experts, les biocarburants de première génération n'ont qu'un faible potentiel de remplacement, et ce, pour plusieurs motifs.

Tout d'abord, pour permettre de remplacer uniquement 4 % de la demande mondiale du secteur des transports en carburant, il serait nécessaire que les terres arables couvrent une superficie équivalente à celle de la France et l'Espagne. Un pays comme les États-Unis consomme 0,53 milliard de mètres cubes de diesel annuellement.

Afin de satisfaire ces besoins, la culture du palmier, offrant les meilleurs rendements en huile, serait nécessaire sur une superficie de 111 millions d'hectares, soit 61 % de toutes les terres agricoles des États- Unis. Ce besoin grandissant en terres arables est un facteur limitant pour la production des biocarburants et a un impact considérable sur la déforestation. En Asie, entre 2000 et 2005, pratiquement 3 millions d'hectares de forêt ont été convertis par année pour la production d'huile de palme.

L'utilisation de cultures servant à l'alimentation humaine et animale pour la production de biocarburants soulève aussi plusieurs questions de nature éthique : est-il raisonnable d'utiliser des produits agricoles pour la production de biocarburants, alors que plusieurs personnes sont sous-alimentées dans le monde ? Ce phénomène est principalement observé dans les pays en voie de développement où plus de 800 millions de personnes souffrent de malnutrition. L'utilisation des cultures servant à l'alimentation humaine a d'ailleurs entraîné une augmentation des prix de 75 % depuis 2005 pour les produits agricoles tel le maïs.

Au cours des dernières années, le coût de production de l'éthanol dérivé de la canne à sucre se situait à environ 0,35 à 0,50 dollar US par litre d'équivalent essence, alors que celui du biodiesel dérivé d'huiles végétales se situait de 0,70 à 1,00 dollar US par litre d'équivalent diesel. Le coût de production du bioéthanol est compétitif à celui du pétrole pour des prix du baril variant de 40 \$ à 60 \$. Pour que le biodiesel soit compétitif, le prix du baril doit être de 100 \$. Cependant, la production de biodiesel à partir d'huiles végétales a pratiquement atteint sa capacité maximale, ce qui ouvre le marché pour les biocarburants de deuxième et troisième génération.

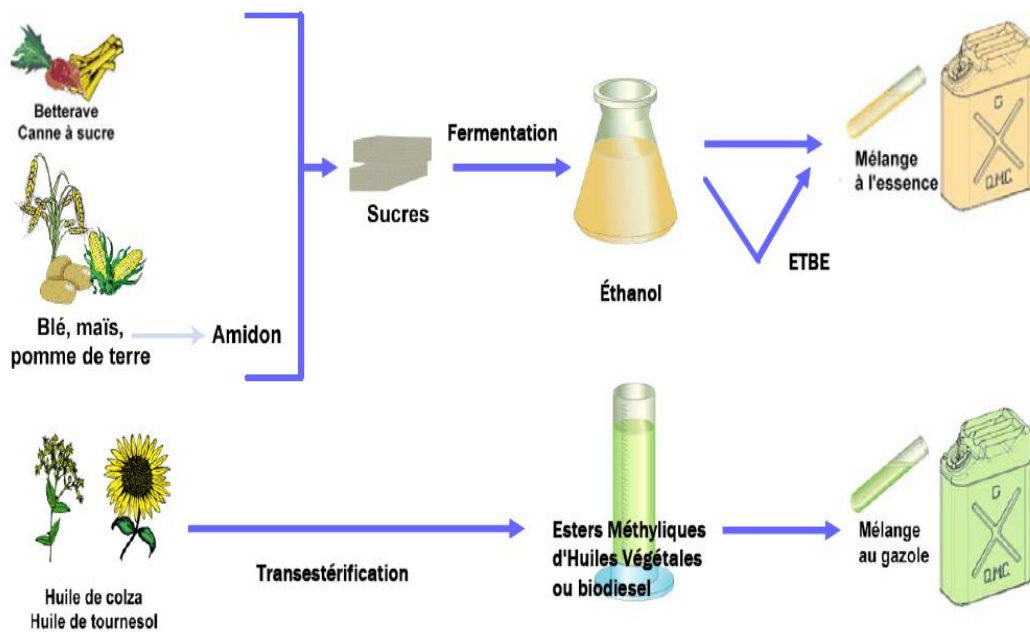


Fig.2.4. Filières des biocarburants de première génération

II.4.2 Biocarburants de deuxième et troisième génération

Les biocarburants de deuxième et troisième génération ont l'avantage de surmonter plusieurs des limitations soulevées par l'utilisation des biocarburants de première génération.

La production d'éthanol à partir de matières ligno-cellulosiques ainsi que la production de biodiesel à partir des micros algues ont un potentiel intéressant de remplacement des carburants conventionnels.

II.4.2.1 Deuxième génération

L'éthanol cellulosique est obtenu à partir de différents déchets agricoles et ligneux ainsi que d'arbres à croissance rapide comme la paille de blé et la canne de maïs, la canne à sucre, etc. En 2007, la production mondiale d'éthanol cellulosique représentait 0,1 % de la production totale d'éthanol. L'augmentation de cette production à l'échelle mondiale est fortement dépendante des nouvelles technologies qui permettront de convertir la biomasse utilisée à des coûts moindres et plus efficaces.

La production d'éthanol peut se résumer en trois principales étapes, soit le prétraitement qui permet l'exposition de la cellulose et des ligno-cellulosiques pour ensuite réaliser l'hydrolyse. C'est l'hydrolyse enzymatique qui permet d'obtenir les sucres qui seront ensuite fermentés pour obtenir l'éthanol.

La biomasse peut subir un procédé de gazéification et de craquage thermique pour l'obtention d'un biocarburant. Le gaz obtenu en sortie du gazéifieur contient des goudrons. Ces goudrons sont éliminés par des procédés catalytiques utilisant un solvant organique. Cette opération fournit un gaz de synthèse sans goudron et aboutit à la fabrication du «Sundiesel», un biocarburant ultra propre, pratiquement sans soufre ni particule et qui peut être utilisé pur ou mélangé avec le gazole. Le gaz de synthèse obtenu peut être transformé en carburant liquide GTL ou utilisé dans d'autres réactions catalytiques pour produire du méthanol ou du diméthyléther (DME).

Afin de permettre l'atteinte d'une efficacité économique, des programmes de recherche et développement doivent encore adresser certains points comme la nécessité de développer des installations permettant de traiter efficacement chaque type de biomasse selon les caractéristiques de chacune, évaluer la disponibilité des résidus, assurer la collecte, l'entreposage et le transport efficace de ceux-ci. Les procédés utilisés doivent aussi permettre de faire diminuer les coûts de production de l'éthanol cellulosique pour assurer sa compétitivité par rapport au prix du baril de pétrole.

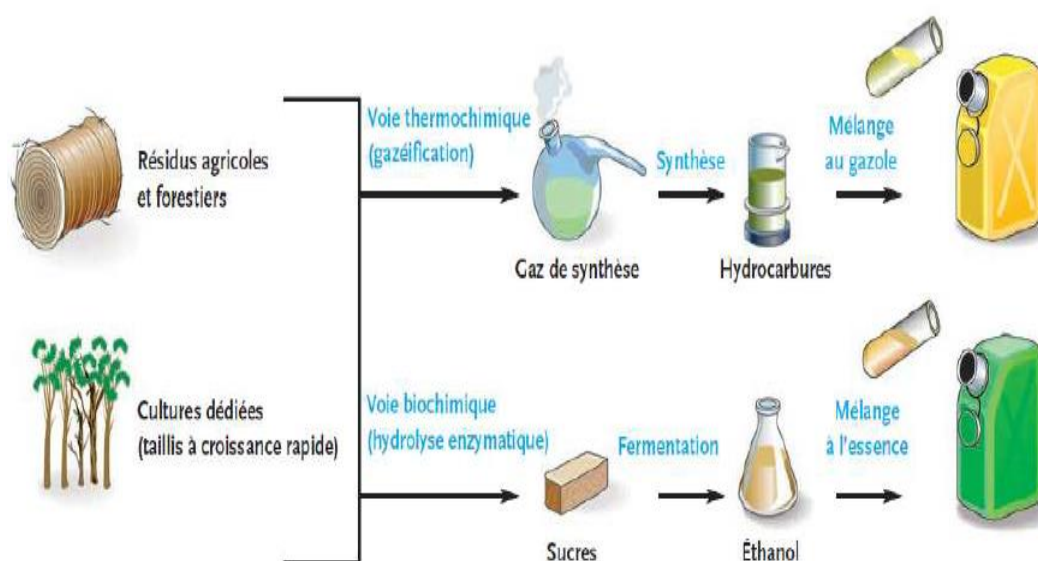


Fig. 2.5. Filières des biocarburants de deuxième génération.

II.4.2.2 Troisièmes générations

Tel que discuté précédemment, les biocarburants de première génération ont un potentiel limité à remplacer les carburants d'origine fossile utilisés dans le transport. Cependant, depuis quelques années, les recherches ont permis des avancées dans de nouveaux domaines, tel celui de la production de biodiesel à partir des micros algues. Il semblerait d'ailleurs qu'il s'agisse du seul biocarburant permettant éventuellement de complètement remplacer le diesel, et ce, sans affecter les ressources alimentaires, la consommation d'eau et la détérioration des sols cultivables. En effet, les micros algues possèdent plusieurs avantages dont l'importante capacité de production de biomasse par hectare, la fréquence de récolte très importante, la diminution de l'utilisation d'eau potable ainsi que celle d'émission de gaz à effet de serre.

Les micros algues sont des organismes photosynthétiques qui utilisent la lumière du soleil comme source d'énergie pour fixer le dioxyde de carbone. Les lipides accumulés par les micros algues, pouvant atteindre jusqu'à 80 % de leur poids sec, sont principalement sous forme de triglycérides. Ces derniers peuvent ensuite être utilisés pour produire du biodiesel via une réaction appelée transestérification. Un des avantages de l'utilisation des micros algues pour la production de biodiesel est leur croissance extrêmement rapide puisque certaines espèces peuvent doubler leur biomasse de une à trois fois en 24 heures.

Les micros algues peuvent avoir un métabolisme autotrophe ou hétérotrophe. Les micros algues de métabolisme autotrophe utilisent le carbone inorganique, principalement le CO₂ comme source de carbone et la lumière comme source d'énergie, alors que les micros algues de métabolisme hétérotrophe doivent utiliser du carbone organique comme source de carbone et d'énergie. Les micros algues ayant un métabolisme autotrophe sont principalement cultivées en bassins extérieurs, dans des photos bioréacteurs ou encore grâce à des modèles hybrides permettant de conjuguer ces deux premières approches. Plusieurs éléments influencent l'efficacité des méthodes de culture utilisées, dont le choix des micros algues, la localisation et le climat. Pour assurer une efficacité en mode autotrophe, des températures moyennes d'au moins 15°C doivent être rencontrées ainsi que des conditions d'ensoleillement optimales. Celles ci sont principalement retrouvées entre les 37° latitude nord et sud.

