



**UNIVERSITE KASDI MARBAH OUARGLA**



**Département de Génie des Procédés**

**Mémoire**

**MASTER ACADEMIQUE**

**Filière : Industries Pétrochimiques**

**Spécialité : Génie Raffinage**

**Préparé par :**

M. Senoussaoui Zakaria

M. Derradji Berrekbia

**Thème :**

# **Caractérisation de biodiesel à partir des huiles de friture**

Membres de jury d'évaluation :

BILAL GOUDJILLE	Président	MCA	UKMO
LATI MOKHTAR	Examineur	MCB	UKMO
AHMED TABCHOUCHE	Encadreur	MAA	UKMO
ZOUBEIDI Nawal	Co-encadreur	MAA	UKMO

Année Universitaire : 2021/2022

# Remerciement

Avant tout, nous voudrions remercier Allah Tout-Puissant qui nous à  
donner le courage

Et la volonté pour accomplir ce travail.

Nous tenons à remercier :

Notre encadreur Docteur TABCHOUCHE Ahmed, Nous exprimant mes  
plus sincères remerciements à Mr. Bilel Goudjille , Professeur au  
département génie des procédés , pour m'avoir fait honneur de présider  
le jury de soutenance. Je remercie respectueusement Mr. LATI Mokhtar  
maitre-assistant au département génie des procédés. Maître de  
Conférences (A) du Département de Génie des procédés, Faculté des  
Sciences Appliquées, Université Kasdi Merbah, Ouargla. Pour l'aide  
précieuse qu'elle nous a apportée, son soutien, ses conseils  
Et ses encouragements.

Enfin, nous tenons également à remercier nos enseignants et tous ceux  
qui ont contribué de près ou de loin à la réalisation de ce travail

# **Dédicaces**

**À MES PARENTS.**

**À MES CHERS FRÈRES ET MES SŒURS.**

**À MES AMIES ; AYMEN, SOFIANE, ISLAM,  
SOHBI, SLIMANE MERSOUT, FAROUK  
BOUNAAMA, SADEK, AZIZ, ANES ET ANIS.**

**ZERGANI ANES, LAMNIAI ABDELATIF, ZAKI  
ABBOU**

**À MES ENSEIGNANTS, MES AMIS, MES  
COLLÈGUES ET TOUTES PERSONNES AYANT  
CONTRIBUÉ À L'ÉLABORATION DE CE MODESTE  
TRAVAIL.**

# DÉDICACES

À MES PARENTS.

À MES CHERS FRÈRES ET MES SŒURS.

À MES AMIES ; ZERGANI ANES, LAMNIAI

ABDELATIF, ZAKI ABBOU

À MES ENSEIGNANTS, MES AMIS, MES COLLÈGUES ET

TOUTES PERSONNES AYANT CONTRIBUÉ À

L'ÉLABORATION DE CE MODESTE TRAVAIL.

# Sommaire

Remerciements.....	I
Dédicaces .....	II
Liste de tableaux.....	VIII
liste de figure.....	IX
liste des abreviations.....	XI
liste des abreviations.....	XI
Introduction General .....	1

## CHAPITRE I

### SYNTHESE BIBLIOGRAPHIE

I.1 Définitions.....	5
I.2.1 classification des biocarburants :.....	5
I.2.1 biocarburants de première génération :.....	5
I.2.1.1 . Filière de bioéthanol :.....	5
I.2.1.2 Filière de biodiesel :.....	6
I.2.2 Biocarburants de deuxième génération .....	7
I.2.3 les biocarburants de 3- <i>é</i> n génération : .....	7
I.3 les avantages et les inconvénients des biocarburant:.....	9
I.4 Différents types de biocarburants .....	9

## CHAPITRE II

### BIBLIOGRAPHIQUE DES HUILES VEGETALE

II.2.3 .....	
Les huiles végétales : .....	11

II.1.1 . Définition : .....	11
II.1.2 . Sources des huiles végétales .....	12
II.1.3 . Composition des huiles végétales .....	13
II.1.1.1 .....	
Paramètres physico-chimique des huiles végétales :.....	14
II.1.1.2 . Paramètres physiques : .....	14
II.1.1.2 . Paramètres chimiques:.....	14
II.1.5. Procèdes d'extraction des huiles :.....	15
II.1.5. Extraction par presse mécanique :.....	15
II.1.5. Extraction par solvants : .....	15
II.1.5. Les différents types d'huiles végétales : .....	16
II.1.1.1 Les différentes utilisations des huiles végétales .....	16
II.1.1.1 Production et consommation mondiale des huiles végétales :.....	16
II.1.1.1 Les huiles végétales commercialisées en Algérie : .....	18
III.1.1.1 La composition chimique des huiles alimentaires fabriquées en Algérie est donnée dans le tableau suivant : .....	19
II.2. les huiles végétales usagées :.....	19
II.2.1 Définition : .....	19
II.2.2 les huiles de la friture :.....	19
II.2.3 valorisation des huiles alimentaires usagées : .....	20
II.2.4 Les huiles usagées en Algérie :.....	21
II.2.1 L'impact environnemental des huiles usées :.....	22
II.1.1.2 l'air .....	22

II.1.1.2 le sol .....	23
II.1.1.2 l'eau .....	23

### **CHAPITRE III**

#### **SYTHESE DU BIODIESEL**

III.1.1.1 .....	P
roduction de biodiesel.....	25
III.1. Historique : .....	25
III.2. Considérations environnementales :.....	25
III.3. Le biodiesel comme une définition : .....	26
III.4. Les bio-sources de biodiesel : .....	27
III.5. Les caractéristiques du biodiesel .....	27
III.6. Les méthodes de fabrications du biodiésel l à partir de l’huile végétale.....	29
III.7. Production le biodiesel par transestérificaton :.....	30
III.7.1. La réaction de transestérification :.....	30
III.7.12 .....	H
istorique de la réaction :.....	30
III.7.1.3 La transestérification : .....	30
III.7.1.4 Le mécanisme de La réaction de transestérification :.....	31
III.7.15 Le mécanisme de La réaction de transestérification en cas d'une catalyse basique : .....	31
But de la réaction de transestérificaton .....	32
III.7.16 Etude de l'effet des paramètres réactionnels sur la réaction de transestérificaton : .....	32

III.7.17 Le biodiesel dans l'industrie :.....	32
III.2.1. Principe de production industrielle du biodiesel .....	32
III.2.1.1. Procédé continu :.....	32
III.2.1.2. Procédé discontinu :.....	33
III.2.2. Les applications de biodiesel : .....	34
III.2.3. Les avantages et les inconvénients du biodiesel .....	34

## **CHAPITRE IV**

### **Exprimetation**

IV. Introduction : .....	38
IV .1.Matériels et méthode :.....	38
IV 1.1. les materiels : .....	38
IV.1.2. Méthode opératoire:.....	38
IV.1.2.1Filtration d'huile usagée:.....	38
IV.1.2.2. Transestérification:.....	37
IV.1.2.2.1. préparation de la solution de soude +méthanol .....	38
IV.1.2.2.3. Chauffage:.....	38
IV.1.2.2.4. Décantation et lavage:.....	38
IV.2. Résultat :.....	40
IV.2.1. Densité:.....	40
Conclusion général.....	43
Références.....	45
Résume	

# **INTRODUCTION**

## **GENERAL**

### **Introduction Général :**

Dans notre monde, et avec le développement continu de l'industrie et des transports, la demande en énergie est en accroissement jour après jour. Le pétrole, voire tous les combustibles fossiles (charbon, gaz naturel et pétrole), fournissent actuellement la quasi-totalité de cette énergie. Or ces ressources ne sont pas renouvelables et leur consommation au rythme actuel mènera à la disparition des réserves dans quelques dizaines d'années. Le biodiesel est un carburant diesel renouvelable alternatif qui possède des propriétés comparables au diesel obtenu à partir du traitement du pétrole. Etant donné que le biodiesel est renouvelable et qu'il crée des émissions moins dangereuses lorsqu'il est brûlé par rapport à celui du diesel pétrolier, l'utilisation de ce carburant est un changement vers une "énergie durable". Le biodiesel peut être produit à partir d'huile végétale, de graisse animale ou d'organismes tels que les algues et les cyanobactéries par une réaction chimique appelée Trans estérification avec des alcools à chaîne courte. Etant donné que les huiles végétales sont actuellement la principale source de matières premières dans la production commerciale du biodiesel. **(Lang X, et al, 2001)**

Les huiles végétales jouent un rôle important dans notre alimentation quotidienne. Nous les consommons sous forme vierge, raffinée ou bien incluse dans de nombreux produits agroalimentaires. Durant cette dernière décennie, la demande et la consommation ne cessent d'augmenter sur le marché national et international en raison de la croissance démographique. **(Gomay, 2006)**

La production de biodiesel augmente afin de réduire la dépendance à l'égard du biodiesel importé. Par conséquent, une croissance importante de l'industrie du biodiesel est attendue dans les années à venir et la recherche et la technologie sur les processus de production de biodiesel seront plus élevées que jamais. La recherche menée dans le cadre de ce mémoire de fin d'étude en vue de l'obtention du diplôme de Master servira d'information pour les chercheurs et les fabricants de biodiesel. Plus de détails sur comment produire à partir de la matière première, cette étude entre dans le cadre de la production de biodiesel à partir d'huile de friture usagée deux fois.

Dans le cadre de ce travail, nous commençons le présent manuscrit, par décrire brièvement la méthodologie du plan de ce mémoire. Ce dernier est constitué de quatre chapitres, le premier et le deuxième et les troisièmes chapitres sont des synthèses bibliographiques. Nous présentons des généralités qui concernent les biocarburants, les huiles

## **INTRODUCTION GENERAL**

végétales et usagées et le biodiesel. Tandis que le dernier chapitre regroupe les calculs obtenus.

**CHAPITRE I**  
**SYNTHESE BIBLIOGRAPHIQUE**

## I.2 Définitions

Le terme biocarburants désigne les carburants liquides ou gazeux pour le secteur des transports qui sont principalement produits à partir de la biomasse. (AyhanDemirabs, 2008)

" **La biomasse** " : ce terme fait référence aux ressources non fossilisées et matière organique biodégradable provenant de plantes, d'animaux et de micro-organismes dérivés de sources biologiques. La biomasse comprend les produits, les sous- produits, résidus et déchets de l'agriculture, de la sylviculture et des solides industriels et déchet municipaux. Le terme biomasse désigne le bois, les cultures ligneuses à rotation rapide, les herbacées à courte rotation, déchets de bois, bagasse, résidus industriels, les déchets de papier, les déchets solides municipaux, la sciure de bois, les bio solides, l'herbe, les déchets de la transformation des aliments, les plants aquatiques et les déchets d'animaux provenant d'algues, et une foule d'autres, et une foule d'autres matériaux. (AyhanDemibras, 2010)

### I.2 classification des biocarburants :

Les biocarburants sont utilisés sous forme d'additifs ou de complément aux carburants fossiles suivants : gazole (incorporation en tant que biodiesel), essence au kérosène et aux carburants gazeux. On distingue trois générations de biocarburants selon l'origine de la biomasse utilisée et les procédés de transformation associés. Aujourd'hui, seule la première génération. (Rapport sur l'industrie des énergies décarbonnées. 2010)

#### I.2.1 biocarburants de première génération :

Un biocarburant dit de première génération est un carburant produit à partir de cultures destinées à l'alimentation par des techniques et des procédés relativement simples. (Abada Sabah, 2017)

Les biocarburants de première génération existent deux grandes filières de production de biocarburants :

##### I.2.1.2 . Filière de bioéthanol :

Pour la production de bioéthanol, ce sont plutôt les plantes à forte teneur en sucre (canne à sucre, betterave et sorgho...) ou encore des plantes contenant une quantité importante d'amidon (maïs, blé, pomme de terre,...). La production de bioéthanol consiste principalement à transformer les sucres ou l'amidon en alcool par fermentation alcoolique par des microorganismes qui

produisent des enzymes responsables de cette transformation. Dans le cas d'amidon, il faut passer par une étape de saccharification qui convertit l'amidon en sucres simple. Le mélange obtenu est ensuite distillé puis déshydraté pour obtenir du bioéthanol pur. (Abada Sabah, 2017)

### I.2.1.2 Filière de biodiesel :

Dans le cas du biodiesel, ce sont les cultures oléagineuses telles que le soja, tournesol, l'huile de palme qui sont transformées par un procédé chimique appelé Trans estérification qui permet de produire du biodiesel. Cette réaction chimique nécessite d'abord d'extraire l'huile de la plante ensuite la mélange avec de l'alcool et un catalyseur et le carburant qui en résulte est un ester d'huile végétale. Le méthanol comme alcool et l'hydroxyde de sodium ou de potassium comme catalyseur sont les produits les plus utilisés dans le processus chimique de Trans estérification. Aujourd'hui, la première génération des biocarburants a atteint le stade industriel mais leurs productions entre en compétition avec la production alimentaire, et donc avec la disponibilité et le cours des aliments dans le monde. (Abada Sabah, 2017)