Les micros algues de métabolisme hétérotrophe sont principalement cultivées dans des bioréacteurs fermés en absence de rayonnement solaire. Les recherches effectuées à partir de ces

micros algues permettent d'obtenir des résultats très concluants quant à leur utilisation pour la production de biodiesel. Des expérimentations réalisées en utilisant l'espèce *Chlorelle* ont permis d'obtenir des rendements de 50 g en lipides/litre/semaine. Les technologies de production de biodiesel à partir des micros algues ayant un métabolisme hétérotrophe sont plus performantes de 500 à 1000 fois que les cultures terrestres, tandis que des résultats pour les micros algues de métabolisme autotrophe ont permis des résultats dix fois supérieurs

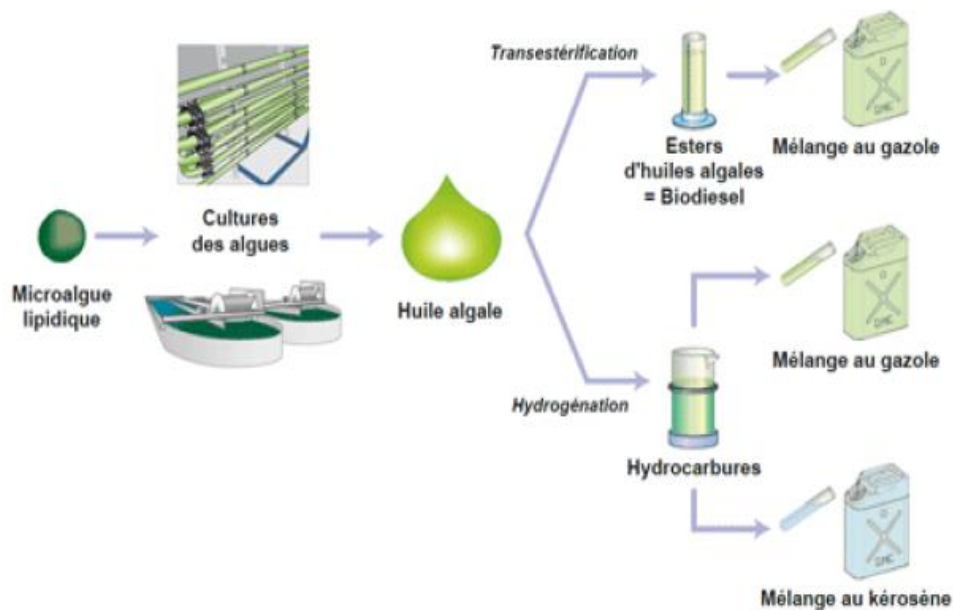


Fig. 2.6. Filières des biocarburants de troisième génération.

Ces trois générations de biocarburants [12] ont en commun d'être des énergies non fossiles, renouvelables et donc permettent de répondre à l'épuisement des ressources fossiles.

Toutefois, la particularité et les avantages de biocarburant peuvent s'apprécier notamment à travers trois paramètres :

- Les émissions globales de gaz à effet de serre nécessaire à la production du biocarburant;
- L'efficacité énergétique pour produire le biocarburant;
- Et la concurrence éventuelle des dispositifs de culture vis-à-vis des cultures agricoles pouvant servir à l'alimentation humaine ou animale

Le tableau (2.1) synthétise les performances de différentes générations des biocarburants en fonction des paramètres susmentionnés :

biocarburant	Efficacité énergétique	Réduction des émissions de GES	Concurrence avec des cultures alimentaires
1 ^{ère} génération	+ /-	+/-	-
2 ^{ème} génération	+	+	+
3 ^{ème} génération	++	++	++

Tableau 2.1. Performances des différentes générations des biocarburants

II.5. Les biocarburant pour les moteurs [17]

L'utilisation des huiles directement comme carburant dans le secteur du transport est limitée pour des raisons nombreuses, dont on cite :

- Une mauvaise pulvérisation dans la chambre de combustion,
- L'effet corrosif de cette huile,
- Son instabilité physico-chimique au cours du stockage,
- L'allumage difficile par rapport à un combustible ordinaire,
- Les émissions polluantes importantes dans les fumées,
- Le risque élevé d'encrassement et d'obstruction des injecteurs et du circuit d'échappement.

Ces problèmes sont liés aux propriétés physico-chimiques des huiles pures. La majorité des études effectuées ont mentionnées que l'huile obtenue est généralement acide et visqueuse. Ceci rend souvent impossible l'utilisation directe de ces huiles dans des moteurs diesel/essence ordinaires. Nous présentons dans le tableau.2.2 une comparaison entre les propriétés physico-chimiques de différentes huiles obtenues dans des études antérieures et les normes américaines relatives au diesel ordinaire.

	Viscosité cinématique à 38°C [mm ² /s]	Densité [Kg/l]	Indice de cétane	Point d'éclair [°C]	PCI [MJ/Kg]
Coton	33.5	0.909	41.8	234	39.5
Arachide	39.6	0.902	41.8	271	39.8
Colza	37.0	0.911	37.6	246	39.7
Soja	32.6	0.913	37.9	254	39.6
Tournesol	33.9	0.916	37.1	274	39.6
Palme	39.6	0.918	42	267	-
Gazole	3.06	0.855	50	76	43.8

Tableau 2.2. Propriétés du gazole et de quelques huiles végétales.

Il ressort de cette comparaison que l'utilisation directe de l'huile ne peut être sans effet négatifs sur le moteur. Cette huile nécessite donc un raffinage et/ou un prétraitement afin d'améliorer ses propriétés surtout l'acidité et la viscosité.

Des recherches très actives sont faites sur des méthodes de raffinage et de prétraitement, comme la dilution, le traitement thermique, l'émulsion, la transestérification et la pyrolyse.

II.6. Les co-produits et valorisation

Nous voyons que tous les biocarburants ne sont jamais le seul produit de la culture qui a conduit à leur obtention : toutes les filières fournissent en même temps des tourteaux, c'est-à-dire des produits qui ne sont pas ceux recherchés mais qui ont une utilité. De façon générale, la valorisation des tourteaux est déterminante pour l'équilibre économique des filières. Dans les filières classiques, seuls les sucres et huiles sont actuellement valorisés.

Les enjeux de la recherche en matière de biocarburant consistent, d'une part, à l'amélioration du rendement de la conversion de la biomasse actuellement non utilisée, et d'autre part, à la gestion des tourteaux issus des filières actuelles. Donc les filières biodiesel génèrent un co-produit valorisable tel que les tourteaux, utilisés en alimentation animale car représentant une source très importante des protéines. Mais aussi dans la production des produits : cosmétiques, pharmaceutique, nutraceutiques, et d'autres applications [17].

II.7. Caractéristiques physico-chimiques de biocarburant [4]

➤ Viscosité

La viscosité peut être définie comme une résistance à l'écoulement, à la déformation. Chez les acides gras et les triglycérides, elle est liée à leur structure, et en particulier à la longueur des chaînes et à leur instauration :

- l'augmentation du poids moléculaire entraîne une augmentation de la viscosité ;
- l'augmentation de l'instauration entraîne, à longueur de chaîne constante, une diminution de la viscosité.

Les triglycérides sont plus visqueux que les acides gras qui les composent, les huiles raffinées seraient donc plus visqueuses que les huiles brutes.

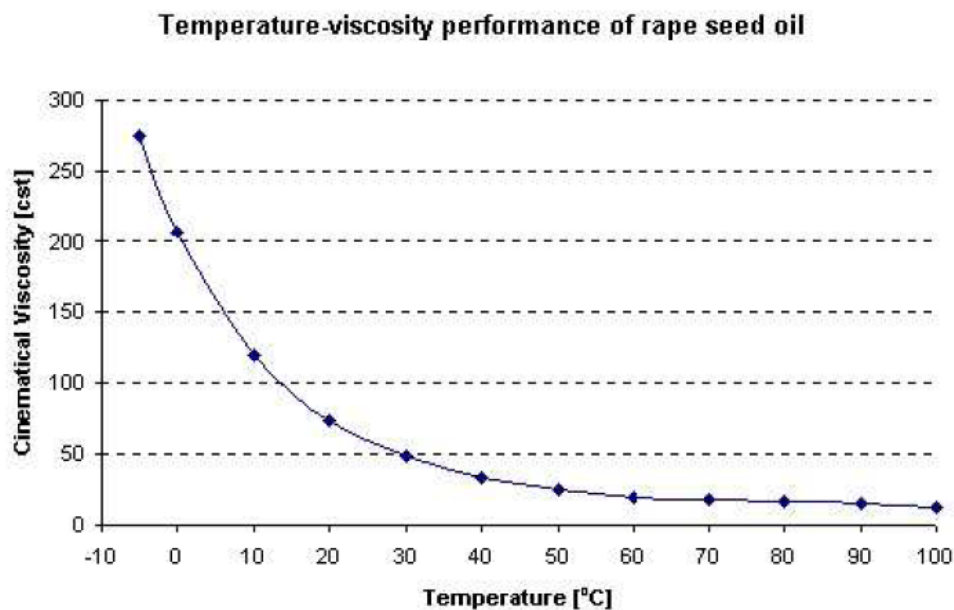


Fig.2.7 : Évolution de la viscosité en fonction de la température

➤ Densité

La densité peut être définie comme étant la masse de produit contenue dans un volume déterminé (un litre) dans des conditions déterminées.

Ainsi, pour les carburants, la température de mesure est fixée à 15°C.

La densité varie peu entre les différentes huiles végétales et animales, mais est supérieure à la celle du gazole d'environ 10 % (Tableau 2.3).

Produit	Huile de colza	Gazole	EMHV
Densité	0.915	0.835	0.860

Tableau 2.3. Densité de quelques carburants

➤ Point éclair

Le point éclair d'un liquide se définit comme la température la plus basse à laquelle la concentration de vapeurs émises est suffisante pour produire une étincelle ou d'un point chaud, mais insuffisante pour produire la propagation de la combustion en l'absence de la « flamme pilote, comme la bougie ». Les produits peuvent être classés en fonction de leur point éclair (Tableau 2.4).

Cette caractéristique est importante dans le cas d'une utilisation énergétique de l'huile (combustion plus difficile, notamment au démarrage) mais une valeur élevée de ce point éclair est synonyme de sécurité.

Le tableau ci-contre donne des exemples de valeurs de point éclair pour quelques carburants (Tableau 2.4).

Produit	Huile de colza	gazole	essence
Point éclair	316°C	70°C	-40°C

Tableau 2.4. Point éclair de quelques carburants.

➤ Pouvoir calorifique

Le pouvoir calorifique inférieur (PCI) se définit comme la quantité de chaleur dégagée par la combustion complète d'une unité de combustible, la vapeur d'eau étant supposée non condensée

et la chaleur de cette condensation non récupérée. Il s'exprime en joules par kilogramme (J/kg), même si on rencontre encore couramment des résultats exprimés en calories/kilogramme (cal/kg).

Le pouvoir calorifique supérieur (PCS) se définit comme la quantité d'énergie dégagée par la combustion complète d'une unité de combustible, la vapeur d'eau étant supposée condensée et la chaleur récupérée. Il s'exprime également en J/kg.

Cette valeur permet de comparer différents produits de nature différente, et permet de ramener, par exemple, l'ensemble des carburants sous forme de tonne-équivalent-pétrole (TEP).

Les pouvoirs calorifiques des différentes huiles végétales sont proches les uns des autres, mais inférieurs de 10 % au PCI du gazole. Cependant, en raison d'une différence de densité, le PCI des huiles végétales exprimé par unité de volume se rapproche de celui du gazole, comme le montre le tableau ci-contre (Tableau 2.5).