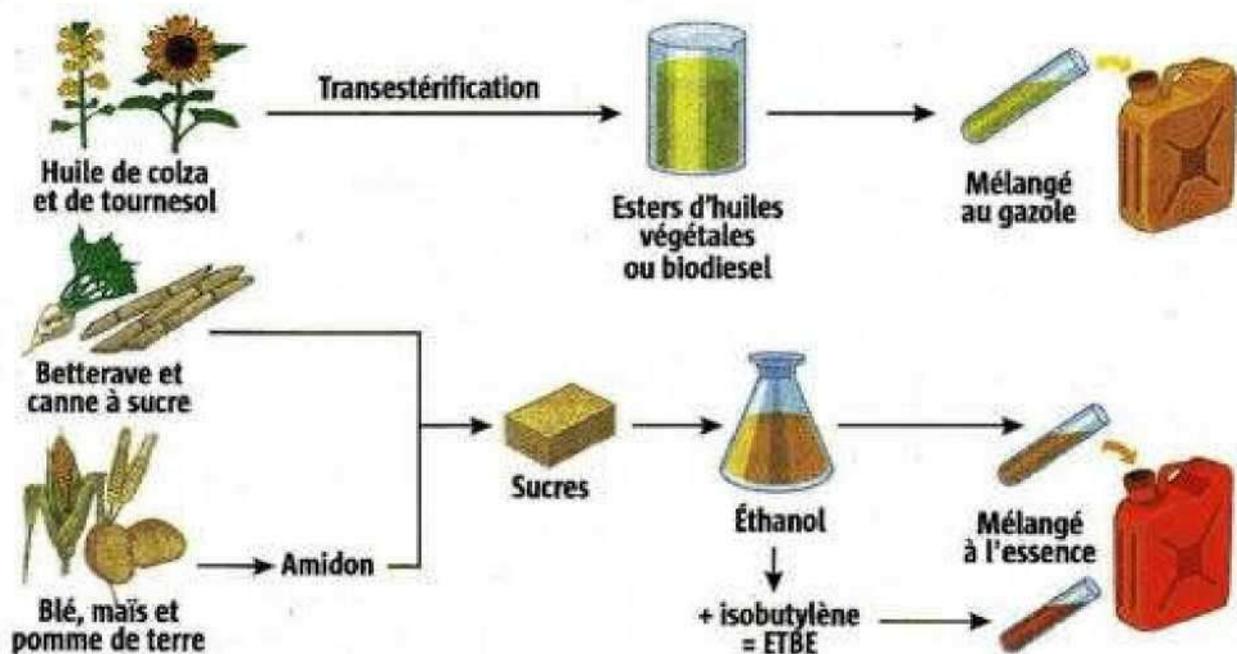


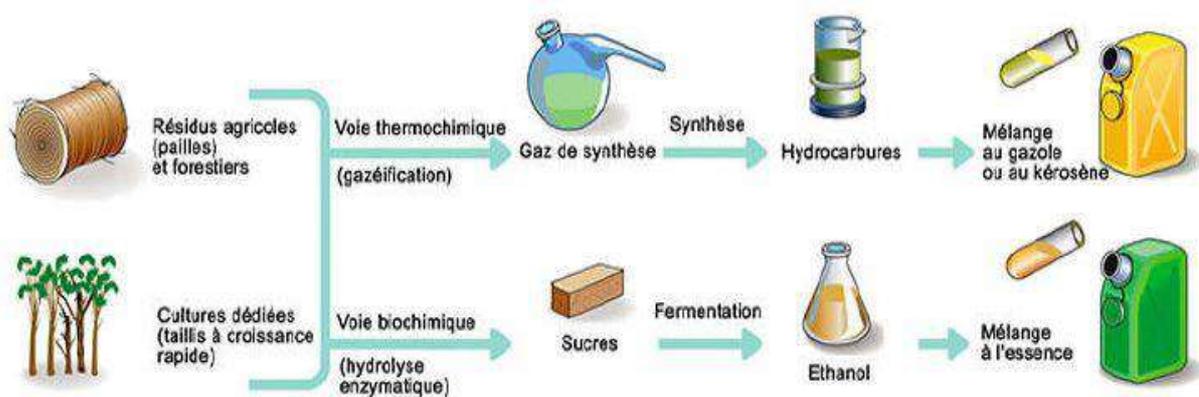
Fig.I.1 : schéma explicatif de transformation des biocarburants de première génération.

(D'après IPF d'énergies renouvelables)

### I.2.2 Biocarburants de deuxième génération :

A l'effet de pallier l'utilisation des produits alimentaires pour la production de carburant dans un environnement mondial pas très favorable, les recherches s'orientent vers de nouvelles filières, aux meilleurs rendements et sans grande conséquence pour l'environnement. **(Politique agricole de la CMA/AOC (LEPAC), 2007)**

Ces carburants sont issus de la transformation de lignocellulose contenue dans les résidus agricoles (paille) et forestiers (bois), ou dans des plantes provenant de cultures dédiées (taillis à croissance rapide). Les nouveaux procédés cherchent à améliorer le bilan énergétique en utilisant toute la plante. Pour cela les résidus de sylviculture, les déchets organiques, des cultures comme la luzerne ou le miscanthus sont exploités. **(Ballerini et Alazard-Toux, 2006)**



**FigI.2 : biocarburants de deuxième génération tirés de déchets de l'agriculture et de l'exploitation forestière (Doudou, 2007)**

### I.2.3 Les biocarburants de 3 générations :

Les micro-algues ces biocarburants sont obtenus à partir de la production de lipides ou d'hydrogène par des micro-organismes. Le soufre est un élément chimique nécessaire au processus de formation des protéines. Lorsque l'algue *chlamydomonas Reinhardtii* est privée de soufre, la photosynthèse diminue et elle met en place une autre voie énergétique : la production d'hydrogène. On peut cultiver les micro-algues avec deux procédés différents : l'utilisation d'un photo-bioréacteur ou de biomasse extérieures. Les rendements prévus sont 3 à 30 fois supérieur aux espèces oléagineuses (notamment car le taux de photosynthèse est plus

important). Les biocarburants de :

- Génération sont un enjeu énergétique important.

(Dubreuil, 2008)

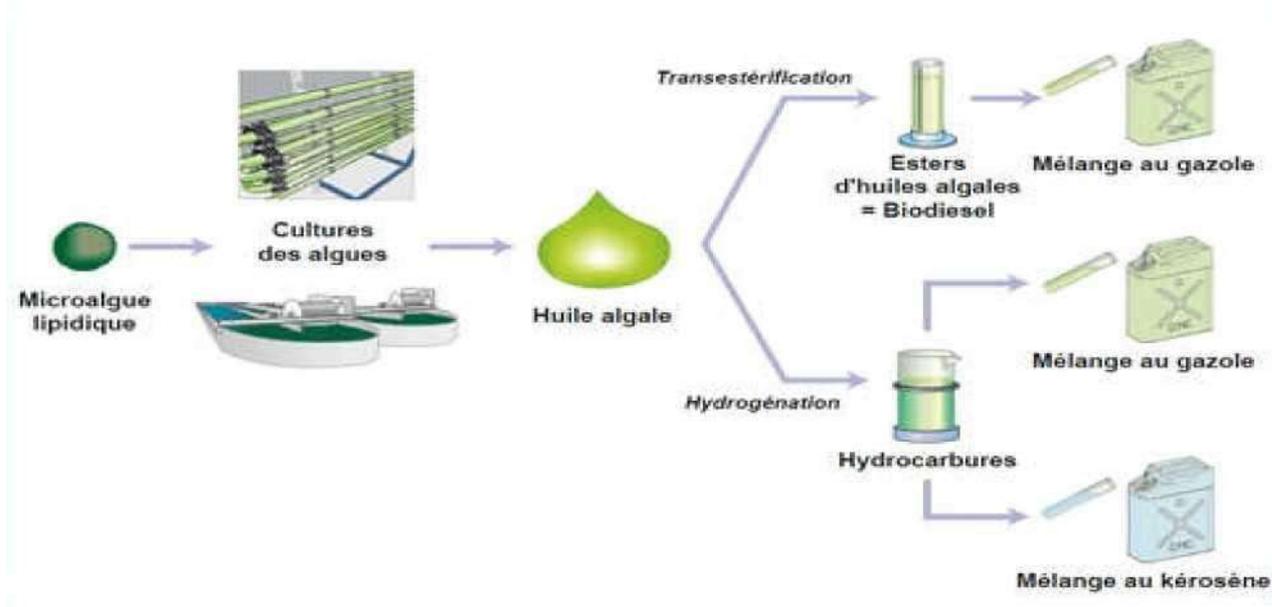


Fig.I.3 : procédé de biocarburants à partir des micro-algues lipidique

Source : Institut Français de Pétrole (2011)

La figure n°4 présente un schéma récapitulatif de la classification et de la matière première utilisée pour la fabrication de biocarburants.



Fig.I.4 : schéma récapitulatif des trois générations des biocarburants

Source : CEA (2010)

### I.3 Les avantages et les inconvénients des biocarburants :

Les avantages et les inconvénients des biocarburants se résument dans le tableau suivant

Les avantages	Les inconvénients
1- ressources renouvelables.	1- L'augmentation de la demande en biocarburants a eu pour conséquence le renchérissement des cours mondiaux des céréales et des oléagineux.
2- Limitent les émissions de gaz à effet de serre (GES) et les consommations d'énergie non renouvelable.	2- Us sont gourmands en énergie, coûteux à cultiver à collecter et à transformer.
3- Emettent moins de polluants tels que le soufre (à l'origine des pluies acides), les suites, les particules fines.	3- Ils instaurent une concurrence redoutable entre cultures énergétiques et cultures alimentaires.
4- Permettent de diversifier les sources de production d'énergie et réduire la dépendance à l'or noir et de valoriser des ressource domestique.	4- Le développement des biocarburants issus de cultures énergétiques peuvent être une menace pour les écosystèmes et les puits.

**Tableau 1.1. Les principaux avantages et inconvénients des biocarburants (touati, 2013)**

### I.4 Différents types de biocarburants

La directive CE (Directive 2003/30/CE) énoncé une liste non limitative de 10 produits qui peuvent être considérés comme des biocarburants : bioéthanol, biodiesel, biogaz, biométhanol, biodiméthyléther, bio-ETBE (bioéthyl-tertio-butyl-éter), bio-MTEBE (bio-méthyl-tertio-butyl-éter), biocarburants synthétiques, biohydrogène, et les huiles végétales pures. (Poitrat E, 2005). Les deux principaux biocarburants candidats prêt à un développement industriel sont l'éthanol (principalement utilisé en Europe sous forme d'éthyl- tertio-butyl-éter ou ETBE) et l'ester méthylique d'huile végétale (EMHV) ou biodiesel. (colonna, 2006)

**CHAPITRE II**  
**ETUDE BIBLIOGRAPHIQUE DES**  
**HUILES VEGETALES**

II.1 Les huiles végétales :

XI.1.2 Définition :

Les huiles végétales sont des denrées alimentaires (FINE & al. 2013 ; FAO, 1999) qui se composent essentiellement de glycérides d'acides gras exclusivement d'origine végétale (FAO, 1999). Ils constituent les principales matières premières bio sources pour le développement d'une nouvelle industrie chimique (BOYER, 2010) très riches en vitamines, et notamment en vitamines A, D, E et K (GHISLENGHIEN ; LEFEBVRE), Les substances à partir desquelles sont produites les huiles sont soit des graines ou des amandes soit des fruits. En fait, toutes les graines, tous les fruits et toutes les amandes contiennent de l'huile, mais seuls sont appelés oléagineux ceux qui servent à produire industriellement de l'huile et qui sont cultivés dans ce but (VAITILINGOM, 2009). Une huile végétale est extraite de la plante par pression à froid à partir de deux organes principaux, les graines et les fruits. Les plantes riches en huile sont appelées des oléagineux ou plante oléagineuses. (RAKOTORIMANA, SR, 2010) Les huiles végétales sont habituellement subdivisées en deux classes principales :

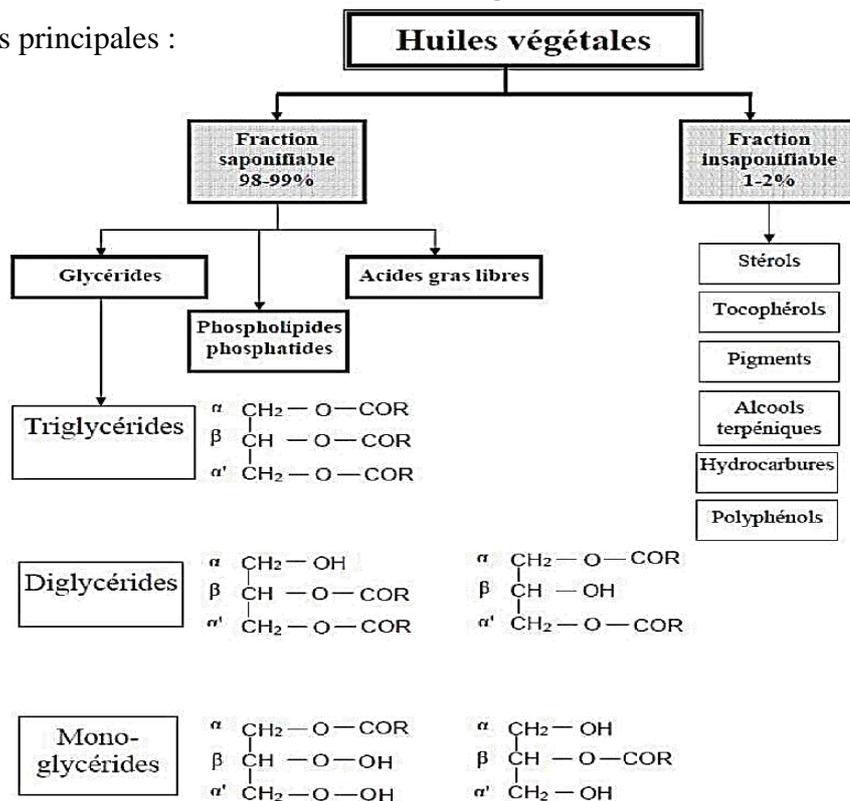


Fig. II.1 : Constituants des huiles végétales. (JAHOUACH W, 2002)

**Huiles végétales fluides :** huile d'arachide, de colza, de germe de maïs, de tournesol, de soja et d'olive

• **Huiles végétales concrètes (graisse) :** coprah (provenant de la noix de coco), huile de palme. (UZZAN A, 1992).

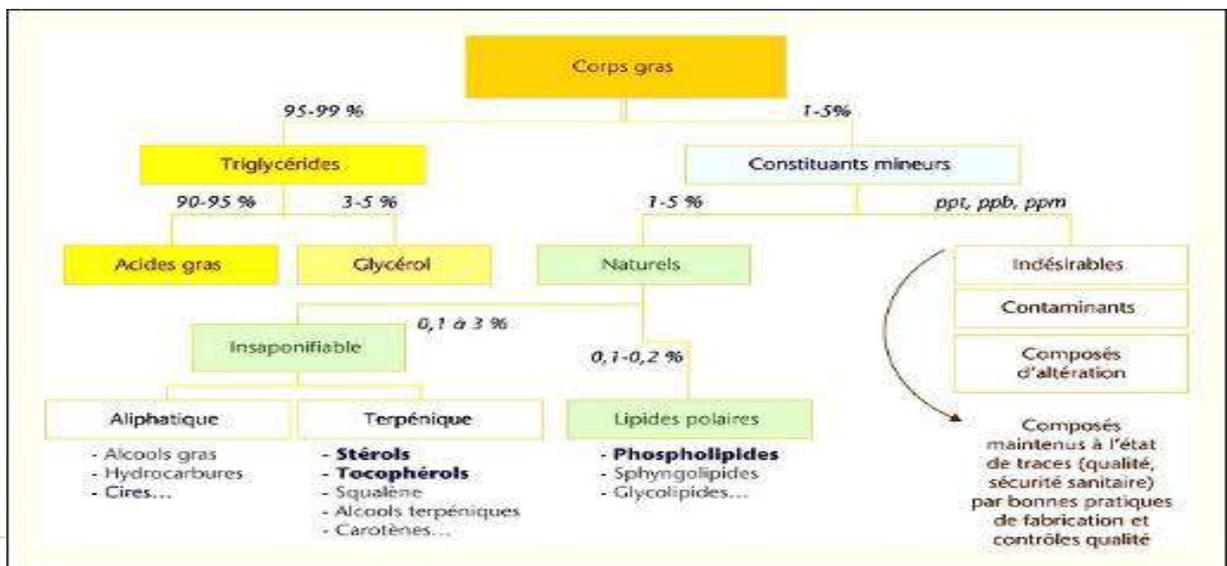
### II.1.2 Sources des huiles végétales :

En principe, toute source de corps gras peut être utilisée pour préparer du biodiesel. Cependant, certaines sources sont privilégiées plus que d'autres selon les pays.

Ainsi, aux Etats -UniSs 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-principalement l'huile de colza (Pinto. A.C, 2005)

### II.2.3 Composition des huiles végétales :

Compositions en acides gras et autres nutriments un corps gras (huile ou graisse) est composé d'une grande variété de constituants que **Fig. II.2** présente de façon panoramique ; les triglycérides **Fig. II.2** sont très largement majoritaires (95-99 %) : ils sont composés de glycérol (3-5 %) et d'acides gras (90-95 %). D'autres constituants sont naturellement présents en plus faible quantité : des lipides à caractère polaire tels que les phospholipides (0,1-0,2 %) et des composés dits insaponifiables appartenant à une fraction non glycéridique (0,1 à 3 %) principalement, représentés par les stérols et les tocophérols tocotriénols mais contenant également des caroténoïdes, des alcools terpéniques, du scalène, des composés phénoliques. (Morin, 2012).



**Fig. II.2 : Composition panoramique des corps gras et importance relative des Principales classes de composés. (MORIN, 2012)**

#### **II.1.4. Paramètres physico-chimique des huiles végétales :**

##### **II.1.4.2 Paramètres physiques :**

###### **✓ La densité :**

La densité est le rapport de masse d'un certain volume d'huile par la masse du même volume d'eau distillée .Elle doit être toujours inférieure à 1. (FORMO M.W, 1979).

La solubilité Tous les acides gras dont le nombre de carbone est supérieur à 8 sont insolubles dans l'eau et généralement solubles dans les solvants organiques tels que l'éther, le chloroforme et le benzène (FRENOT, 2001).

###### **✓ La viscosité :**

Elle dépend en grande partie de la nature du fluide et de sa température. Les huiles végétales et le gazole se comportent tous comme des fluides Newtoniens. Leur viscosité en fonction de la température évolue suivant une loi de type puissance (VAITILINGOM G, 2009).

###### **✓ Masse volumique :**

La masse volumique des huiles végétales est supérieure à celle du gazole (environ 10%). Mais cela n'a que peu d'effet sur le comportement du moteur ou du brûleur. Toutefois, le réglage du débit de carburant devra s'effectuer en prenant en compte cette différence de masse volumique et le fait de sa variation avec la température (PRYDE E.H., 1982).

##### **II.1.4.2 Paramètres chimiques :**

###### **✓ L'indice d'iode II :**

Dans toute l'analyse des graisses, c'est l'indice d'iode qui représente la constante la plus utile, exprime le degré d'insaturation d'un corps gras (ZOVI, 2009), permet de porter un premier jugement sur l'aptitude à la combustion de l'huile : plus l'indice est élevé, plus la combustion peut poser des problèmes (HAMIA, 2007).

Cet indice mesure globalement le degré d'insaturation d'une matière grasse en déterminant le nombre de grammes d'iode se fixant sur les doubles liaisons présentes dans

100g de lipides. Les matières grasses animales très saturées, ont des indices d'iode de l'ordre de 45, dans les huiles végétales, cette valeur atteint 150.

### **L'indice d'acide (IA) :**

L'indice d'acide d'un corps gras est la quantité de potasse exprimée en milligramme nécessaire pour neutraliser les acides gras libres contenus dans un gramme de corps gras (HAMIA, 2007).

C'est un dosage qui nous permet de connaître le degré d'altération de l'huile et d'estimer le taux d'acides gras libres dans l'huile exprimé en acide oléique.

### **Indice de saponification(IS) :**

L'indice de saponification correspond au nombre de milligrammes de potasse nécessaires pour saponifier les acides gras contenus dans un gramme de matière grasse. Cette valeur est d'autant plus élevée que les acides gras sont de faible poids moléculaire.

## **II.1.5 Procèdes d'extraction des huiles :**

Les méthodes les plus utilisées pour l'obtention de l'huile sont :

### **II.1.5.2 Extraction par presse mécanique :**

Toutes les presses sont équipées d'une vis, mais selon la cage de presse et la forme de la vis. On distingue : **Les presses à barreaux** **Les presses à vis.**

### **II.1.5.2 Extraction par solvants :**

Ce type d'extraction fait appel à des solvants organiques apolaires. Le solvant le plus utilisé est l'hexane (une essence issue du pétrole). (SAGUENAY-LAC-SAINT-JEAN, 2010) L'hexane est soit disant éliminé de l'huile (voir plus loin) mais en réalité, il en reste une quantité non négligeable dans l'huile que nous consommons. Cette méthode est la plus utilisée pour l'extraction des huiles végétales car elle permet de retirer plus d'huile que la méthode "pression" (BIOBELLE, 2019). L'extraction des huiles par cette technique utilise un solvant organique (comme l'hexane) chauffé à 50-60°C puis s'effectue par percolation à contrecourant du solvant pendant 4 à 5 heures (SAGUENAY-LAC-SAINT-JEAN, 2010 ; BENTHEAUD, 2011 ; ISO 9001 ; ISO 734-1, 1998).

### **II.1.5.4 Les différents types d'huiles végétales :**

Les huiles végétales son multiples de leurs origines est d'une façon général on trouve

par ordre d'importance : soja, palme, colza, tournesol, cotonnier et arachide sont les plus disponibles par contres, olives, carthame, coprah, coprah, amande, lin, maïs, courge, ricin, pistache, arganier, sésame, sont des espèces de moindre importance et sont des huiles de terroirs. (Cherfaoui, 2011)

#### **II.1.5.4 Les différentes utilisations des huiles végétales**

Les huiles végétales peuvent être de multiples usages : alimentaires, cosmétiques, pharmaceutiques et énergétique. (Girad et Blin, 2011)

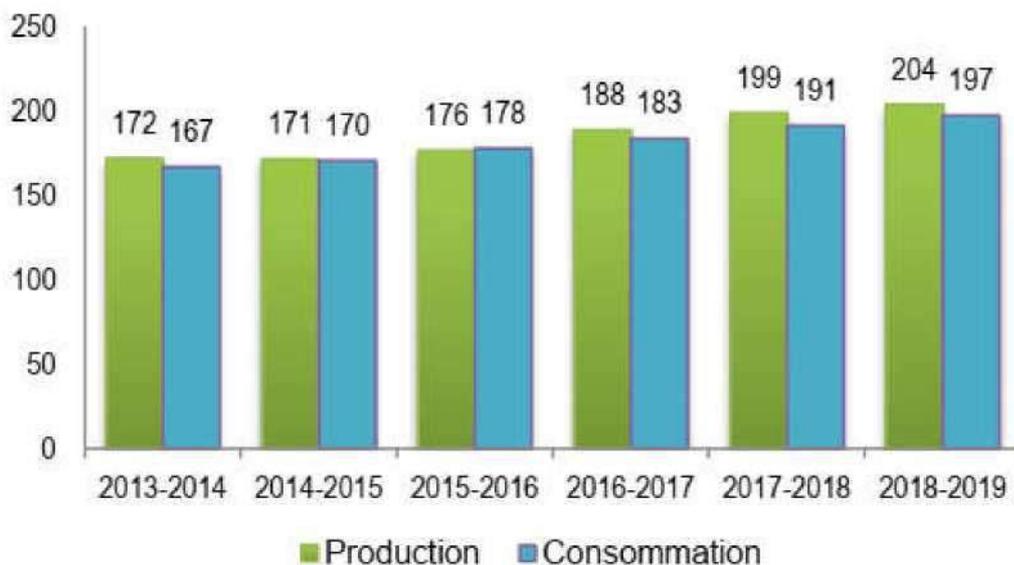
##### **Exemple**

1. l'alimentation (friture et assaisonnement)
2. cosmétique (savon et détergent)
3. pharmaceutique (produit de beauté et de crème)
4. énergétique (production d'électricité et biocarburant)

#### **II.1.8. Production et consommation mondiale des huiles végétales :**

La production mondiale des huiles végétales a été de 172 millions de tonnes en 2013 avec une croissance de 30% d'ici à 2020. Cette croissance proviendra des pays asiatique (en l'occurrence Malaisie, Indonésie et la chine), l'argentine, l'union européenne, le brésil, le canada, la Fédération de Russie et l'Ukraine.

La plupart des huiles végétales consommées sont composées d'acides gras non saturés, c'est-à-dire riches en acides gras mono-insaturés (huile d'olive, huile de canola ou de colza, huile d'arachide) ou polyinsaturés (huile de tournesol, huile de soja, huile maïs). Toutefois, certaines huiles végétales sont riches en gras saturés, en particulier l'huile de coco (91% de gras saturés), l'huile de palmiste (86%) et l'huile de palme (51%). Notamment, l'offre des huiles végétales s'est ajustée régulièrement à la demande, qui était à l'origine conditionnée par les préoccupations en matière de santé. Plus récemment, l'utilisation des huiles végétales dans la fabrication de biocarburants s'est greffée à la demande. (Julius Olatounde.2020)



**Fig.II.3 : Production et consommation mondiales des huiles végétales (Millions de Tonne). (Julius Olatounde, 2020)**

En 2018, les quatre huiles végétales qui ont dominé le marché mondiales (tant au chapitre des quantités produites que des quantités de consommées et utilisées) étaient l'huile de palme, huile de soya, huiles de tournesol, huile de canola ou de colza. Ensemble les huiles de palme et de soya ont formé un peu moins de 64% de la production globale. L'huile de colza ou de canola 14%, occupait la troisième place, suivie de l'huile de tournesol 10%.