Produit	Huile de colza	gazole	EMHV
PCI (kJ/kg)	38 196	42 335	37 699
PCI (kJ/l)	35 140	35 350	33 175

Tableau 2.5. Pouvoir calorifique de quelques carburants.

➤ Indice de cétane

L'indice de cétane traduit l'aptitude d'un carburant pour moteur Diesel à s'enflammer dans des conditions d'essai normalisées. Cette caractéristique est particulièrement importante pour le gazole (ou les biocarburants équivalents), où le carburant doit s'auto-enflammer sous l'effet de la compression de l'air enfermé dans le cylindre.

Le zéro de l'échelle de cet indice est donné par la valeur du méthyle naphtalène qui a une forte résistance à l'inflammation, et la valeur 100 est donnée par le cétane qui s'enflamme facilement.

- Un indice trop bas provoque :
 - Des difficultés de démarrage à froid ;
 - Une augmentation du niveau de bruit.
- Un indice trop élevé (>60) :

- Réduit le bruit des moteurs mais
- Présente un mauvais rendement thermodynamique.

Aucune méthode d'essai satisfaisante n'existe actuellement pour pouvoir déterminer correctement l'indice de cétane des produits fort visqueux comme les huiles végétales et animales, car la méthode standardisée a été mise au point pour le gazole. Si ce paramètre est déterminé avec les méthodes classiques, les résultats seront inférieurs aux valeurs disponibles pour le gazole, mais la pratique montre que le retard à l'allumage se raccourcit par rapport au gazole.

Le tableau 2. 6 représente les indices de cétane pour les différents mélanges HVP / gazole, ainsi que les données relatives au gazole et à l'EMHV.

Au vu de ces résultats, le mélange 25 % HVP + 75 % gazole permet de répondre aux prescriptions adoptées pour le gazole (>49).

Produit	100% HVP	75% HVP 25% gazole	50% HVP 50% gazole	25% HVP 75% gazole	Gazole	EMHV
Indice de cétane	ND	ND	47.4	49.1	>49	49651

Tableau 2.6. Indice de cétane de quelques carburants et mélanges.

➤ Acidité

La composition en acides gras d'une huile définit les propriétés physiques de l'huile. La viscosité, le délai d'auto-inflammation, la résistance à l'oxydation dans le temps dépendent fortement de la composition de l'huile.

Généralement le taux en acides carboxyliques très élevé pour les huiles, surtout pour les huiles à base animales comme le de poisson [17]. Ceci limite l'utilisation de ces huiles directement dans les moteurs diesel ordinaires.

Les propriétés physico-chimiques des biocarburants à base huile de poisson sont regroupées dans le tableau ci-dessous avec : HBP, HP, FLé et FL représentent huiles brutes de poisson, huile de pyrolyse, la fraction légère, et la fraction lourde respectivement.

Propriété	HBP	HP	FL	FLé	Diesel
Acidité	28.4	131.1	107.3	142.5	0.5
Viscosité cinématique à 40°C	-	-	-	4.8	2-5
Densité	978.9	896.5	835.9	886.6	820-865

Tableau 2.7. Propriétés physico-chimiques du HBP, PL, FL et FLé.

La fraction lourde possède des propriétés similaires (en termes de densité et viscosité) à celles du carburant diesel ordinaire (selon les normes brésiliennes). Cependant ont observé, un taux en acides carboxyliques très élevé pour toutes les fractions analysées. Ceci limite l'utilisation de ce biocarburant dans les moteurs diesel ordinaires.

Chapitre III

Adaptation des huiles à un moteur à combustion interne

III.1 Introduction

L'usage des biocarburants n'est pas nouveau. Mais, les propriétés physico-chimiques font que les huiles soient délicates à être utilisées directement. Parce qu'en effet, son utilisation directe dans un moteur engendre une formation de dépôts de carbone dans le cylindre allant jusqu'à l'obstruction des injecteurs. L'huile attaque les matériaux à l'intérieur du cylindre, notamment le système d'injection et les composants du système d'alimentation. L'adaptation de ces huiles est donc indispensable.

Dans ce sens, de nombreuses recherches ont été effectuées et différentes technologies de raffinage et d'adaptation de l'huile ont été proposées pour rapprocher leurs caractéristiques à celles d'un gazole conventionnel. Ces technologies d'adaptation, conduisant à l'amélioration de certaines propriétés physico-chimiques (viscosité, acidité, ...) des huiles ainsi s'adapter aux moteurs sans conséquences graves, parmi lesquels : la dilution, le préchauffage, la transestérification, l'émulsion et la pyrolyse.

III.2 Adaptation des huiles à un moteur à combustion interne

Pour alimenter un moteur diesel standard avec des biocarburants, différentes méthodes de valorisation et d'adaptation des huiles végétales ont été effectuées dans divers domaines à travers le monde telles que la pyrolyse, la dilution, le traitement thermique, la microémulsion, la transestérification. Ces méthodes, conduisant à l'amélioration de certaines propriétés (viscosité, densité, acidité ...), sont applicables par divers procédés (chimique, thermique...).

III.2.1 Le préchauffage

La première tentative pour faire abaisser cette viscosité consiste à utiliser le chauffage. La figure (3.1) illustre l'effet de la température sur la viscosité cinématique de l'huile d'eucalyptus et sur celle du gazole. On remarque que la réduction de la viscosité de l'huile a pu atteindre les 88% pour un chauffage à 100°C. Néanmoins, elle reste toujours supérieure à celle du gazole.

Il est vrai que, le chauffage de l'huile permet d'abaisser sa viscosité, ce qui en facilite l'écoulement et donc son utilisation dans le moteur. Mais, si l'huile est maintenue longtemps à une température élevée, au-dessus de 90 °C, elle s'oxyde. Les huiles végétales sont sensibles au phénomène d'oxydation, qui provoque leur polymérisation et rend ces huiles inutilisables comme carburant dans un moteur. L'huile d'eucalyptus peut être utilisée après qu'elle soit chauffée et maintenue à une température de 70-90 °C pour obtenir des conditions acceptables d'écoulement de l'huile et de fonctionnement du moteur. Un système de préchauffage de l'huile peut donc être mis en œuvre en amont du système d'injection. Ceci aura le mérite de ne pas maintenir tout le volume d'huile à une température proche des températures critiques.

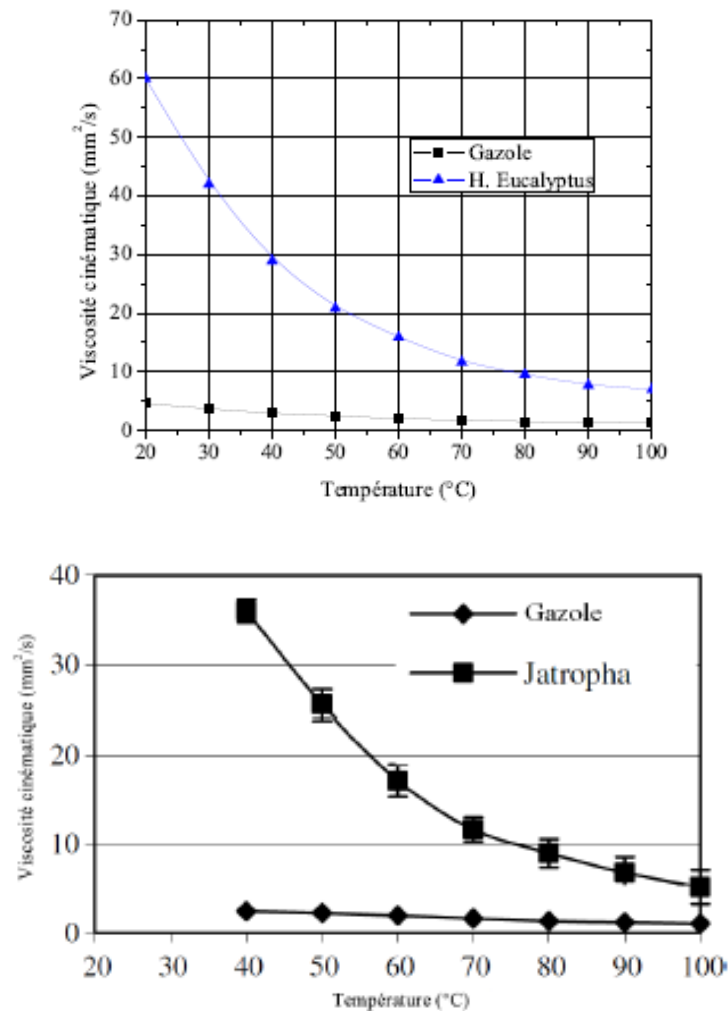


Fig.3.1. Evolution de la viscosité de l'huile en fonction de la température gazole [18, 19].

III.2.2. Dilution

La viscosité des biocarburants peut être réduite par un procédé de dilution, à l'aide du gazole (voir le tableau 3.1.) et de l'alcool, ou par un solvant. Le gazole et l'éthanol sont parfaitement miscibles dans les biocarburants en toutes proportions. Aucune modification du moteur n'est nécessaire pour le faire fonctionner avec un mélange jusqu'à 20% de biocarburant dans le gazole et les performances obtenues sont très proches de celles obtenues dans le cas du gazole [18].

Les solvants possèdent la propriété de dissoudre ou de diluer d'autres produits sans altérer ou modifier chimiquement la substance dissoute. Ils sont souvent liquides et volatils à température ambiante. Ils entrent dans la composition de beaucoup de produits, tant domestiques qu'industriels. L'adjonction de solvant à biocarburant permet de réduire sensiblement la viscosité, mais il faut des quantités souvent supérieures à 60-70% de solvant dans le biocarburant pour atteindre une viscosité de l'ordre de 3-5 mm²/s [12]. D'après la figure (3.2), la viscosité de mélange huile d'eucalyptus/butanol a été réduite considérablement à force d'augmenter la quantité du butanol dans le mélange. Pour le mélange à 35% de butanol, la viscosité mesurée à 40°C est de 12.53 mm²/s. Ce résultat montre que la viscosité est toujours supérieure à celle du gazole.

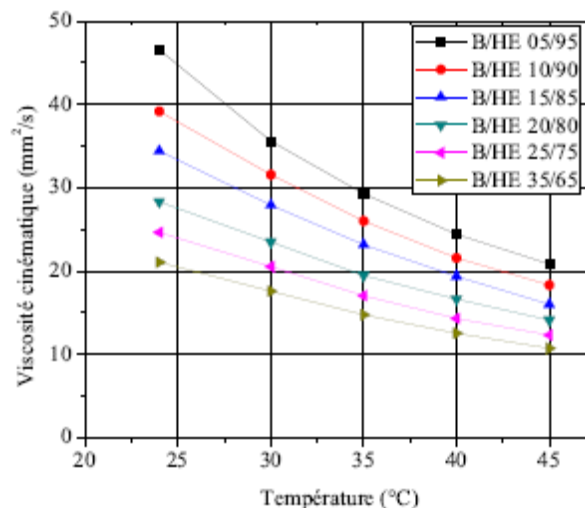


Fig.3.2. Effet de l'ajout du butanol sur la viscosité de l'huile [18].

carburant	Viscosité à 37°C (cSt)	Densité 15°C(kg /m ³)	Point d'éclair (°C)	Point de Pulvérisation (°C)	Indice de cétane
Gazole	3,46	865	71	-50	44,3
Arachide					
25%	6,60	879	-	-15	41,8
50%	12,60	892	84	-9	40,5
100%	39,51	918	328	-2	34,4
Mais					
25%	6,85	883	-	-21	42,0
50%	11,37	896	83	-21	40,0
100%	33,46	923	320	-19	34,4
Tournesol					
25%	6,40	878	-	-20	42,1
50%	10,75	894	81	-19	40,8
100%	33,46	922	320	-9	33,4
Soja					
25%	6,25	880	-	-25	43,6
50%	11,28	894	82	-19	41,9
100%	32,31	922	314	-9	41,9

Tableau. 3.1. Propriétés des mélangés d'huiles végétales avec le gazole [18, 20].