**Fig.II.4. consommation mondiale par type d'huiles végétales en 2018. (Julius Olatounde.2020)**

En 2018, les premiers pays consommateur et utilisateurs étaient la chine (19%), les pays de l'Union européenne (14%), l'Inde (12%) et les Etats-Unis (8%). Ce classement reflète l'importance que revêtent le poids démographique et le niveau de développement industriel parmi les facteurs déterminant la consommation et l'utilisation des huiles végétales. Bien que

certains de ces pays comptent aussi parmi les principaux producteurs, le volume de leur production demeure en deçà de leur besoins nationaux. Producteurs, le volume de leurs besoins nationaux. Dans ce contexte, les exportations internationales accaparent végétales, soit environ 44% en 2018. (Julius Olatounde.2020)

### II.1.9. Les huiles végétales commercialisées en Algérie :

Il existe sur le marché algérien différentes marques d'huiles végétales alimentaires, qu'elles soient pures (huile de soja et tournesol) ou mélangées, celles-ci sont utilisées pour l'assaisonnement, la cuisson ou la friture. (Commerce république algérienne démocratique et populaire, 2012)



Fig.II.4 : Différentes huiles commercialisées en Algérie (commerce république algérienne démocratique et populaire, 2012)

### II.1.10. La composition chimique des huiles alimentaires fabriquées en Algérie est donnée dans le tableau suivant :

MARQUE	NATURE DE L'HUILE
Huile ELIO	80% Soja, 20% Tournesol
Huile FLEURIAL	100% Tournesol
Huile AFIA	95% Soja, 5% maïs
Huile HUILOR	100% Soja
Huile BONAL	100% Soja
Huile LYNOR	90% Soja, 10% Palme
Huile SAFIA	100% Soja
Huile LABELLE	100% soja

Tableau II.1. La composition chimique des huiles alimentaires fabriquées en Algérie  
Délégation régionale Franche-Comté, 2007

## **II.2. les huiles végétales usagées :**

### **II.2.1 Définition :**

Les huiles usagées toutes huiles minérales et synthétiques, lubrifiants ou industrielles, qui sont devenues impropres à l'usage auquel elles étaient initialement destinées, telles que les huiles usagées des moteurs à combustion et des systèmes de transmission. (**Diakite, 2015**)

Les huiles alimentaires usagées sont les huiles de cuisson ou de friture. Elles sont des résidus de matières grasses, principalement d'origines végétales, provenant des opérations de friture et destinées à l'alimentation humaine (industrie agro-alimentaire), ou provenant de la restauration commerciale et collective. Les huiles alimentaires usagées sont composées de matières grasses, souvent figées à température ambiante, contaminées par de l'eau et des impuretés de toute nature (papiers chiffons, résidus de viande...). (**Diakite, 2015**)

### **II.2.3 les huiles de la friture :**

On entend par huiles alimentaires usagées, les résidus de matières grasses, majoritairement d'origine végétale, utilisées lors de opérations de friture destinées à l'alimentation humaine, en industrie agroalimentaire et en restauration commerciale et collective, mais également par les particuliers. Plusieurs facteurs influencent le vieillissement d'huile, ce qui rend difficile de déterminer le moment précis pour changer l'huile. Une huile usée est d'apparence foncée, épaisse ou visqueuse, peut contenir des dépôts et peut avoir une saveur âcre. (**Rossell, 2001**)

### **II.2.4 valorisation des huiles alimentaires usagées :**

Les huiles de fritures utilisées comme matière première dans les processus de cuisson des restaurants, cantines, friteries, industries alimentaires. Les huiles de friture usagées que nous collectons sont valorisées par recyclage à partir d'un traitement de ces déchets gras. Les huiles alimentaires usagées collectées sont régénérées et transformées en matières premières destinées à la production de plusieurs produits.

La logistique de collecte des huiles végétales usées varie en fonction des sociétés qui génèrent ces produits. En effet, la plus grande partie de ces huiles provient des centres de restauration. Cependant que la qualité des huiles usées varie en fonction du type de centre dont elles sont issues.

Au niveau de la logistique, le processus de collecte est divisé en deux étapes :

- Collecte et stockage par les centres qui ont utilisé l'huile végétale pour leur activité.
- Collecte et transport de ces huiles jusqu'aux entreprises responsables du traitement.

En règle générale, les huiles alimentaires usées sont entreposées dans des récipients métalliques ou en plastique munis de couvercles (des fûts d'huiles propres et désinfectés), afin d'éviter toute pollution due à d'autres particules ou composés. **(Synergie santé Environnement, 2019)**



**Fig.II.5 : Cycle des huiles végétales. (Synergie santé Environnement, 2019)**

### II.2.5 Les huiles usagées en Algérie :

On distingue deux types d'huiles usagées :

- Les huiles noires qui comprennent les huiles motrices (essence et gasoil) et les huiles industrielles (huiles de trempe, de laminage, de tréfilage)
  - Les huiles claires provenant des transformateurs, des circuits hydrauliques et des turbines
- Au plan national, le marché est de l'ordre de 150.000 tonnes par an, se répartissant comme suit :
- ✓ Huiles moteurs 75%,
  - ✓ Huiles industrielles (ateliers, entreprises industrielles) 19%

- ✓ Graisses et paraffines 3%
- ✓ Huiles aviation et marine 3%
- ❖ Plusieurs activités sont susceptibles de produire des huiles usagées. On peut citer notamment :
  - ✓ Les garages, concessionnaires, stations de vidange, stations-service
  - ✓ Les transports (routiers, fluviaux, aériens, ferroviaires)
  - ✓ Les usines, ateliers, entreprises industrielles
  - ✓ Les entreprises traitant des déchets contenant des huiles usagées (cas de la démolition automobile, du traitement de filtres à huiles, d'emballages souillés par des huiles,...)
  - ✓ Les huiles usagées ne sont pas biodégradables, elles sont classées dans la catégorie des déchets spéciaux dangereux. Leur rejet dans la nature est strictement interdit. Elles peuvent engendrer une détérioration importante du milieu naturel, qui peut être traduit par une pollution de l'eau, du sol et de l'atmosphère : Un (01) litre d'huile usagée peut contaminer 1 million de litres d'eau.

Particulièrement, les huiles de vidange contiennent de nombreux éléments toxiques tels que les métaux lourds (plomb, cadmium.). (Ministère de l'Aménagement du Territoire et de l'environnement, 2010)



**FigII.6 : L'huile usée en Algérie. (Ministère de l'Aménagement du Territoire et de l'environnement, 2010)**

## II.2.5 L'impact environnemental des huiles usées :

### II.2.5.1 l'air

Les huiles de friture usagées n'ont pas beaucoup d'influence sur l'air sauf lorsque ces huiles sont mélangées ou jetées avec les déchets ménagers et incinérées à l'air libre, ce qu'il peut engendrer des rejets atmosphériques polluants. (Site : [amélioré ta sante.com](http://ameliore-ta-sante.com))

### II.2.5.2 le sol

Lorsqu'elles sont déversées dans la nature elles influencent le sol en modifiant sa composition chimique ce qui peut rendre ce sol non fertile à long terme. (Site : [amélioré ta sante.com](http://ameliore-ta-sante.com))

### II.2.5.3 l'eau

L'huile est nature nuisible et provoque :

- L'huile est moins dense par rapport à l'eau dont elle va flotter et rester à la surface en formant une sorte de couche ou pellicule imperméable l'oxygène de pénétrer, asphyxier alors la flore et la faune aquatique.
- Une partie de cette huile adhère aux branchies et à la peau des poissons ce qui perturbe leur mode de vie. (Site : [amélioré ta sante.com](http://ameliore-ta-sante.com))

**CHAPITRE III**

**SYTHESE DU BIODIESEL**

### III. Production de biodiesel

#### III.1 Historique :

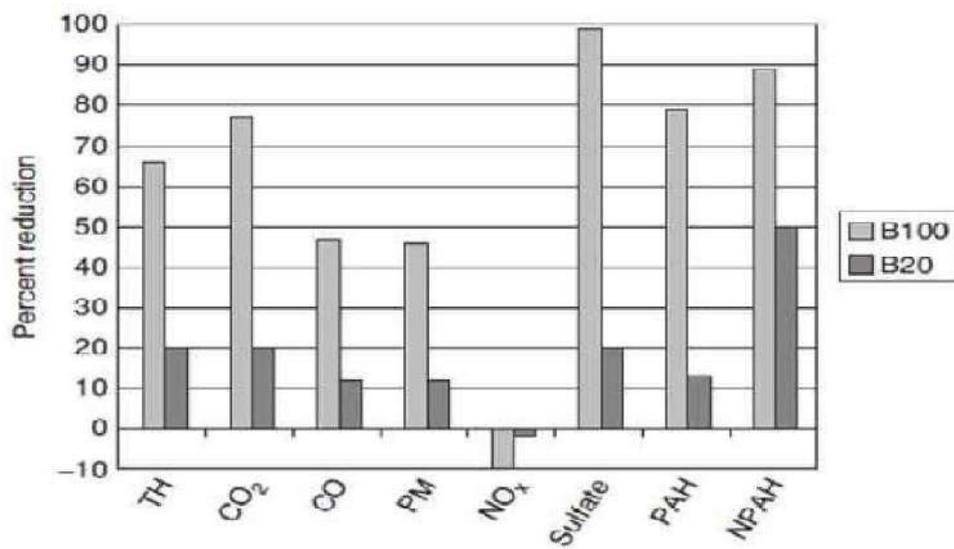
Lors de l'exposition universelle de Paris en 1900, l'un des cinq moteurs diesel exposés fonctionnait à base d'huile d'arachide (**Knothe, 2005**), et ce fut la première utilisation avérée d'une huile végétale en guise de gazole. Le gouvernement français de l'époque s'intéressait d'ores et déjà à une source d'énergie locale pour ses colonies africaines, comme l'affirmait Rudolf Diesel (1858 - 1913), l'inventeur du moteur qui porte son nom, dans certains de ses écrits. L'idée répandue selon laquelle Diesel avait inventé le moteur spécialement pour l'utilisation des huiles végétales en guise de carburant est donc fautive. L'objectif principal de Diesel était de développer un moteur plus efficace, tel qu'il l'avait annoncé dans le premier chapitre de son livre de 1913, intitulé *Die Entstehung des Diesel Motors* (Emergence du moteur Diesel). En revanche, Diesel a mené des expériences ultérieures en utilisant les huiles végétales en guise de carburant (**Ching et al, 2008**).

De nos jours, avec un objectif environnemental, ces huiles reviennent à gagner de l'importance principalement sous forme de biodiesel (**Knothe et Razione, 2017**). Le terme biodiesel était probablement utilisé d'abord vers 1984. La production commerciale de biodiesel a commencé au début des années 90 et la première norme pour le biodiesel a été publiée en 2001, l'ASTM D6751. (**Meisam Tabatabaei, 2019**)

#### III.2 Considérations environnementales :

Ce qui rend le biodiesel intéressant, c'est sa réduction éventuelle, jusqu'à 80%, des Gaz à Effet de Serre (GES) émis durant la phase production /traitement de son cycle de vie en comparaison avec les émissions produites par le pétro-diesel.

Egalement, on signale que les émissions provenant de combustion du biodiesel sont moins dangereuses pour la santé humaine. On constate une baisse qui atteint jusqu'à 100% d'anhydride sulfureux (dioxyde de soufre), 48% de monoxyde de carbone, 47% de matières particulaires, 67% des hydrocarbures imbrulés et jusqu'à 90% de mutagénicité. (**Dunn, 2003**)



**FigIII.1 : Pourcentage de réduction de l'émission de polluants du diesel et le mélange de 20% du Biodiesel avec 80% de diesel (B20) (Mittelbach, 2006)**

### Analyse des figures et discussion

[TH : hydrocarbures totaux, CO<sub>2</sub> : gaz carbonique, CO : monoxyde de carbone, PM : matières particulaires, NO<sub>x</sub> : oxydes d'azote, PAH : hydrocarbures polycycliques, NPAH : nitrates d'hydrocarbures polycycliques].