III.2.3. La transestérification [20, 21]

La transestérification est la technique classique de production de biodiesel. Il s'agit d'un procédé dans lequel les huiles végétales ou les graisses animales sont mélangées à froid à un alcool (éthanol ou méthanol) en présence d'un catalyseur (hydroxyde de sodium ou de potassium). La transformation des huiles ou des graisses en esters éthyliques ou méthyliques

permet de réduire la masse moléculaire à un tiers de celle de l'huile, de réduire la viscosité d'un facteur huit, de réduire la densité et d'augmenter la volatilité.

La revue de la littérature nous donne une large vision sur les divers catalyseurs. La catalyse peut être alcaline ou acide selon les types des matières grasses à valoriser utilisées et particulièrement selon leurs acidités.

- Les catalyseurs basiques
 - Hydroxydes, alcoolates ou savons de métaux alcalins ou alcalino-terreux (Li, Na, K, Ca, Ba, Cs, ...);
 - Amines de la famille des guanidines, par exemple.
- Les catalyseurs acides
 - Acides minéraux, HCl, H₂SO₄;
 - Acides sulfoniques;
 - Résines échangeuses d'ions (acide fort);
 - Zéolithes.
- Les autres catalyseurs
 - Alcoolates de titane, Ti(OBu)₄ par exemple;
 - Oxydes de divers métaux tels que Sn, Mg, Mo, Zn, Ti, Pb.

A l'échelle industrielle, les catalyseurs basiques sont les plus utilisés comme l'hydroxyde de potassium et de sodium. Ces catalyseurs, qui sont moins coûteux et facilement manipulables ont été employés dans la majorité des travaux d'alcoololyse avec une quantité de 0.6% en masse par rapport à la masse de l'huile usagée lorsque le méthanol est utilisé.

Les catalyseurs acides sont rarement utilisés du fait de leur moindre réactivité et des risques élevés de corrosion des installations industrielles [21].

La décomposition thermique d'une huile, qui est un ester de glycérol, en absence d'oxygène conduit à la formation de glycérol et d'un mélange d'esters.

La fabrication d'esters méthyliques et éthyliques, à partir des huiles végétales, des graisses animales, des huiles usagées ou d'autres déchets, est donnée par la réaction de transestérification suivante :

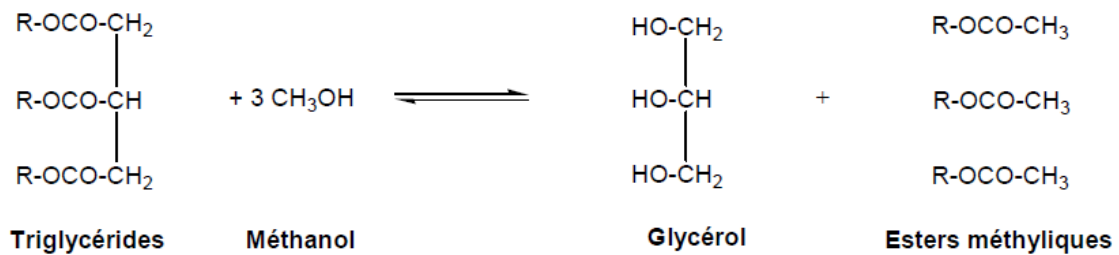


Fig.3.3. Schéma général de la réaction de transestérification.

➤ Les propriétés comparées des huiles, de leurs esters (biodiesel) et du gazole [20]

Les carburants biodiesel sont composés d'un mélange d'esters méthyliques d'huiles végétales (EMHV), contenus à des proportions variables suivant la matière première utilisée pour la synthèse du carburant.

Le tableau ci-dessous compare certaines propriétés physiques du gazole à celles des huiles et de leurs esters (EMHV) pour différents sources végétales.

On remarque que les propriétés de l'ester issu de l'huile varient en fonction de la nature de l'huile utilisée, surtout l'indice de cétane, le point trouble et le point éclair. Cependant, les propriétés des esters sont très proches de celles du gazole. Le principal intérêt de l'utilisation des esters par rapport à leurs huiles est l'abaissement de la viscosité et de la température limite de filtrabilité. En effet, la viscosité diminue de l'ordre d'un facteur de 7 à 10. Cette baisse est un atout primordial puisqu'elle permet un bien meilleure atomisation par les injecteurs et donc une bien meilleure combustion.

L'indice de cétane sert à apprécier l'aptitude à l'auto-inflammation d'un gazole sur une échelle de 0 à 100. Par rapport à l'huile, on voit que la transestérification améliore nettement l'indice de cétane. Il apparaît que cet indice augmente avec le poids moléculaire de l'acide gras ainsi qu'avec le poids moléculaire de l'alcool pour un même acide gras. En Europe, l'indice de cétane le plus faible des gazoles est voisin de 45 ; la moyenne en France est proche de 50.

Le point éclair des esters est plus élevé que celui du gazole. Cela en fait des carburants moins dangereux à manipuler que le gazole. Il est clair que les propriétés physiques changent

énormément quand on passe de l'huile à son ester correspondant. On se rapproche par la suite des propriétés du gazole. Il existe des normes européennes et américaines qui contrôlent ces propriétés chimiques et physiques.

Huile ou ester	Densité (g/ml)	La viscosité à 37.8 °C (mm²/s)	Indice de cétane	Point trouble (°C)	Point éclair (°C)	PCI (MJ/kg)
Gazole de référence	0.832	1.6-6.0	45.0	-17.8	46	35.3
Huile d'arachide	0.921	41.2	41.5	+3	237	34.1
Ester méthylique d'arachide	0.883	4.9	54.0	+5	176	33.6
Huile de soja	0.923	36.8	38.5	-4	219	34.0
Ester méthylique de soja	0.885	4.5	45.0	+1	178	33.5
Huile de palme	0.918	39.6	42.0	+31	267	35.0
Ester méthylique de palme	0.880	5.7	62.0	+13	164	33.3
Huile de tournesol	0.924	371	35.5	-5	232	34.0
Ester méthylique	0.880	4.6	49.0	+1	183	33.5

de tournesol						
Huile de colza	0.92	30.2 à 40°C	35	/	Décomposition >320	37.7
Ester méthylique de colza	0.885	44.5 à 40°C	51	/	170-180	39.96

Tableau 3.2. Propriétés physiques comparées entre les huiles, leurs esters correspondants et du gazole [20].

III.2.4 Pyrolyse [17]

Le procédé de pyrolyse est largement utilisé pour la production de charbon de bois. Historiquement, ce procédé date, au moins, de l’Egypte antiques. En effet, le goudron utilisé pour calfeutrer les bateaux de certains agents d'embaumement a été produit par la pyrolyse. Ce procédé devient de plus en plus utilisé pour la valorisation de la biomasse vu la simplicité de sa mise en place et son aspect économique viable.

La technique de pyrolyse, appelée aussi craquage thermique, est basée sur des processus de décomposition thermochimique de la matière en atmosphère réductrice en oxydants.

Le procédé de pyrolyse permet de décomposer les déchets sous l’effet de la chaleur. L’apport de chaleur nécessaire à la pyrolyse est fourni, soit par un chauffage indirect, à partir d’une source de chaleur externe (exemple : résistance électrique), soit par un apport interne (combustion d’une partie de la charge). Convertie sous l’effet de la chaleur et sous une atmosphère inerte, la matière craquée donne naissance principalement à :

- des liquides appelés huiles de pyrolyse (constituées de condensables lourds et de l’eau),
- du résidu carboné appelé aussi CARBOR (formé par du coke, des métaux ferreux et non ferreux, des sels, etc.),

- Des gaz (CO, H₂, CO₂, CH₄, C₂H₄, C₂H₆, C₃H₆, C₃H₈, etc.).

La qualité et les proportions de ces produits sont fortement tributaires des conditions expérimentales, à savoir: la température, la vitesse de chauffe, la matière première en elle même, le temps de séjour de celle-ci dans le réacteur et la pression. En effet, les huiles de pyrolyses, par exemple, se présentent avec une couleur qui peut varier entre le rouge, le rouge brun ou le vert foncé. La coloration et la texture de l'huile de pyrolyse dépendent fortement de la composition chimique de celle-ci.

Le résidu carboné (coke), issu de la réaction de pyrolyse, peut être valorisé dans des installations spécifiques (cimenteries, sidérurgie, hauts fourneaux, etc.) et peut être aussi utilisé comme combustible pour un chauffage externe de l'installation de pyrolyse.

Compte tenu du scénario énergétique actuel, la technique de pyrolyse, bien qu'elle soit encore en développement, regagne de l'intérêt comme voie de valorisation de la biomasse.

D'un point de vue expérimental, on distingue deux grands types de pyrolyse :

- la pyrolyse lente associée à des faibles vitesses de chauffe et de température (400°C à 700°C ; 10 à 20 °C/s et ~ 60min de temps de séjour), [17]
- la pyrolyse rapide associée des températures et vitesses de chauffe élevées (650°C à 850°C ; 300 à 800 °C/s et 1 à 10min de temps de séjour), [17]

Ces deux types de pyrolyse ont été largement étudiés dans des travaux antécédents parmi lesquels nous citons les travaux de Bridgwater (2003), Bridgwater et Peacocke (2000), Yaman (2004) et Brown(2003) [17].

Les recherches sur la pyrolyse sont divisées en deux principaux axes :

- les procédés non catalytiques (pyrolyse simple ou encore craquage thermique),
- les procédés catalytiques (craquage en présence d'un catalyseur).

III.2.5 Les émulsions

Les émulsions peuvent se définir comme le mélange de deux substances non-miscibles, formant une microstructure à l'aide d'un mixeur (le plus souvent le mélangeur à mouvement

axial, ou l'axe central est muni de pales de formes diverses, est utilisé). Des additifs appelés émulsifiants (tensio-actifs ou surfactants) permettent de rendre stable ce mélange. En général, ces deux substances sont un corps gras et un corps aqueux. Le corps gras est la phase continue et l'autre est la phase dispersée. L'utilisation de surfactants permet à la phase aqueuse de se disperser plus facilement dans l'autre phase, en diminuant les tensions superficielles, ce qui permet ainsi de stabiliser le mélange. Il faut préciser également la vitesse de rotation du mixeur puisque la taille des gouttelettes de la phase dispersée en dépend. En effet, plus la vitesse de rotation est grande, plus la taille des micro gouttelettes est petite. Les microémulsions se différencient des émulsions classiques tout d'abord par la taille caractéristique des particules dispersées.

Les premières études sur l'utilisation des émulsions en relation avec les carburants ont commencé par la dispersion de gouttelettes d'eau dans le gazole.

Les résultats des tests de ces carburants émulsifiés dans des moteurs à allumage par compression ont montré une nette amélioration de la combustion et une réduction significative des émissions des suies et des monoxydes d'azote en même temps, mais en ce qui concerne les émissions du monoxyde de carbone et d'hydrocarbonés, les résultats de ces études ne sont pas tous cohérents.

En 2004, Lin et al. ont mené des investigations sur l'utilisation des émulsions d'alcool dans le gazole. Ils ont trouvé que l'addition des alcools dans les émulsions améliore la combustion et augmente le rendement thermique du moteur. En effet lors de la combustion d'une émulsion dans le moteur, la température d'ébullition des gouttelettes d'eau ou d'alcool est nettement inférieure à celle du gazole, ce qui conduit à son explosion qui provoque la pulvérisation des gouttelettes de carburant (appelée deuxième pulvérisation). La deuxième pulvérisation augmente le rendement de la combustion et réduit les émissions de polluants.

D'autre part, la chaleur latente d'évaporation d'eau ou d'alcool consomme de l'énergie calorifique ce qui réduit la température maximale du cycle qui est responsable de la formation des oxydes d'azote (NOx). Dans d'autres travaux, l'émulsion a été utilisée afin de réduire la viscosité des biocarburants tels que les huiles de pyrolyse, les biodiesels et les graisses animales.

III.3. Utilisation des huiles animales dans les moteurs

L'utilisation des huiles et déchets (huiles de friture usagée, graisses animal, huiles de poissonnerie...) est très intéressante du point de vue de l'écobilan : elle n'ajoute pas de cultures supplémentaires, et évite de plus de rejeter ces huiles. Mais les sources possibles sont assez restreintes, d'autant que la collecte ne peut être praticable partout. Il existe de nombreux petits projets utilisant ces huiles. À titre d'exemple, les "Mc Donalds" français fournissent leurs 6500 tonnes d'huile de friture usagée par an à des sociétés de récupération qui s'en servent pour produire du biodiesel.

Il est tout à fait possible, après décantation et filtration à 1 micron, d'utiliser de l'huile alimentaire usagée (huile issue de fritures par exemple) comme carburant. Ces huiles sont très oxydées et ont donc une meilleure combustion. L'avantage principal de cette formule est de recycler un déchet issu de la biomasse pour produire de l'énergie, en remplacement de produits d'origine fossile.

Cependant ces huiles sont fortement acides ce qui présente un risque important à moyen terme pour le moteur. En effet l'huile moteur ("de vidange") est alcaline et le contact avec l'huile carburant (par migration vers le bas moteur des imbrulés principalement à froid) neutralise l'huile moteur et dégrade fortement ses qualités lubrifiantes ce qui peut conduire rapidement à la casse moteur. À titre de comparaison, les huiles brutes autorisées en Allemagne ne doivent pas dépasser 2 % d'acidité oléique pour cette raison alors que les huiles de friture sont entre 5 et 10 % (parfois plus), les huiles de table du commerce (sauf l'huile d'olive) entre 0,1 et 0,2 % et une huile sortie du tritrateur entre 2 et 5 % selon le traitement et le type de graine. Il convient alors de rapprocher les vidanges, d'utiliser de l'huile lubrifiante à base végétale (Biolub) ou d'ajouter un hyper lubrifiant.

De plus, cela arrange souvent les restaurateurs et autres professionnels qui ont souvent du mal à se débarrasser de leurs déchets à base d'huile et qui se feront sûrement un plaisir de vous charger de cette mission, bien que cela soit illégal en regard de la réglementation sur l'élimination des déchets qui impose l'enlèvement par un organisme déclaré en préfecture.

Cependant, cette huile usagée se trouve en quantité limitée, c'est donc une solution d'appoint mais sûrement pas une solution durable.

Dans le même ordre d'idée, quelques usines produisent du biodiesel à partir de résidus gras tels que des graisses d'abattoirs, de l'huile de poisson ou encore de l'huile de vidange. Là encore, ce sont des sources très limitées en quantité, mais leur emploi évite des pollutions locales (certains de ces déchets sont autrement rejetés dans l'environnement) et améliore quelque peu la rentabilité des industries en question.

III.4. Conclusion

Les biocarburants sont des carburants produits à partir des huiles végétales, des graisses animales et des déchets. Dans ce sens beaucoup de travaux ont été effectués dans le but de produire des dérivés des déchets à base végétales et animales ayant des propriétés et performances assez voisines de celles du diesel. On distingue quatre méthodes principales de production de dérivés d'huiles à base végétales et animales : le préchauffage, la dilution, la pyrolyse, l'émulsion et la transestérification.

Chapitre IV

Valorisation des déchets graisseux de poisson

IV.1. Introduction

La transformation des matières grasses comme biocarburant pour les moteurs diesel apparaît comme une solution intéressante pour valoriser énergétiquement les réserves en biomasses, en plus se prémunir de la diminution des réserves en énergies fossiles et de réduire les émissions de gaz à effet de serre. Cependant, l'utilisation directe de ces graisses dans un moteur provoque des problèmes de combustion et de pollution atmosphérique comme ont à été discuté dans le chapitre I. Elle risque aussi d'endommager les organes du moteur. Ces problèmes sont dus aux propriétés physico-chimiques qui ne sont pas comparables à celles du gazole. Pour rendre les propriétés des huiles et des graisses animales similaires à celles du gazole, différents procédés ont été proposés ; le plus connu étant la transestérification.

Dans ce travail, nous avons étudié la conversion de la graisse animale en biocarburant en utilisant la transestérification comme procédé de valorisation. Le procédé de transestérification, consiste à traiter la graisse animale à l'aide d'un alcool (le méthanol ou l'éthanol) pour obtenir un combustible dont les caractéristiques physiques se rapprochent de celles d'un carburant diesel ordinaire (pour plus de détails voir le paragraphe 3.2.3). A la fin du processus d'extraction par solvant, les liquides extraits à partir des déchets de poisson sont récupérés pour être analysés et adaptés par le procédé de transestérification pour utiliser comme combustible dans un moteur Diesel ID.

IV.2. Les déchets graisseux du poisson [22]

Le secteur de la pêche joue un rôle essentiel dans l'approvisionnement en denrées alimentaires des citoyens et dans le maintien de sources de revenus dans les zones côtières. En 2005, l'Union Européenne occupait la troisième place mondiale après la Chine et le Pérou en termes de la production de produits de pêche et de l'aquaculture, avec 4% de la production mondiale. 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.

Au cours du processus de fabrication des produits de pêche, les viscères, les yeux, la queue, etc. sont souvent rejetés. Différents pays ont fixé des objectifs de recouvrement de ces sous-produits dans le but d'atteindre une valorisation en matière pour usage animale. En raison des

coûts élevés engendrés par les procédés d'élimination de ces déchets, certains pays se sont proposé de les valoriser en huile plutôt que de les jeter. Toutefois, l'huile de poisson brute extraite de ces rejets pourrait fournir une source abondante, bon marché et stable de biocarburant.

IV.3. Les déchets graisseux en Algérie

L'industrie de la pêche a connu ces dernières années une croissance importante étant donné l'avancée technologique qu'a connue ce domaine. Ceci a permis de développer davantage le secteur de production d'huiles de poisson. En effet, les huiles de poisson sont de plus en plus utilisées comme denrée alimentaire dans l'industrie pharmaceutique, pour l'alimentation animale et pour l'usage technique.

Notre objectif dans ce projet est de transformer les déchets graisseux de poisson (DGP) en biocombustible ayant les caractéristiques du diesel via deux procédés : l'extraction des déchets de poisson par solvant et en suite adaptée par la transestérification. Ceci présente une alternative permettant aux industries de la pêche d'assurer une autonomie en combustible et une plus produit la farine de poisson orientée vers la nutrition animale.

IV.4. Compositions des huiles et des graisseux de poisson

Comme les huiles, ou graisses, d'origine animale et végétale, la plupart des huiles, et matières grasses, d'animaux marins sont insolubles dans l'eau, très hétérogène et constituées dans leur quasi-totalité de triglycérides. Le triglycéride, est une molécule de triesters de glycérol (figure 4.1), qui peut être valorisée et convertie sous forme liquide ou gazeuse pour la production de chaleur, de carburants liquides et de bioproduits. Les triglycérides sont formés principalement par une molécule de glycérol connectée à trois molécules d'acides mono-carboxyliques de longues chaînes appelés « acides gras ». Certains acides sont solides à la température ambiante, d'autres sont liquides. Suivant que les uns ou les autres dominent, nous aurons une graisse plus ou moins dure, ou une huile plus ou moins fluide. Les graisses couramment rencontrées sont essentiellement représentées par des acides gras saturés et insaturés comportant de 14 à 18 carbones.

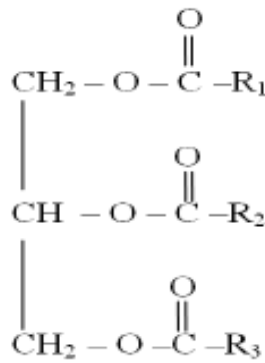


Fig. 4.1. Molécule de triglycéride [18].

IV.5. L'huile de poisson comme biocarburant

Des politiques de protection de l'environnement ont été développées dans différents pays visant à mettre au point des procédés et développer des filières de traitement des déchets de poisson. Des recherches très actives sont qui s'intéresse aux productions d'un biocarburant substitut au diesel par la valorisation des déchets agro-industriel de poisson. Nous présentons dans ce qui suit, une revue afin d'étudier la production, les performances, la combustion, et les émissions polluants engendrées des MCI alimenté par un biocarburant à base de l'huile de poisson.

La production de biodiesel par les réactions de transestérification fait objet de nombreuses études récentes. En 2008, H. M. El-Mashad et al [23] étudient la transestérification des déchets de poisson de Salamon avec le méthanol sous présence de KOH comme catalyseur. La synthèse des résultats a prouvé que la valeur d'acidité est plus grande, ce qui peut imposer des problèmes. Les résultats de cette étude confirmée par d'autres chercheurs [24].

C.Y. Lin et R.J. Li [25] en 2009, ont indiqué que leurs propriétés physiques de biodiesel à base des 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.

D'autres chercheurs se sont intéressés à l'utilisation des mélanges biodiesel à base d'huile de poisson et de diesel comme carburant. En 2010, S. Godiganur et al [26] ont effectué des essais en utilisant un ester méthylique à base d'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 l'analyse des résultats on observe une augmentation de la consommation spécifique et une diminution de l'efficacité thermique avec l'augmentation du pourcentage du 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% offraient les meilleures performances qui sont proches de celles données par l'utilisation du diesel.

En 2011, R. Behçet [27], a 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 [28].

De même, E. G. Varuvel et al [29] 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 on utilise 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 une 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 mentionné que l'huile obtenue est généralement acide, visqueux. 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 et parmi lesquels on distingue 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 graisseux de poissons, et puis l'huile extraite a été analysée afin de déterminer ses propriétés physico-chimiques.

IV.6. Extraction de l'huile des déchets de poisson en laboratoire

Dans le monde la valorisation des sous-produits 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.

L'étude expérimentale de l'extraction d'huile à partir des déchets graisseux de poissons notée DGP 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.

IV.6.1. Matière première : les déchets de poisson

Les déchets sont définis comme les parties non utilisées et récupérables lors des opérations traditionnelles de production. Les principaux déchets de poisson trouvés sont : la tête, la peau, les chutes de filetage, les arêtes centrales, les viscères, le foie et les œufs (Figure 4.2). Selon les espèces, essentiellement pour les espèces de taille importante, les foies peuvent être séparés des viscères. Pour cette étude, seuls les déchets seront étudiés. Les déchets représentent entre 30 et 60% de l'animal.