On pourrait dire que la réduction du dioxyde de carbone à 78% revêt une importance majeure, puisqu'il est le principal gaz à effet de serre dans les modèles climatiques. Il a été démontré que le biodiesel possède une plus haute biodégradabilité par rapport au carburant diesel à basse teneur en soufre. Ils ont aussi prouvé que l'ajout du biodiesel au carburant diesel favorise de la biodégradabilité de ces carburants, et rend ce mélange plus attrayant pour l'environnement. (Mitteblach, 2006)

### III.3 biodiesel:

Le biodiesel est un biocarburant liquide alternatif au carburant diesel à base de pétrole classique (pétro-diesel). Pour l'environnement (MOSER, 2009), obtenu par des procédés chimiques à partir d'huiles végétales ou de graisses animales et un alcool qui peut être utilisé dans les moteurs diesel, seul ou en mélange avec du carburant diesel (KATZ, 2012). C'est un combustible renouvelable produit à partir des huiles végétales ou de graisses animales par une réaction de **transestérification** des triglycérides contenus dans ces matières grasses, généralement avec un alcool léger (méthanol, éthanol). Il est biodégradable et permet de diminuer les émissions à effet de serre et de matières toxiques. (Meher, 2006)

### III.4 Les bio-sources de biodiesel :

De nombreuses ressources peuvent être utilisées comme matière première pour la production de biodiesel. Ces ressources proviennent principalement des plantes en particulier et des animaux en général. Selon la disponibilité et la production, la matière première pour le biodiesel peut être classée en trois catégories principale : plantes oléagineuses, graisses animales et huile de cuisson recycle. (**Mushtaqet al, 2013**)

Les huiles végétales sont des matières premières prometteuses pour la production de biodiesel, car elles sont renouvelables dans la nature, peuvent être produits à grand échelle et sont respectueux de l'environnement sympathique (**Patil et Deng, 2009**). Les huiles végétales comportent les huiles comestibles et non comestibles. Plus de 95% de la matière première de production de biodiesel provient d'huiles alimentaires, car elles sont principalement produites dans de nombreuses régions et les propriétés du biodiesel produit à partir de ces huiles peuvent être utilisées comme substituts du carburant diesel. (**Gui, Lee, et Bhatia, 2008**)

### III.5 Les caractéristiques du biodiesel :

Les propriétés physicochimiques du biodiesel présentant le plus grand intérêt sont :

Le point éclair (Pe ; flash point), le pont de trouble (PT ; cloud point), le point d'écoulement (PE ; pour point), la viscosité cinématique, l'indice de cétane (IC), l'indice d'acide, la teneur en cendres sulfatées, les résidus de carbone, les teneurs en ainsi qu'en sédiments, le glycérol libre et le glycérol total, la température limite de filtrabilité, la corrosion à la lame de cuivre, la stabilité à l'oxydation et la masse volumique. (**Fernando S, 2007**)

#### a) La viscosité ;

La viscosité augmente avec le nombre de carbone et diminue avec le degré d'insaturation. Une grande viscosité cinématique créerait des problèmes dépôts dans le moteur (**Knoth, 2005**). La transestérification favorise donc une diminution de la viscosité d'huile à des valeurs généralement comprises entre 4 et 6 mm<sup>2</sup>/s. (**National renewable Energy laboratory, 2009**)

#### b) Le pouvoir calorifique :

Le pouvoir calorifique indique représente la quantité d'énergie par unité de masse ou de volume de carburants lors de la réaction chimique de combustion complète conduisant complète conduisant à la formation de CO<sub>2</sub> et de H<sub>2</sub>O.

Le carburant est pris, sauf mention contraire à une température de référence,

généralement 25°C. L'air et produits de combustion sont considérés à cette même température. (Ya Sanghare, 2008)

**c) Le point trouble et le point d'écoulement :**

Les propriétés d'écoulement à froid sont des paramètres importants lors de la production de biodiesel pour les pays nordiques comme le Canada et pourraient être évaluées par le point trouble et le point d'écoulement. La diminution de la température pourrait conduire à la formation de cristaux visible ( $d > 0.5 \mu\text{m}$ ) dans le biodiesel à une limite de température appelée point trouble (Knoth, 2005). La température du point trouble diminue avec la fraction molaire de composés non saturés et augmente légèrement avec la longueur de la chaîne carbonée (Imahara H, 2006). Le point d'écoulement est défini comme la température à laquelle le biodiesel ne coule plus. Habituellement, les points de trouble et d'écoulement augmentent en fonction du rapport volumique de biodiesel dans le carburant pétro-diesel. (National Renewable Energy Laboratory, 2009)

**d) L'indice de cétane :**

L'indice de cétane est un indicateur de qualité de rallumage d'un carburant qui augmente avec le nombre de carbone et diminue avec le nombre de liaisons de carbone insaturées (Hart Energy Consulting, 2007). Par un indice de cétane du biodiesel avec une insaturation élevée comme le biodiesel issu des micro-algues aurait un indice de cétane plus faible que celui du biodiesel saturé. Selon nos connaissances, aucune mesure de l'indice de cétane du biodiesel des micro-algues n'a été effectuée. Cependant, certaines études ont estimé l'indice de cétane de nombreuses espèces de micro-algues en fonction de leur teneur en FAME (Fatty Acide Methyl Ester) et ont trouvé des valeurs variant de 39 à 54, tandis que l'indice de cétane du carburant pétro-diesel se situe entre 47 et 51. (Stanell G.R, 2012)

**e) L'oxydation :**

L'oxydation du biodiesel pourrait se produire lorsque les FAME sont en contact avec l'oxygène et sont transformés en hydrogénéperoxydes, aldéhydes, acide et autres composés oxygénés, ce qui pourrait former des dépôts dans le moteur (Knoth, G, 2005). L'oxydation du biodiesel augmente en fonction du degré d'insaturation. (Hart Energy Consulting, 2007)

**f) Le pouvoir lubrifiant :**

La définition de la lubricité du diesel est influencée par sa viscosité, son acidité, sa teneur en eau et les composés soufrés (**Seregin E.P.A.A, 1975**). Même avec des additifs, le frottement mesuré (pas d'unité déclarée) du biodiesel (0.114 et 0.117) est inférieur à celui du diesel (0.238 et 0.210) pour les températures de 25 et 60°C. (**Knoth, G, 2005**)

**g) Glycérine libre :**

Le glycérol libre désigne la quantité de glycérol restant dans le biodiesel fini. Le glycérol est essentiellement insoluble dans le biodiesel, de sorte que presque tout le glycérol est facilement éliminé par décantation centrifuge. Le glycérol libre peut rester soit sous la forme de gouttelettes en suspension, soit sous forme de la très petite quantité dissoute dans le biodiesel. L'alcool peut agir comme Co-solvant pour augmenter la solubilité du glycérol dans le biodiesel la plupart de ce glycérol doit être éliminé pendant le processus de purification. Le carburant lavé à l'eau est généralement très faible en glycérine libre, surtout si l'eau chaude est utilisée pour lavage. Le biodiesel distillé tend à avoir un problème plus important avec du le glycérol libre dû au report du glycérol pendant la distillation. Le carburant avec du glycérol libre excessif aura généralement un problème avec le glycérol se déposant dans les réservoirs de stockage, créant un mélange très visqueux qui peut boucher les filtres de carburant et causer des problèmes de combustion dans le moteur. (**Rossell J.B, 2001**)

**III.7 Les méthodes de fabrications du biodiesel I à partir de l'huile végétale :**

La possibilité d'employer les huiles végétales comme carburant a été accréditée dès la première utilisation des moteurs diesel. L'huile végétale possède une haute viscosité pour être utilisée dans les moteurs diesel existants, et remplacer immédiatement le mazout. Il existe plusieurs méthodes visant à réduire la viscosité de l'huile végétale ; la dilution, le micro-émulsif cation, la pyrolyse, et la transestérification en sont les quatre techniques appliquées. Il faut noter que la dernière méthode, la Transestérification en l'occurrence est la plus fréquente, car elle permet d'obtenir des produits bien définis. La transestérification avec du méthanol donne trois molécules d'ester méthylique, et une molécule de glycérol à partir d'une molécule de triglycéride, et de trois molécules de méthanol (**Juliette C et al ,2002**)

### III.7 Production le biodiesel par transestérification :

### III.8 La réaction de transestérification :

### III.9 Historique de la réaction :

La transestérification des triglycérides n'est pas un processus nouveau. Elle date dès 1853 lorsque Patrick et Duffy ont mené cette réaction beaucoup d'années que le premier moteur diesel soit fonctionnel.

Cette réaction a été l'objet de recherches intensives ou PET dans l'industrie polymères, la synthèse des intermédiaires pour l'industrie pharmaceutique, le durcissement des résines dans l'industrie de peinture et dans la production du biodiesel en tant que alternatif du diesel. (Hamad Berna, 2009)

#### III.7.1.2. La transestérification :

Transestérification consiste en la réaction d'un alcool et des ester gras pour former des esters de cet alcool et de glycérine. Les esters gras sont constitués de triglycérides solides à température ambiante dans le cas des graisses ; et liquides à température ambiante dans le cas des huiles. La réaction de transestérification peut s'écrire. (Machine Amrani, 2007)

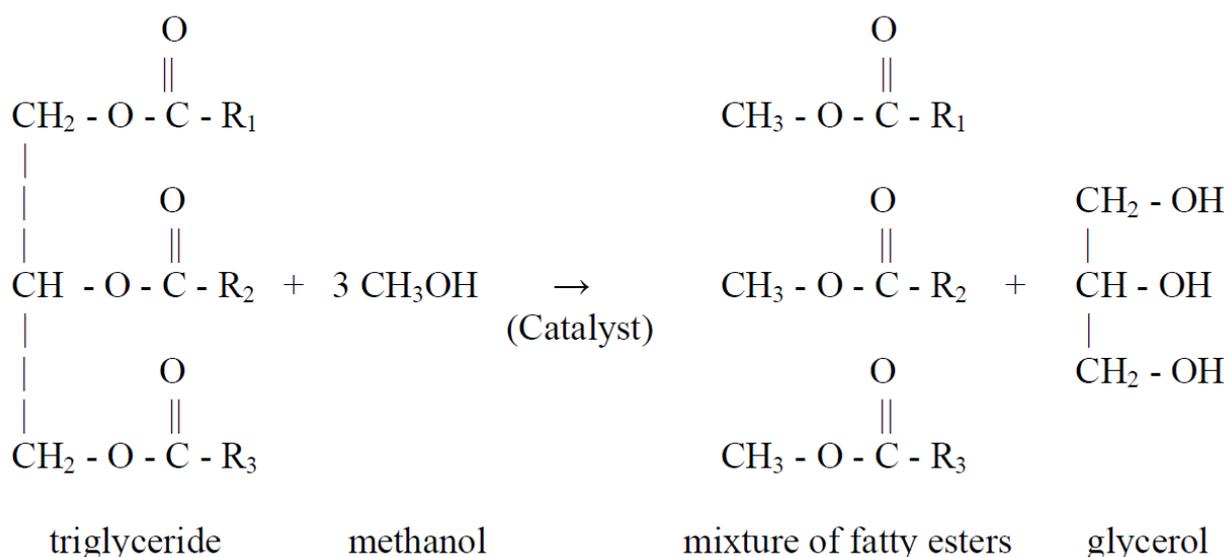
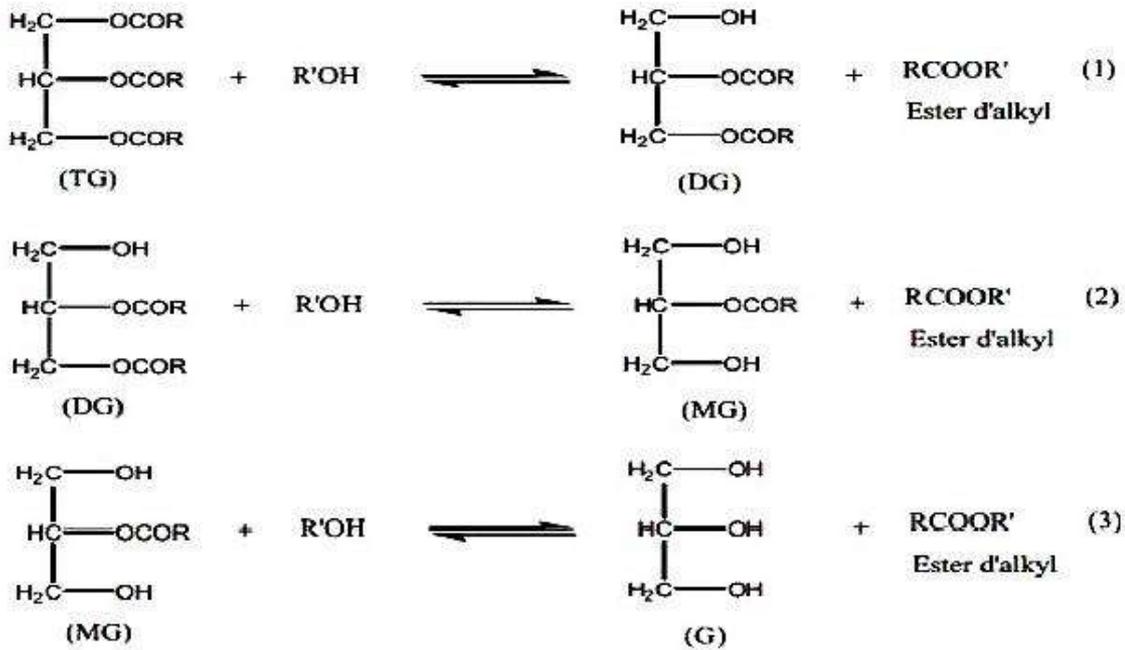