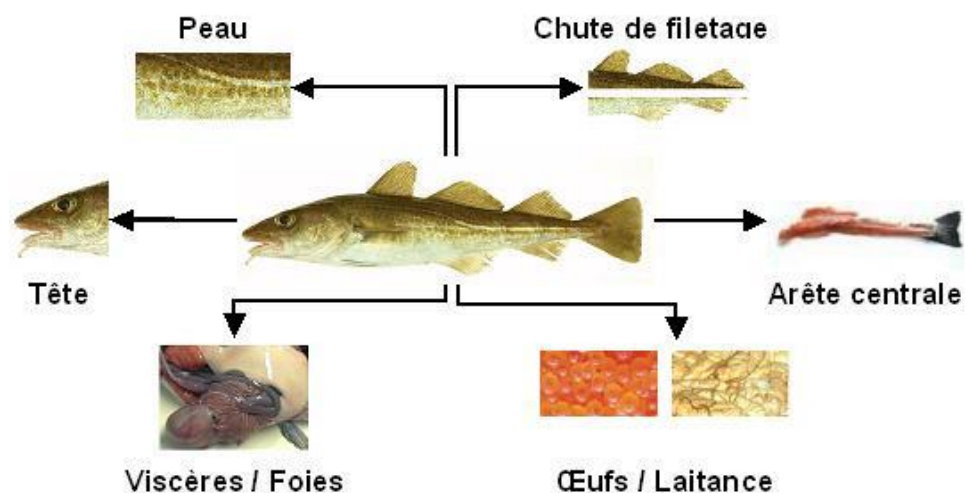


Fig. 4.2. Principaux déchets de poisson [30].

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 graisseux de poisson utilisés dans notre étude sont fournis par les restaurants et la société *Raja food* à Hassi Ameer en Oran (cet usine *Raja food* génère \approx 6-8 tonnes de déchets de poisson chaque semaine). C'est une société spécialisée essentiellement dans la production de Thon. Les déchets de Sardine et de thon sont présentés sur la figure 4.3. Les différentes étapes de production de biodiesel et de farines par le procédé de l'extraction par solvant sont schématisées sur la figure 4.4.



(a) Déchets de sardine



(b) Déchets de thon.



(c) Déchets de mélange.

Fig. 4.3. Les différents déchets de poisson.

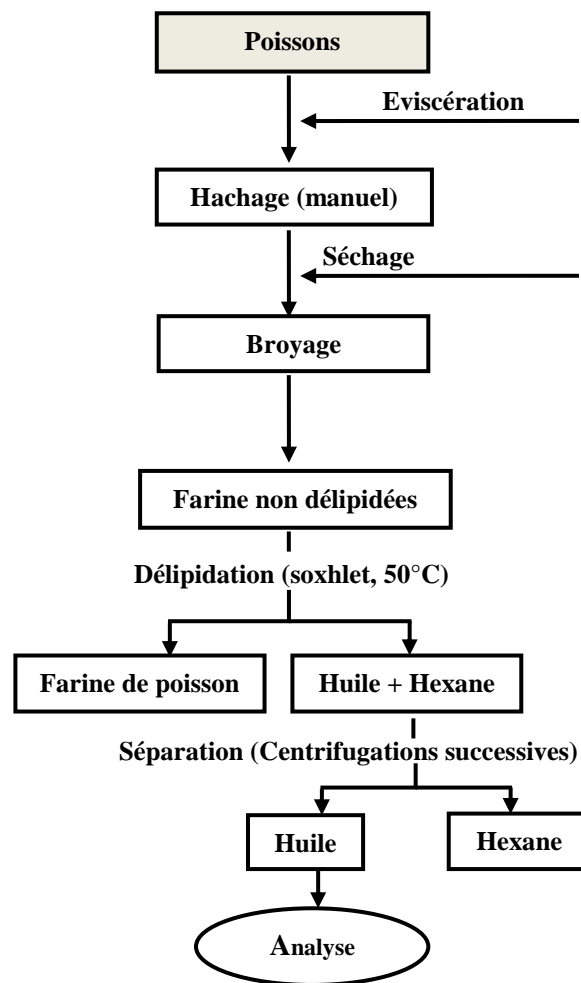


Fig. 4.4: Procédé d'obtention d'huiles et de farines de poisson.

IV.6.2. 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 [31] pour la détermination de la teneur lipidique du lait. Le système conventionnel de Soxhlet il est montré dans la figure 4.5 (pour plus de détaille sur l'extracteur Soxhlet et Evaporateur rotatif voir l'annexe I). 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 4.6. 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 ≈ 1 heure.

Après cette étape d'extraction, le solvant est séparé de l'huile à l'aide d'un roto-vapeur (figure 4.7), ce qui permet de séparée les huiles de poisson et en même temps de récupérer le solvant. Les paramètres opératoires pour l'extraction sont présentés dans le tableau 4.1.



Fig. 4.5. Extracteur Soxhlet



Fig. 4.6. Déchets de poisson
après le séchage (farine non-délipidées, cas de sardine).



Fig. 4.7. Evaporateur rotatif

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

Tableau 4.1. Paramètres opératoires pour l'extraction.

IV.6.3. Résultats et discussions

Les produits issus de cette valorisation sont : les huiles des différents déchets et la farine de poisson. Le tableau 4.2 résume les résultats d'extraction des trois échantillons des déchets de poisson exprimés en pourcentage massique.

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

Tableau 4.2. Résultats d'extraction.

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 4.8. 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.

❖ Bilan énergétique :

L'huile des déchets grasseeux de poisson notée HDGP produit par le procédé d'extraction est analysé par la détermination de leurs propriétés physicochimiques. Le laboratoire LTE est équipé de certains appareils spécifiques pour la caractérisation physiques et chimiques de cette matière produit comme le viscosimètre portable PIVI (figure 4.9, voir l'annexe II) et le densimètre portable (figure 4.10). Le tableau 4.3 illustre certaines caractéristiques physico-chimiques de l'huile obtenue après l'extraction des DGP comparativement aux normes européenne.



Fig.4.8. L'huile de poisson après l'extraction, cas de Sardine.



Fig.4.9. Viscosimètre portable.



Fig.4.10. Densimètre portable.

Propriétés	Unité	Sardine	Thon	mélange	EN 14214
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 cinématique à 40°C	mm^2/s	5.13	6.67	7	3.5 – 5
PCI	MJ/kg	40 [17]	40 [17]	40 [17]	42.5

Tableau 4.3 : Propriétés de l'huile de poisson produit.

L'huile produit HDGP 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 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 4.4.

Propriétés	Unité	Biocarburant final	Diesel [17]
Densité à 20 °C	g/cm^3	0.818	0.830
Acidité	$mg\ KOH/g\ huile$	0.2	-
Viscosité cinématique à 40°C	mm^2/s	2.97	2
PCI	MJ/kg	42.87 [17]	43.12

Tableau 4.4 : Propriétés de biocarburant produit, cas de Sardine.

❖ Le co-produit de poisson (la farine de poisson)

La farine de poisson de sardine et de mélange est les premières sources de protéines utilisées 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 voir la figure 4.11.



(a) Cas de sardine



(b) Cas de thon

Fig.4.11. La farine de poisson après l'extraction.

IV.7. Conclusion

La valorisation énergétique des déchets graisseux 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 graisseux 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 $30 \text{ mg KOH /g huile}$ et sa viscosité est entre 5 et $6 \text{ mm}^2/\text{s}$.

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.

Donc, on peut conclure que 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 l'utiliser afin de produire de petites quantités.

Abréviations

AIE	: Agence Internationale de l'Énergie.
B100	: Biodiesel pur.
CFD	: Computational Fluid Dynamics.
DME	: Di-Méthyl Ether.
DGA	: Déchets de graisse animale.
DGP	: Déchets Graisseux de Poisson.
EGR	: Exhaust Gases Recirculation.
EMHV	: Ester Méthylique d'Huiles Végétales.
EEHV	: Ester Ethylique d'Huiles Végétales.
ETBE	: Ethyle-Tertiobutyl-Ether.
EGR	: Exhaust Gas Recirculation.
ENP	: Ecole normale polytechnique.
EOLE	: Laboratoire Eau et Ouvrages dans Leur Environnement.
FAO	: l'Organisation pour l'alimentation et l'agriculture.
GTL	: Gaz Total Liquid.
HVP	: huile végétal de palme.
HBP	: Huile Brute de Palme.
HP	: Huile de Palme.
HDGP	: Huile de déchet graisseux de poisson.
ID	: Injection direct.
LTE	: Laboratoire de Technologie de l'Environnement.
Mt	: Million de tonne.
MCI	: Moteur à Combustion Interne.
PMH	: Point Mort Haut.
PMB	: Point Mort Bas.
PCI	: Pouvoir Calorifique Intérieur.
PCS	: Pouvoir Calorifique Supérieur.
SB	: Suif de Bœuf.
SS	: Saponifiables de Soja.
UE	: Union Européenne.

Conclusion générale

Conclusion

Depuis l'enchérissement des combustibles fossiles suite à la première crise pétrolière des années 1970, l'intérêt pour les sources d'énergies nouvelles et renouvelables n'a cessé de croître. A cette époque, le prix du pétrole a brusquement ; ce qui a contribué en conséquence, au freinage du développement industriel dans plusieurs pays à travers le monde. De nos jours, les perspectives des années à venir encouragent le développement de nouvelles technologies d'obtention de combustibles de substitution a partir de la biomasse pour les moteurs à combustion interne modernes.

Le présent travail a été réalisé aux deux Laboratoire de Recherche (LTE et EOLE), ces qui nous a permit d'avancer les connaissances dans le domaine de valorisation et adaptation des huiles à base végétales et animales pour utiliser comme combustible dans les moteurs à combustion interne.

La valorisation énergétique des déchets graisseux est un moyen qui peut résoudre certains problèmes environnementaux liés à la décharge de ces déchets.

- Dans la première partie de cette étude, une description générale sur les moteurs à combustion interne et les gaz polluants ont été présentés. Dans cette dernière partie on mit accent sur l'utilisation des biocarburants afin de réduire ces gaz polluants.
- Dans un second temps, nous avons présentés les différentes sources des biocarburants et des considérations générales sur les biocarburants comme : évolution et les caractéristiques des biocarburants.
- Par la suite, une présentation générale sur les différentes méthodes d'adaptation des biocarburants pour être utiliser dans les moteurs sans conséquence grave.
- Le dernier chapitre de cette étude a été consacré à la méthode d'extraction par solvant avec le Soxhlet. Tout d'abord, les caractéristiques de DGP ont été déterminées pour faire ressortir celles qu'il adapter par le procédé de transestérification pour que celle huile soit utilisée comme carburant dans le moteur.

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.

Ce travail a été effectué au niveau des laboratoires de recherche EOLE et LTE dans le cadre de la valorisation des déchets de poisson. Il est dorénavant envisagé de la développer à l'échelle semi-industrielle.

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.

Liste des figures

Fig 1.1.Chambre de combustion d'un moteur à combustion interne	4
Fig 1.2.Moteur Diesel injection directe à quatre cylindres en ligne.....	5
Fig 1.3.La culasse	6
Fig 1.4.Le piston	7
Fig 1.5.La bielle	7
Fig 1.6.Le turbocompresseur	9
Fig 1.7.Coupe d'un cylindre de moteur à injection directe	10
Fig 1.8.Coupe d'un cylindre de moteur à injection directe	11
Fig 1.9.Les quatre temps d'un moteur à allumage par compression	13
Fig 1.10.bilan à effet de serre EMHV	24
Fig 2.1.Demande mondiale d'énergie primaire (Mtep)	27
Fig 2.2.Production des différentes huiles végétales	30
Fig 2.3.Structure générale de molécules de triglycéride	30
Fig 2.4.Filières des biocarburants de première génération	35
Fig 2.5.Filières des biocarburants de deuxième génération	36
Fig 2.6.Filières des biocarburants de troisième génération	38
Fig 2.7.Évolution de la viscosité en fonction de la température	41
Fig 3.1.Evolution de la viscosité de l'huile en fonction de la température gazole	48
Fig 3.2.Effet de l'ajout du butanol sur la viscosité de l'huile	49
Fig 3.3.Schéma général de la réaction de transestérification	52
Fig 4.1.Molécule de triglycéride	62
Fig 4.2.Principaux déchets de poisson	64
Fig 4.3.Les différents déchets de poisson.	65
Fig 4.4.Procédé d'obtention d'huiles et de farines de poisson.	66
Fig 4.5.Extracteur Soxhlet	68
Fig 4.6.Les différents déchets de poisson après le séchage (farine non-délipidées).	68
Fig 4.7.Evaporateur rotatif.....	69
Fig 4.8.Viscosimètre portable.....	71
Fig 4.9.Densimètre digitale.	71
Fig 4.10.L'huile et la farine de poisson après l'extraction, cas de Sardine.....	71
Fig 4.11. Farine de DGP récupérées après extraction	73

Liste des tableaux

Tableau 1.1. Admission dans les deux moteurs	14
Tableau 1.2. La compression dans les deux moteurs.....	14
Tableau 1.3. La combustion et la détente dans les deux moteurs	14
Tableau 1.4. L'échappement dans les deux moteurs	15
Tableau 1.5. Le combustible utilisé dans les deux moteurs.....	15
Tableau 1 .6. Caractéristiques physico-chimique utiles pour un carburant, du gazole, de l'huile de colza et des EMVH	22
Tableau 1.7. Emissions de mélanges de biodiesel	25
Tableau 2.1. Performances des différentes générations des biocarburants.....	39
Tableau 2.2. Propriétés du gazole et de quelques huiles végétales.....	40
Tableau 2.3. Densité de quelques carburants	42
Tableau 2.4. Point éclair de quelques carburants.....	42
Tableau 2. 5. Pouvoir calorifique de quelques carburants.....	43
Tableau 2.6. Indice de cétane de quelques carburants et mélanges.. ..	44
Tableau 2.7. Propriétés physico-chimiques du HBP, PL, FL et FLé.....	45
Tableau 3.1. Propriétés des mélangés d'huiles végétales avec le gazole.....	50
Tableau 3.2. Propriétés physiques comparées entre les huiles, leurs esters correspondants et du Gazole	53
Tableau 4.1. Paramètres opératoires pour l'extraction.	69
Tableau 4.2. Résultats d'extraction.	70
Tableau 4.3. Propriétés de l'huile de poisson produit.	72
Tableau 4.4. Propriétés de biocarburant produit, cas de Sardine.....	73

Références bibliographiques

- [1] P. Arques, « Moteurs alternatifs à combustion interne », 2006, New York.
- [2] J.Thonom, « Moteurs à explosion », série Technique Automobile, 2006, New York.
- [3] E.Albertal, « Moteurs DIESEL », série Technique Automobile, 2006, New York.
- [4] G. Emmanuel, S. C. christophe, Les biocarburants Rhône-Alpes: Potentialités des Oléagineux et Opportunités de l'huile végétale pure, projet de fin d'étude, Lyon, 2005.
- [5] M. Diaby, compréhension des mécanismes de formation de dépôts en fond de première gorge de piston de moteurs diesel, thèse de doctorat, Ecole Polytechnique de Paris, 2009.
- [6] S. Touchard, construction et validation de modèles cinétiques détaillés pour la combustion de mélanges modèles des essences, thèse de doctorat, Institut National Polytechnique de Lorraine E.N.S.I.C. – NANCY, 2005.
- [7] H. Bennadji, Biodiesel : combustion des ester éthyliques d'huiles végétales comme additifs au pétrodiesel, Institut National Polytechnique de Lorraine, 2010.
- [8] Perspectives agricoles de l'OCDE et de la FAO 2009-2018, Synthèse, organisation de coopération et de développement économiques, 2009.
- [9] Production de biocarburants et de bioproduits, avantages et impacts pour le secteur agricole québécois, commission sur l'avenir de l'agricole et de l'agroalimentaire québécois, Rapport final, Mashteuiatsh, 2007.
- [11] D. Ballerini, les biocarburants répondre aux défis énergétiques et environnementaux des transports, édition technique, Paris, 2011.
- [12] H. Bousbaa. Performances et émissions d'un moteur à combustion interne alimenté par un biocarburant, thèse de doctorat, ENP-Oran, 2012.
- [13] M. S. Ejaz, Y. Jamal, A review of biodiesel as vehicular fuel, Renewable and Sustainable Energy Reviews 12, pp.2484–2494, 2008.
- [14] N. Mrad, F. Aloui, M. Tazerout, S. Ben Nasrallah, Valorisation des graisses animales comme biocombustibles pour moteurs diesel,
WWW.sft.asco.fr/Local/sft/dir/user3775/documents/actes/congres_2010/communications/51.pdf
- [15] M. S. Kumar, A. Kerihuel, J. Bellettre, M. Tazerout, Experimental investigations on the use of preheated animal fat as fuel in a compression ignition engine, Renewable Energy 30, pp.1443–1456, 2005.

- [16] I. Cantin, la production de biodiesel à partir des microalgues Ayant un métabolisme hétérotrophe, M.Env, Centre Universitaire de Formation en Environnement Université de Sherbrooke, Canada, 2010.
- [17] N. MRAD, Valorisation des déchets gras de poisson en biocombustible pour moteur diesel, thèse de doctorat, Ecole des Mines de Nantes, 2011.
- [18] L. Tarabet, Etude de la combustion d'un biocarburant innovant dans les moteurs à combustion interne de véhicules, Thèse de doctorat, Ecole des MINES de NANTES, 2012.
- [19] D. Agarwal, A. K. Agarwal, Performance and emissions characteristics of Jatropha oil (preheated and blends) in a direct injection compression ignition engine, Applied Thermal Engineering 27, pp.2314-2323, 2007.
- [20] HAMAD Berna, Transestérification des huiles végétales par l'éthanol en conditions douces par catalyses hétérogènes acide et basique, Thèse de doctorat, Université Claude Bernard - Lyon 1, 2009.
- [21] M. H. Hakka, Etude de l'oxydation en phase gazeuse de composants des gazoles et des biocarburants diesel, Thèse de doctorat, Institut National Polytechnique De Lorraine, 2010.
- [22] J. Dumay, extraction de lipides en voie aqueuse par bioréacteur Enzymatique combiné à l'ultrafiltration : Application à la valorisation de co-produits de poisson (*Sardina pilchardus*), Thèse de doctorat, Ecole Polytechnique de l'Université de Nantes, 2006.
- [23] H. M. El-Mashad, R. Zhang, R. J. Avena-Bustillos, A two-step process for biodiesel production from salmon oil, Biosystems Engineering 99, pp.220–227, 2008.
- [24] P. Jayasinghe, Kelly Hawboldt, A review of bio-oils from waste biomass: Focus on fish processing waste, Renewable and Sustainable Energy Reviews 16, pp.798– 821, 2012.
- [25] C.Y. Li, Rong-Ji Li, Fuel properties of biodiesel produced from the crude fish oil from the soapstock of marine fish, Fuel Processing Technology 90, pp.130–136, 2009.
- [26] 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, pp.355–359, 2010.
- [27] R. Behçet, Performance and emission study of waste anchovy fish biodiesel in a diesel engine, Fuel Processing Technology 92, pp.1187–1194, 2011.
- [28] C. Swaminathan, J. Sarangan, Performance and exhaust emission characteristics of a CI engine fueled with biodiesel (fish oil) with DEE as additive, biomass and bio energy 39, pp.168-174, 2012.

- [29] E. G. Varuvel, N. Mrad, M. Tazerout, F. Aloui, Experimental analysis of biofuel as an alternative fuel for diesel engines, *Applied Energy* 94, 2012, 224–231.
- [30] La valorisation des co-produits, fiche réaliser pour bibliomer, ifremer-V1, 2010. [http://www. Bibliomer.com](http://www.Bibliomer.com).
- [31] 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.

Annexe

Annexe I

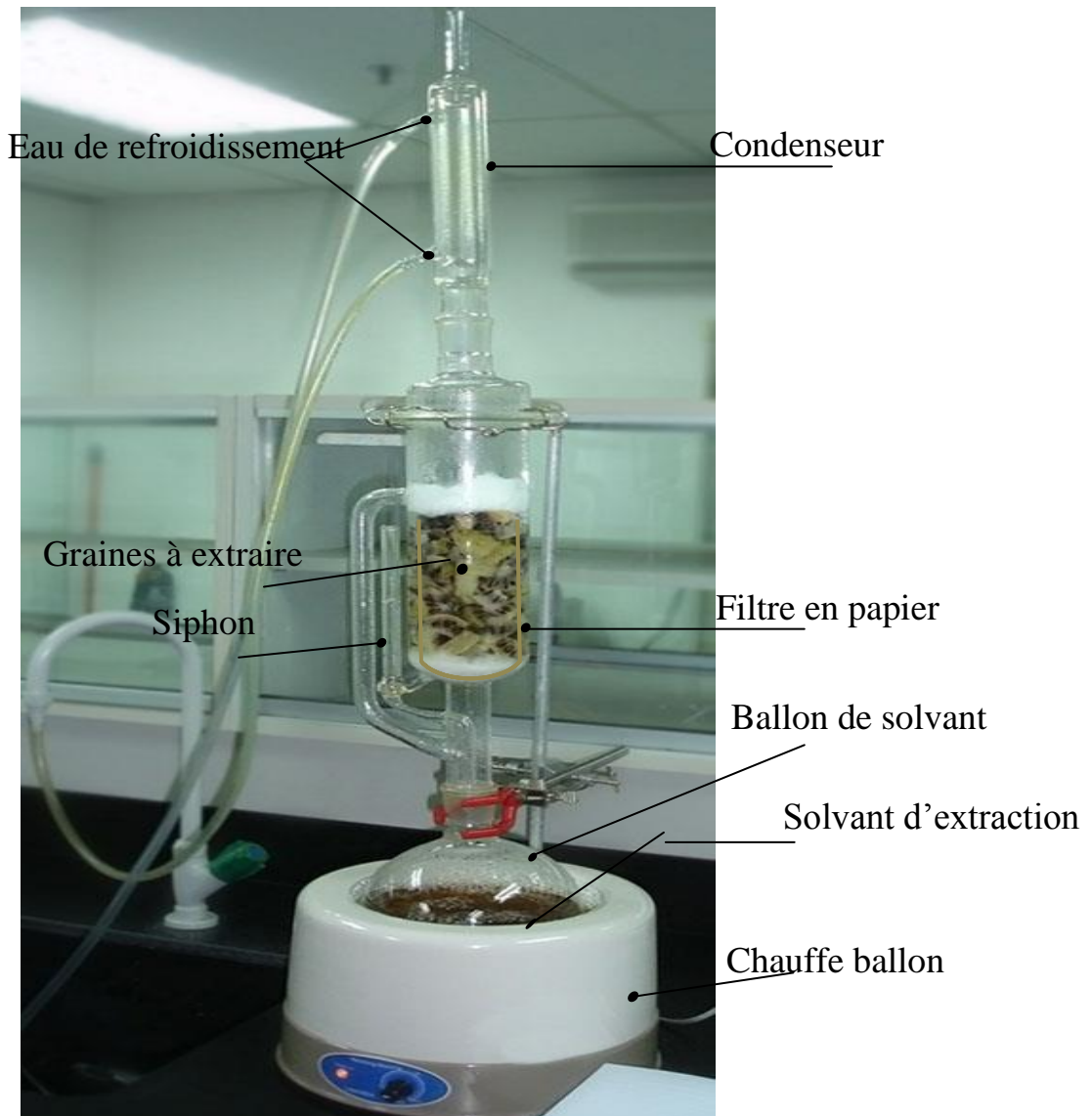


Photo de l'extracteur Soxhlet



Photo de l'appareil évaporateur rotatif.