Fig.III.2 : Réaction de transestérification. (Machine Amrani, 2007)

**II.7.1.3. Le mécanisme de La réaction de transestérification :**

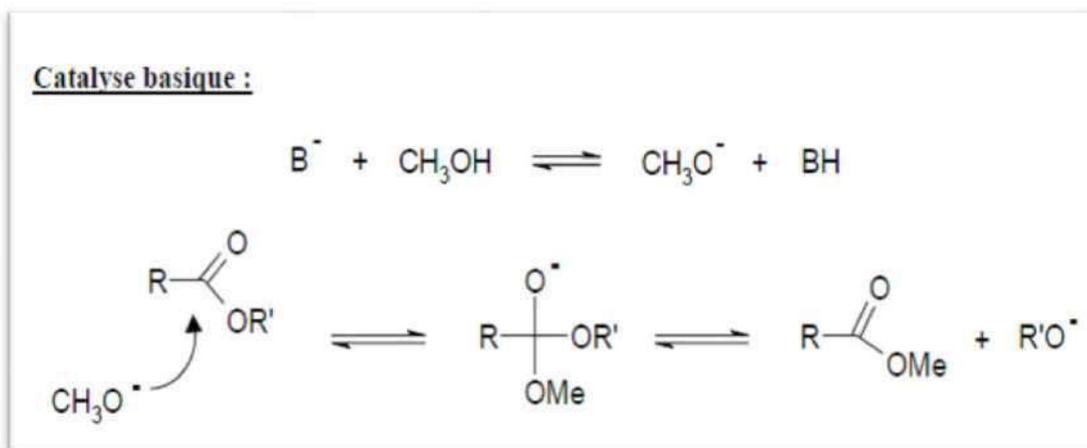
La réaction de transestérification se fait en 03 étapes successives :



**FigIII.3 : La réaction de transestérification :**

La réaction de transestérification est chimiquement équilibrée. Les étapes(1) et (2) sont rapides car les fonctions esters primaires sont transestérification en premier, l'étape (3) est plus lente. (Hamad Berna, 2009)

**III.7.1.4 Le mécanisme de La réaction de transestérification en cas d'une catalyse basique :**



**FigIII.4 : Mécanisme de transestérification en cas d'une catalyse basique. (Pllopez, 2010)**

**III.7.1.6 But de la réaction de transestérification :**

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

L'objectif d'une telle étude est l'utilisation des esters obtenu comme carburant diesel ; l'étude conduit en même temps à :

- L'élimination totale de la glycérine.
- La diminution du point d'ébullition de l'huile.
- La diminution du point éclair de l'huile.
- L'utilisation de la glycérine dans l'industrie chimique.
- L'utilisation des sous-produits dans l'industrie du savon et des détergents. (**Mactar DIOP, 2009**)

### **III.7.1.6 Etude de l'effet des paramètres réactionnels sur la réaction de transestérification :**

Dans le procédé de transestérification, un mélange de catalyseur et d'alcool est ajouté à l'huile à transformer.

La réaction réduit ainsi le poids moléculaire, la viscosité et augmente la volatilité des lipides. Toutefois différents paramètres peuvent influencer le rendement de transestérification comme le type d'alcool, le ratio alcool-huile, le type de catalyseur et sa concentration, la température de la réaction et la vitesse d'agitation, le temps de réaction. Une transestérification des huiles avec du méthanol à l'état supercritique (sans catalyseur) a été développée, mais le coût de cette technologie rend son utilisation impossible à ce jour. (**Tan et Lee, 2011**)

## **III.2. Le biodiesel dans l'industrie :**

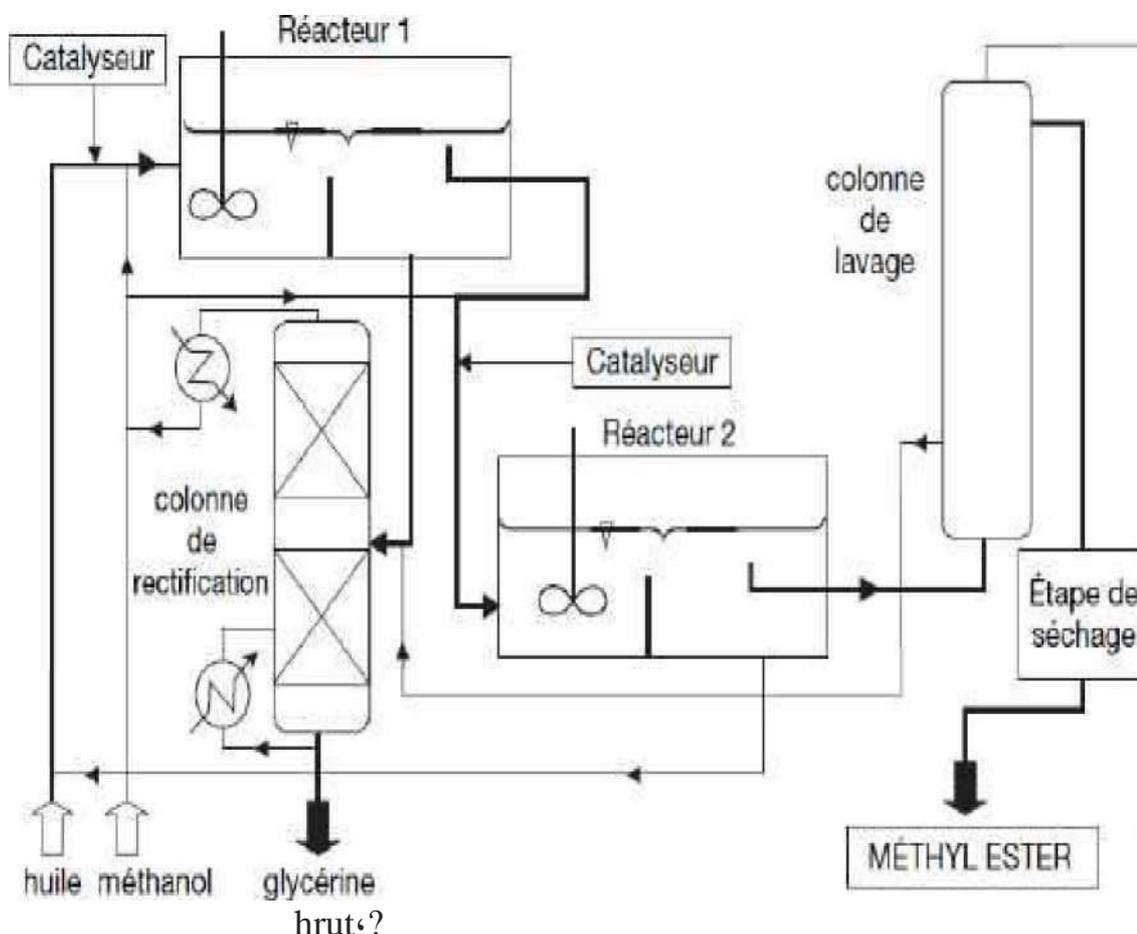
### **III.2.1.1 Principe de production industrielle du biodiesel :**

Les procédés utilisés pour raffiner l'huile brute et la transformer jouent un grand rôle dans sa capacité à satisfaire l'exigence qualité.

### **III.2.1.2 Procédé continu :**

La réaction de transestérification est généralement effectuée dans deux réacteurs en série, même capacité, avec des séjours optimisés permettant d'obtenir un taux maximum de conversion et une qualité d'esters répondant le mieux possible aux spécifications imposées aux esters carburants.

Cette qualité est encore améliorée par lavage à l'eau à contre-courant qui élimine les traces de catalyseur, de glycérine et de méthanol. Enfin le séchage de l'ester est effectué sous pression réduite entre 40 et 60 mbar à 140°C. (Maroyi A, 2007)

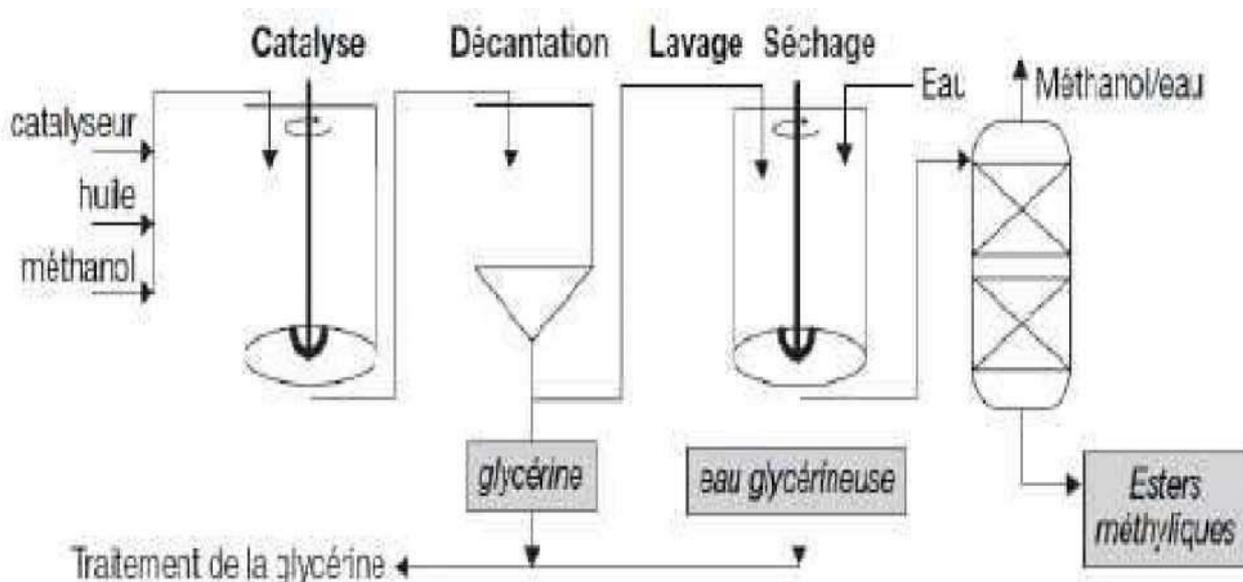


**FigIII.5 : schéma de principe d'un procédé continu de production d'EMHV (procédé proposé par la Société Iurgi) (Maroyi A, 2007)**

### III.2.2 Procédé discontinu :

L'huile et le méthanol sont introduits dans un réacteur équipé d'un système d'agitation, dont le contenu est porté à une température de 45 à 85 °C, sous une pression absolue maximum de 2.5 bar, avant d'ajouter la solution catalytique. Le temps de séjour est d'environ une heure pour atteindre l'équilibre thermodynamique de la réaction. Les esters méthyliques sont séparés de la glycérine dans un décanteur statique avant d'être introduits dans un deuxième réacteur agité où sont effectuées deux étapes de lavage à l'eau qui permettent d'éliminer les sels et la glycérine résiduelle. Selon les technologies, le catalyseur choisi, et l'acidité de la matière première, les rendements massiques en esters méthyliques

par rapport à l'huile varient de 98.5 à 99.4 %. Une étape ultérieure de glycérolyse des acides gras pourrait avantageusement augmenter ces rendements. (Maroyi A, 2007)



**FigIII.6 : schéma de principe d'un procédé en discontinu (procédé Esterfip-licence IFP).**

(Maroy A, 2007)

### III.2.3 Les applications de biodiesel :

Le biodiesel est l'une des meilleurs sources d'énergie renouvelable, non seulement produit moins d'impact sur l'environnement mais aussi parce qu'il offre l'avantage de la durabilité, étant biodégradable et non toxique. (Hilioti et al, 2017)

Le biodiesel est un biocarburant liquide qui peut être utilisé exactement comme du diesel de pétrole dans des moteurs à combustion interne à allumage par compression. Tout comme le diesel, le biodiesel s'enflamme spontanément quand il est mélangé de l'air comprimé. Les moteurs exploitent d'énergie libérée pendant la combustion pour propulser le véhicule. Le biodiesel à base de pétrole est devenu le principal carburant pour les moteurs à allumage par compression, mais le modèle original, construit par Rudolph Diesel il y a plus de cent ans, été conçu pour brûler de l'huile végétale, une matière première pour le biodiesel moderne. (Naylor et Higgins, 2017)

### III.1 Les avantages et les inconvénients du biodiesel :

Les biocarburants (ester) sont des énergies "renouvelables" et leur objectif principal ne doit être que la réduction de la facture énergétique.

Leur coût de production peut être abordable dans le cas où les sous-produits issus du processus d'élaboration peuvent être mis en valeur (tourteaux ; glycérol).

Ils peuvent être utilisés en mélange avec le gasoil jusqu'à 25% sans modification du moteur et sont naturellement moins chargés en métaux lourds.

Cependant ils sont corrosifs car ce sont des composés oxygènes qui peuvent facilement évoluer vers des formes acides nuisibles pour les organes métalliques et en caoutchouc des moteurs quand on les utilise à 100%.

Ils n'ont pas un pouvoir lubrifiant comme les carburants fossiles et leurs pouvoirs calorifiques sont bien moindres.

Les engrais que l'on pourrait utiliser dans les champs présentent aussi des risques de contamination des nappes phréatiques. (**Ya Sanghare, 2008**)

**Chapitre IV :**  
**Partie**  
**Pratique**

### ***IV.1 Introduction***

La transestérification est la méthode de notre choix pour transformer les huiles dans notre cas car étant plus adaptée au contexte de carburant de remplacement tous les essais ont été relis avec un montage réactionnel fut très simple ils'agit d'un ballon équipé d'un réfrigérant l'agitation est assurée par un agitateur et barreau magnétique le ballon est plongé dans un bain d'eau.

En effet les tests de caractérisation des huiles ainsi que les matériels utilisés et les méthodes appliquées dans ce travail sont présentes dans ce chapitre.

### ***IV.2 Matériels et produits utilisés***

Produits	Matériels
-huile utilisé	- ballon
-huile normale marque Elio	- ampoule décanté
-huile Elio depuis 4ans	- un éprouvette gradué
-propane	-réfrigérant à reflux
-benzène	- un burette 50 ml
-KOH	-plaque chauffant
-eau distillé	-thermomètre
- huile dure 4ans	-péchon mètre
	-vesce mètre

### ***IV.3 Mesure de la viscosité et de la densité Densité***

La densité est le rapport de la densité d'un liquide a la densité de l'eau. les huiles utilisées dans notre étude sur trois types d'huiles. La première utilise est l'huile Elio ordinaire la seconde est du même type d'huile mais est utilisée trois fois pour friture et le troisième est les mêmes types d'huile mais c'est vieux cependant la densité de c'est huiles a été mesurée au moyen d'un péchon mètre.



**FigIV.1 : Pycnomètre**

**Tableau :** variation de densité de huile

Huiles	Huile Elio	Huile Elio utilisé	Huile Elio Non utilisé
Densité g/cm	0.91507	0.91767	0.91674

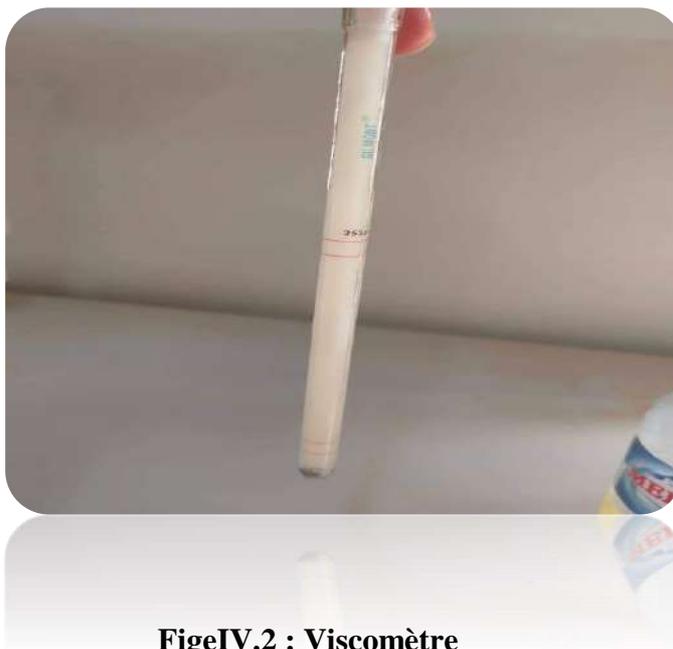
#### **IV.6** **Variation de la viscosité**

La viscosité est définie comme la résistance à l'écoulement uniforme et sans turbulence se produisant dans la masse d'une matière

La viscosité d'huile en fonction de la température (20 à 100 c) a été suivie à

L'aide d'un viscosimètre à chute de bille. Dont le dispositif est illustré figure une sphère se déplace sous l'action de la pesanteur dans un tube en verre qui contient le fluide à expérimenter. La bille atteint rapidement une vitesse limite ce qui permet de calculer la viscosité du liquide.

On mesure le temps nécessaire à la bille pour parcourir la distance entre deux traites gravés sur le tube en verre.



**FigIV.2 : Viscomètre**

**Tableau :** variation de viscosité de huile

Huile	Huile Elio	Huile utilisé	Huile dure 4ans
Viscosité (mm/s)	35.68	47.56	46.22

#### ***IV.7      Synthèse de biodiesel au laboratoire***

**La réaction de la synthèse :** Les ester méthylique sont obtenus par la réaction de transestérification de triglycérides avec du propane et du benzène selon la forme



**FigIV.3 : Photo de réaction transestérification**

#### IV.5 Calculs de la quantité de réactifs

Nous avons pris le rapport (1 :5) pour pouvoir observer l'excès de propane et benzène en fin d'expérience.

La masse molaire de propane :  $M(\text{propane}) = 44 \text{ g/mol}$

$n(\text{propane}) = \text{rapport}(\text{huile}) = 5 \cdot n(\text{huile})$

$n(\text{huile}) = 100\text{g} / 943\text{g/mol} = 0.106\text{g/mol}$

$n(\text{propane}) = 5 \cdot 0.106 = 0.53\text{mol}$

$m(\text{propane}) = M(\text{propane}) \cdot n(\text{propane})$

$m(\text{propane}) = 44 \cdot 0.53 = 23.32 \text{ g}$

Catalyseur (KOH) 1% masse d'huile alors :

$m(\text{catalyseur}) = 1\text{g}$

#### IV.6 Protocole de synthèse : [1. Krell , E . Handbook of Laboratory Distillation . Berlin : Elsevier (2013)]

La synthèse de biodiesel comporte les étapes suivantes:

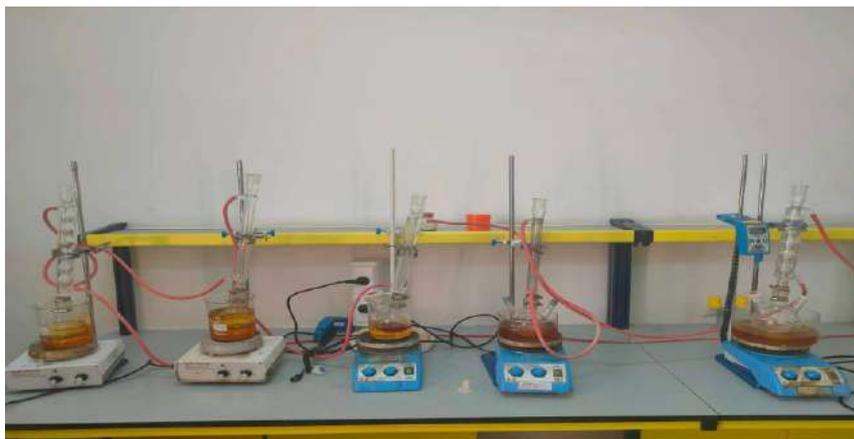
##### A / La réaction :

La réalisation pratique de la réaction de transestérification est effectuée suivant le protocole qui suit (Figure)

-Nous chauffons l'huile pendant une heure afin de nous débarrasser de L'humidité à une température de  $80\text{C}^\circ$

-Dissoudre le catalyseur dans propane ce qui demande d'agiter le mélange et de le chauffer très légèrement.

-Verser la solution obtenue à l'huile et agiter vigoureusement



**FigIV.4 : Photo de montage réaction transestérification**

-Après 120 mn d'agitation laisser reposer le mélange pour que la séparation s'effectue (la décantation est très longue, il faut attendre au moins une demi-journée

#### IV.6 La séparation des phase

Le succès d'une réaction de transestérification est matérialisé par la présence deux phases. Le glycérol qui a une densité plus grande que l'ester. est situé en bas de l'ampoule  
a décanté après plusieurs heures de décantation. On voit nettement sur la figure séparation des deux phases.



**FigIV.3 : Photo de séparation des phases**

#### C/ Le lavage :

Le biodiesel obtenu doit être lavé pour éliminer l'excès d'alcool et de catalyseur. Placer

le biodiesel dans une ampoule à décanter et verser lentement l'eau pour le rinçage (environ 100ml).

Cette opération est délicate, elle doit être réalisée très doucement avec le moins d'agitation possible car l'agitation provoque la formation d'une émulsion qui diminue le rendement de la synthèse

### **Rendement de réaction de transestéification**

On doit calcul le rendement de biodiesel avec les deux rapports :

$$R = \frac{\text{Masse expérimentale de biodiesel}}{\text{Masse théorique de biodiesel}}$$

Théoriquement 1 kg de huile donne environ 1 kg de biodiesel par la réaction transestéification alors la masse théorique de biodiesel est la masse d'huile que nous avons utilisée dans la réaction . [ Michael Brett Runge, Polymeric Materials : From Comb Polymers to cascade Reaction ProQuest, 2007, ]

### **IV.8 Variation de densité**

La densité constitue une caractéristique importante, principalement pour les biocarburants, car elle conditionne le dimensionnement et les particularités technologiques des organes d'alimentation (pompes, injecteurs); de plus, sur un système installé, une utilisation de biocarburants de densité largement différentes, entraînerait des modifications de réglages de combustion avec des répercussions sur la puissance maximale, le rendement et les émissions de polluant.

Les résultats des mesures sont représentés sur le tableau

Densité g/cm	Biodiesel huile Elio	Biodiesel huile utilisé	Biodiesel huil duré 4ans
	0.884	0.855	0.870

### **IV.7 Variation Viscosité :**

La viscosité est une autre propriété importante du biodiesel puisqu'elle influe sur le fonctionnement du système d'injection.

La variation de viscosité en fonction de température des deux biodiesels est résumée dans le tableau :

Viscosité mm/s	Biodiesel Huile Elio	Biodiesel huile utilisé	Biodiesel huile duré 4 ans
	4.1	4.019	4.124

#### **IV.8**

#### **Analyse des résultats :**

Grâce aux résultats obtenus, nous avons constaté que le biodiesel produit à partir d'huile de friture en laboratoire a approximativement les mêmes caractéristiques que le diesel pétrolier, notamment en termes de densité et de viscosité, ont des caractéristiques biodiesel selon les spécifications de la norme européenne.

# **Conclusion Générale**

## CONCLUSION GENERALE

L'utilisation des huiles de cuisson usées comme matière première présente des avantages économique et environnemental considérables. En effet, leur valorisation en biodiesel permet d'une part de diminuer le coût de production de ce biocombustible puisque le prix d'achat de l'huile usée est beaucoup moins élevé que celui de l'huile végétale et d'autre part d'éviter leur déversement dans le réseau d'assainissement. Le biodiesel est un mélange d'esters d'acide gras obtenus par la réaction de transestérification des triglycérides. Cette réaction est réalisée par exemple avec de l'alcool en présence de catalyseurs basiques ou acides.

La réaction de transestérification des huiles de friture usées (HFU) a été effectuée en catalyse basique homogène (KOH) en présence de l'alcool. Les paramètres affectant le rendement en esters allyliques tels que le pourcentage massique du catalyseur / huile, la température et le ratio massique alcool / huile ont été étudiés.

- Le rendement maximum en biodiesel est de 87,5% (g biodiesel / g HFU) et correspond au ratio massique alcool / HFU de 5 :1.