Annexe II

Portable Viscometer

PIV2 Technical Manual



Ref : 247-07/0

Quality system certified



SOFRASER

ZI, 15 rue Nobel
45700 Villemandeur - France
info@sofraser.com - www.sofraser.com
+33 (0) 238 85 77 12 - Fax +33 (0) 238 85 99 65

2. How to use PIV2 viscometer

2.1. Advice for good measurements

- The sensor's rod must be clean and dry before measuring the sample's viscosity.
- The offset adjustment in air must be done each time you take the PIV2 in your hand.
- Check that the viscosity indication in the air is zero, If not, see § 2.3.
- Sensor's rod must be completely immersed in the fluid.

Differences between the PIV2 measurements and lab measurements can come from :

- An offset : see §2.3.
- Damage to the sensor's rod : if the rod is bent, the PIV2 sensor with its electronics must be sent back to your distributor for replacement or repair.
- Constant use of the fluid around the sensor's rod : in the case of high viscosity fluids, and if the fluid is static, the rod's motion can create a hole in the sample, giving a viscosity indication lower than the actual value.
- The fluid's rheological behavior :
In case of a non-newtonian fluid, viscosity depends on shear rate induced by the viscometer. Generally, lab viscometers induce small shear rates whereas the PIV2 shear rate is higher. In the case of a pseudo-plastic behavior (viscosity decreases when shear rate increases), lab viscometers will give a higher viscosity value than the PIV2 sensor.


2.2. Measurement information


The PIV2 sensor gives viscosity and temperature information (optional) :

- Viscosity measurement :
In standard (factory calibration), the viscosity unit is either "mPa.s" or "Pa.s" (calibrated in accordance to the customer's request).
Repeatability : ± 0.5 % Full Scale.
Viscosity ranges : from 0-100 mPa.s to 0-1000 mPa.s.
- Temperature measurement :
Pt100 Class B.
Accuracy : 0.5°C up to 100°C.

2.3. Navigation

To enter in the Menu, press on 

To move from one function to an other, press on 

To confirm, press on 


2.4. Offset adjustment

The offset adjustment in air must be done :

- Each time you take the PIV2 in your hand.
- When the viscosity indication is different from zero, and the sensor's rod is in the air.

Before starting the offset adjustment procedure, be sure that the sensor's rod is clean and dry.


To make the offset adjustment :

- Press on  in order to enter in the menu.
- When "1- Offset" is displayed, press "OK" a first time in order to calculate the offset.
- When the offset is done, press "OK" again to return in the main view.





2.5. Saving measurements

The PIV2 electronics can store up to 40 couples of measurement (viscosity and temperature).

To save data :

Press on  when you are on the main view (viscosity and temperature display).

2.6. Display the saved data

- 1- Press on  in order to enter in the menu.
- 2- Press on  to go to the function "2- Read data".
- 3- Press on .
- 4- The electronics displays the data in a loop.
- 5- Press on  to exit.

2.7. Erase data

- 1- Press on  in order to enter in the menu.
- 2- Press on  to go to the function "3- Erase data".
- 3- Press on .
- 4- The electronics displays "data erased".

3. Manufacture calibration table

Piv2 serial number : 20011

Standard oil	Temperature (°C)	Amplitude (mV)	Viscosity (mPa.s)
AIR	25.0	50	0
N35	25.4	143	54.79
S60	25.5	178	100.4
N100	25.5	215	193.6
S200	25.5	242	320.4
N350	25.7	296	576.1
S600	25.2	358	1044

OPTIONS :

Viscosity current output: Yes .

Temperature current output: No .

Date : 21.05.2012

Visa : RIR

1. General Presentation

1.1. Working principle

The sensor is a vibrating rod held in oscillation by a drive magnet. When the rod is immersed in a viscous material the amplitude of the vibration is dampened. The vibration amplitude varies according to the product viscosity where the rod is immersed. The sensor magnet detects the response and the signal is converted to viscosity through the electronics. The factory calibration is performed with standard oils. The calibration table programmed in the electronics is a conversion of the voltage signal coming from the sensor to a viscosity value (see §3).

1.2. The sensor

1.2.1. Technical characteristics

Weight :

- standard model : 1,3kg
- light sensor : 0,9kg

Material :

- body in stainless steel 316L
- handle in polypropylene

Watertightness : IP67

Operating conditions : up to 50°C

1.2.2. Practical advices

To avoid bending the rod, please use the protector (to be screwed on the sensor's head) when you move the sensor.

1.3. The electronics

1.3.1. Technical characteristics

Weight : 0,4kg

Material : ABS

Operating conditions : up to 50°C

1.3.2. Current outputs (optional)

Viscosity analog output : 4..20 mA (10 bit resolution)

Temperature output : 4..20 mA (10 bit resolution)

Connections : on rear panel, jack connectors (mono 2,5)

1.3.3. Power supply

PIV2 sensors are delivered with 4 rechargeable batteries (1700 mAh, 1.2V, HR6, Ø 14.5 x 50.5).

Autonomy of the sensor : about 8 hours with batteries.

Batteries location : on the back of the electronics box.

Optional : Battery charger 20 Vdc max., 250 mA.

DMA 35

Density Measurement on the Move

DMA 35 is the new generation of Anton Paar portable density meters, using the oscillating U-tube technology. DMA 35 measures the density and density-related values of your sample and shows the measuring results within seconds on the large display, ready for storage, printout or export to a PC.

Are you tired of cable tangles within your measuring environment? DMA 35 provides completely wireless communication with a printer or PC via the integrated IrDA interface. The product version DMA 35 Tag&Log is additionally equipped with an RFID interface for quick sample identification and convenient change of the measurement method by reading RFID tags.

Features

User-friendliness

- ▶ Compact, lightweight design enabling one-hand measurement
- ▶ Easy operation, even when wearing protective gloves
- ▶ Intuitive user interface
- ▶ Large LC display with backlight for clear visibility of results
- ▶ Measuring cell with inspection window and backlight
- ▶ Automatic backlight activation when new sample is filled

Robustness

- ▶ Rugged, leakproof housing design
- ▶ Designed for industrial and field applications
- ▶ Pump spills do not enter the instrument

Wireless communication

- ▶ Infrared data interface for data exchange with a PC and data export to a printer
- ▶ Tag&Log product version with additional RFID interface for change of measurement settings by simply reading RFID tags

Efficiency

- ▶ Storage of up to 100 sample IDs for easy sample identification
- ▶ Storage of up to 20 measuring methods
- ▶ Storage of up to 1024 measurement results including timestamp and sample ID
- ▶ Up to five programmable custom functions
- ▶ Two exchangeable 1.5 V AA batteries ensure long-term, reliable service
- ▶ Energy-saving mode is provided
- ▶ Easy and fast replacement of the entire pump assembly

Developed in cooperation with Labor für Messtechnik Dr. H. Stabinger GmbH, Graz





Product Versions

The DMA 35 standard version is the right choice for performing measurements with constant or only occasionally changing measurement settings. This basic model provides manual selection of measuring methods and sample IDs as well as wireless data exchange with printer and PC and is therefore an economic solution for general industrial and laboratory applications.

Additionally equipped with an RFID interface, the DMA 35 Tag&Log uniquely allocates RFID tags to methods and sample IDs, enabling you to quickly and conveniently change the method and sample ID automatically, by just reading the tag. DMA 35 Tag&Log is a big step forward in increasing the efficiency of your measuring process, especially when regularly measuring different samples according to different measuring units.

Applications

- ▶ Food and beverage industry
- ▶ Pharmacy and chemistry
- ▶ Electrical engineering & electronics
- ▶ Environment
- ▶ Petrochemistry
- ▶ General quality control and rapid product identification

Technical Specifications

Measuring range	Density: 0 to 3 g/cm ³ Temperature: 0 to 40 °C Viscosity: 0 to 1000 mPa·s
Accuracy	Density:** 0.001 g/cm ³ Temperature: 0.2 °C
Repeatability	Density: 0.0005 g/cm ³ Temperature: 0.1 °C
Resolution	Density: 0.0001 g/cm ³ Temperature: 0.1 °C
Operating temperature*	-10 to +50 °C
Supported measuring units	Density, Density @ reference temperature, Specific Gravity (SG), Alcohol % v/v, Alcohol % w/w, Alcohol US (°Proof), API Gravity, API SG, API Density, °Baumé, H ₂ SO ₄ % w/w, H ₂ SO ₄ @ 20 °C, °Brix, Extract (°Plato), five programmable custom functions
Data memory	1024 measurement results
Power supply	Two 1.5 V LR06 AA alkaline batteries
Sample volume	2 mL
Dimensions	140 x 138 x 27 mm (5.5 x 5.4 x 1.0 inches)
Weight	368 g (13 ounces)
Interfaces	IrDA OBEX, RFID (DMA 35 Tag&Log only)
Protection class	IP54

*Sample must not freeze within the measuring cell!

**Viscosity < 100 mPa·s, density < 2 g/cm³

Résumé

Face à l'épuisement des combustibles fossiles, les sources d'énergie renouvelable sont une nécessité au niveau mondial. Dans ce contexte, le biodiesel produit à partir des déchets de la transformation des poissons représente une source prometteuse de carburant alternatif.

Certaines compagnies travaillent depuis plusieurs années à la production et à l'utilisation de biocarburants pour les moteurs à combustion interne. Dans cette optique, ce travail présente la méthode de valorisation des déchets graisseux de poisson (extraction par solvant), les méthodes utilisées pour la caractériser et les procédés d'adaptation de ces huiles pour utilisé comme sources d'énergie pour les moteurs Diesel.

Une fois l'huile extraire caractérisée, une méthode de conversion, la transestérification est développée pour obtenir des esters méthyliques à partir de l'huile de poisson. Ces travaux d'extraction et d'adaptation ont été réalisés à l'université de Tlemcen puis à Ecole Nationale Polytechnique d'Oran.

Les résultats obtenus sont interprétés et discutés. Les propriétés physico-chimiques du biodiesel produit à savoir la viscosité, l'acidité et la densité ont été analysées. À partir de ces résultats, on constate que le biodiesel produit et le gazole présentent des propriétés semblables. Donc, dans le futur en peut tester ce biocarburant dans un moteur diesel sans grand danger.

Mots-clefs: Moteur Diesel, biocarburant, transestérification, huile de poisson.