# Références

**Références**

- ABADA, SABAH, (2017)** Maitre de Recherche B. Division Bioénergie et Environnement-GDER.
- APRIA, (1969).** Utilisation des déchets végétaux. Ass. Prom. Ind. Agr. Ed Paris., pp. 115-139
- BAIIERINI DANIEL, (2006).** les Biocarburants état des lieux, perspectives et enjeux du développement,IFP publications, Editions TECHNIP
- BENTHEAUD E, (2011).** Document ressource. Comité Français du Parfum.
- BOBELLE, C, (2019).** L'extraction à froid des huiles. 46 Cité Keur Damel, Dakar -Sénégal
- BOYER, A, (2010).** Design de nouveaux syntones dérivés de l'acide oléique : application à la synthèse de polyuréthanes. : Université de Bourdeaux.
- CEA, 2010.** Commissariat à l'énergie atomique et énergies alternatives
- CHARFAOUI M.S, (2011).** Les cultures oléagineuses : Enjeux et problématique. Portail Algérien des énergies renouvelables
- CHING. T.Hou, Jei-Fu, (2003).Shaw,** Biocatalysis and Bioenergy, wiley, **2008. KNOTHE GERHARD., JON VAN GERPEN., JÜRGEN KRAHL, (2005).**The Biodiesel Handbook, edition AOCS Press
- Colonna P, (2006).** La chimie verte. EDTEC et DOC. Paris : lavoisier, 532p
- Délégation régionale Franche-Comté et Association des Collectivités Comtoises pour la Maîtrise des Déchets et de l'Environnement(2007).
- DEMIRBAS A, (2008)** Biodiesel: A Realistic Fuel Alternative. British Library Cataloguing in Publication Data.
- DEMIRBAS A.Demirbas, M. F, (2010)** *Algaeenergy:algae as a new source of biodiesel.* Springer Science & Business Media.
- DIAKITE S, (2015).** Demande de sortie du statut de déchet des huiles alimentaires usagées pour des usages en chaudière d'une puissance supérieure à 100 kW. Rapport d'étude. France, 21p
- DOUDOU N, (2007).** Le monde dans être des biocarburants, définitions, enjeux et facteurs de succès pour l'Afrique, Agrivision N°4.
- DUBREUIL A, (2008).**Les biocarburants au cœur de la polémique Crutzen, atelier Changement Climatique

## REFERENCES

- DUNN ROBERT, (2003).** Biodiesel as a locomotive fuel in Canada, rapport (TP 14106E) du Centre de développement des transports au Canada
- ERNANDO S. KARRA P. HERNANDEZ R et JHA, S.K, (2007).** Effect of incompletely converted soybean oil on biodiesel quality. *Energy*, volume 32, p844-851
- FAO, (1999).** Norme pour les huiles végétales portant un nom spécifique. Codex alimentaires normes alimentaires internationales, 210-1999
- FINE, F., & al, (2013).** Les agro-solvants pour l'extraction des huiles végétales issues de graines oléagineuses. *oilseeds and fats crops and lipids*, 5-20.
- FORMO, M.W, (1979):** Physical properties of fats and fatty acids in Bailey's Industrial Oil and Fat Products, Vol.1 (ed.D.Swern), 4<sup>th</sup> edn, John Wiley & Sons, Inc., New York, P177-232. GHISLENGHIEN. (s.d.). Les huiles végétales de paranarome. PRANARÔM INTERNATIONAL S.A. pranarom@pranarom.be, B-7822.
- FRENOT M. et VIERLING E, (2001) :** Biochimie des aliments diététique du sujet bien portant. ED : Doin éditeurs, centre régional de documentation pédagogique d'Aquitaine. Bordeaux. France. P297.
- GIRARD Ph., BLIN J, (2011).** Guide technique pour une utilisation énergétique des huiles végétales dans les pays de la CEDEAO. Editions harmattan. p144
- GORNAY J, (2006).** Transformation par voie thermique de triglycérides et d'acides gras, application a la valorisation chimique des déchets lipidiques. Thèse doctorat. Institut national polytechnique de lorraine école doctorale rp2e. p186.
- GUI M. M. K. T. Lee, S.BHATIA, (2008)** Feasibility of edibleoil vs. nonedibleoil vs. wasteedibleoil as biodiesel feedstock. *Energy*, 33, 1646-1653
- GUIDE de CONTROLE DES HUILES DE FRITURE Ministère de commerce république algérienne démocratique et populaire, (2012)**
- HAMAD BERNA, (2009).** Transestification des huiles végétales par l'éthanol en conditions douces par catalyses hétérogènes acide et basique. Thèse de Doctorat. Université Claude Bernard- Lyon I, France
- HAMIA, C, (2007).** Contribution à la composition et a l'étude de l'huile de fruits de l'arganier "arganiaspinosa". Ouargla: UniversitéKasdiMerbah
- HART ENERGY CONSULTing, (2007).**Establishment of the Guidelines for the Development of Biodiesel Standards in the APPEC Région Asia Pacific EconomieCoopération, P.1-136

## REFERENCES

- HILIOTI, Z. Michailof, C.M. ; Valasiadis, D. ; Iliopoulou, E.F. ; Koidou, V, (2017).** Lappas, A.A.Characterization of castor plant-derived biochars and their effects as soil amendments on seedlings. *Biomass Bioenergy*, 105, 96-106.
- IJEOMA, K. H., & PRISCA, U. I, (2015).** Characterization of the chemical properties of some selected refined vegetable oils commonly sold in Nigeria. *British journal of applied science & technology*, 538-546.
- IAHARA H. MINAMI, E. ET SAKA, S, (2006).** Thermodynamic study on cloud point of biodiesel with its fatty acid composition. *Fuel*, volume 85, numéro 12, p.1666-1670
- ISO 734-1, (1998).** Oilseed residus - determination of oil content. international standard.
- ISO 9001.** (s.d.). Solution d'extraction - Trouvez la solution parfaite pour chaque application. France : Laboratoire humeau
- JULIETTE C., BENOIT D., Carole D., Sophie F., Sébastien G., Sabine H., Ludovic R., KADAMBI, K., DABRAL, S.N, (1955).** The silviculture of *Ricinus communis* L. *Ind. Forester*. P.53-58
- JULIUS OLQTOUNDE, (2020).** BioClips-Volume28-N°1
- KNOTHE, G K h GERPEN, V, (2005) .** *Voyage biodiesel the biodiesel handbook* pp.81-82 AOCS Press, Champaign Illinois USA
- KNOTHE, G. RAZON, L. F.** Biodiesel fuels. *Prog Energy CombustSci*, (2017), 58, 36-59
- LANG X, Dalai AK, REANEY MJ, Hertz PB, (2001).** Biodiesel esters as lubricity additives: effects of process variables and evaluation of low-temperature properties. *Fuels International*. pp 207-227
- LETTRE DE POLITIQUE AGRICOLE de la CMA/AOC (LEPAC), (2007),** Développement des biocarburants et formulation des politiques agricoles futures Afrique de l'ouest et du centre, 13p
- LION Ph.** Travaux pratiques de chimie organique. Ed. Dunod, Paris
- MACTAR DIOP, (2009).** Production de Biodiesel à partir de l'huile de jatropha. Mémoire d'ingénieur. Université cheikh antadiop de Dakar, Dakar
- MAHACINE AMRANI, (2007).** Simulation Du Procédé De Fabrication Du Biodiesel A Partir Des Graisses Jaunes. Université de FACTA Tanger, Maroc
- MARCUSSON. J, JOUVE, A.** Manuel de Laboratoire pour l'industrie des huiles et graisses.

## REFERENCES

Dans C. BERANGER, Manuels de Laboratoire ~s pour les Industriès Chimiques et similaires.  
Paris : Paris et liège librairie polytechnique Ch, BERANGER

**MAROYI, A, (2007).** Ricinuscommunis L. In : van der Vossen, H.A.M. & Mkamilo, G.S  
(Editeurs). PROTA 14 : Vegetableoils/Oleagineux. PROTA, Wageningen, Pays Bas

**MINISTERE DE L'AMENAGEMENT DU TERRITOIRE ET DE L'environnement,  
(2010)**

**MITTELBACH. M., REMSCHMIDT. C, (2006).** Biodiesel: the comprehensive  
handbook.3e éd. Publié par Martin Mittelbach, institute of chemistry Karl-Franzens-  
University Graz, Graz, Autriche

**MORIN O, PAGES-XATART-PARES, X, (2012).** Huiles et corps gras végétaux : ressources

**MUSHTAQ A. M. A, (2013).** Practical Handbook on Biodiesel Production and Properties

**NATIONAL RENVEREBLE ENERGY LABORATORY, (2009).**Biodiesel handling and  
use guide .PP.1-56

**NAYLOR, R.L. HiGGINS, M.M, (2017).** Thepoliticeconomy of biodiesel in an era of  
lowoilprices. RenewSustain Energy Rev, 77, 695-705

**PATIL, P. D. S, DENG, (2009).** Optimization of biodiesel production fromedible and  
nonediblevegetableoils. Fuel, 88, 1302-1306

**PIERRE, P, (2011),** Biocarburants de deuxième génération : où en est la recherche ? Institut  
français de pétrole.

**PINTO,A.C.Guarieiro ,L.L.N.,Rezende ,M.J.C.,Ribeiro,N.M., Torres ,E.A., Lopes, w .A  
., de P,pereira,P.A.,de Andrade,J.B.,J.Braz. Chem .soc, (2005).16 (6B) :p.1313-1330**

**PLLOPIZ, (2010).** CATALYSE et CONTACTS. exemple\_sujet\_de\_chimie pdf.pp1-15

**POITRAT E, (2005).** Les biocarburants en France et en Europe (ADEM), lyon, Poughère  
comme carburant en milieu rural

**PRYDE E.H, (1982).** Vegetable oil standards. In: Proceedings of the International  
Conference on Plant and Vegetables Oils as Fuels, Fargo, USA, , (ASAE Publication, 4-82),  
p.101-105. Saint Joseph: ASAE.

**ROSSELL J.B, (2001).**Frying, Woodhead Publishing Limited, Cambridge (England). 369

**SAGUENAY, LAC-SAINT-JEAN, (2010).** production d'huile végétale pure. Alma : Collège  
d'Alma.

**SEREGIN, E.P., A.A., BUGAI, V.T., Makarov, A.A.,Sarantidi,P .G. et Skovorodin, G.B,**

## REFERENCES

(1975). Lubricity of diesel fuels . Chemistry and Technology of Fuels and Oils, volume 11, numéro 5, p.360-363

**SITE : amélioré ta sante.com)**

**SITE : Synergie santé Environnement, 2019**

**STANSELL, G.R, GRAY, V.M. ETSYM, S.D, (2012).** Microalgal fatty acid composition: implications for biodiesel quality. journal of applied phycology, volume 24, numéro 4, p.791-801

**TABATABAEI, M. M. A, (2019).** Biodiesel: From Production to Combustion. Biofuel and Biorefinery Technologies

**TOUATI L, (2013).** Valorisation des grignons d'olive, Etude de cas : Essai de valorisation en biocarburant magister. Université Mohamed Bougera-Boumerdes

**UZZAN A., (1992).** Huiles végétales - biocombustibles diesel : influence de la nature des huiles et en particulier de leur composition en acides gras sur la qualité-carburant, thèse de doctorat, Université d'Orléans, pp87

**VAITILINGOM, G, (2009).** Extraction, conditionnement et utilisation des huiles végétales pures carburant. Enjeux et perspectives des biocarburants pour l'Afrique, 27-29.

**Ya SANGHARE, (2008).** Production et caractérisation physico-chimique de biodiesel à partir d'une huile végétale pure, P33

**ZOVI, O, (2009),** Fonctionnalisation et photo polymérisation de l'huile de lin en vue de l'élaboration de nouveaux matériaux sans émission de composés organiques volatils (COV). Rouen : Ecole doctorale normande de chimie.

**ملخص:**

الاستهلاك المتزايد لمنفط، المصدر الرئيسي لموقود الأحفوري الحالية، وتستخدم إلى حد كبير من قبل قطاع النقل، والتأكد من أن احتياطياتها قد تنخفض في المستقبل.

في السنوات الأخيرة، ويتم إنتاج معظم وقود الديزل الحيوي الصناعي من الزيوت (الدهون الثلاثية) المستخرجة من المواد النباتية الخام (اللفت، عباد الشمس وفول الصويا، الخ). من أجل تغيير الخواص الفيزيائية والكيميائية لجعلها شابهة لتمك التي النفطية الديزل والدهون الثلاثية هي تحويل الأستر إلى استرت ألكيل من الأحماض الدهنية، والتي يمكن استخدامها في محرك تقليدي دون تعديل.

وفيما يتعلق في الزيوت المستخدمة، ورفض هذه رواسب دهنية في نظام الصرف الصحي يشكل خطر على البيئة ومرافق معالجة المياه حيث أن الفائدة لتعزيز وقود الديزل الحيوي.

**كلمات المفتاحية:** زيوت القلي المستخدم، تحويل أسنرة، وقود الديزل الحيوي.

**Resume :**

L'augmentation de la consommation du pétrole, principale source d'énergie fossile actuelle, utilisée en grande partie par le secteur du transport, fera en sorte que ses réserves risquent de diminuer dans le futur.

Ces dernières années, la plupart des biodiesels industriels sont produits à partir d'huiles (triglycerides) extraite de matières premières végétales (colza, tournesol, soja, etc.). Afin de changer leurs propriétés physico-chimiques pour les rendre similaires à celles du petro-diesel, les triglycerides sont transesterifiés en esters alkylés d'acides gras, qui peuvent être utilisés dans un moteur classique, sans modification.

Concernant les huiles usées, le rejet de ces résidus graisseux dans le réseau d'assainissement est un risque pour l'environnement et pour les installations de traitement des eaux du l'intérêt de les valoriser en biodiesel.

**Mot clé:** huile de friture usée, transesterification, biodiesel.

**Abstract**

The increase in oil consumption, which is the main source of fossil fuel energy currently used, largely by the transport sector, is likely to reduce its reserves in the future.

In recent years, most industrial biodiesels are produced from oils (triglycerides) extracted from vegetable raw materials (rapeseed, sunflower, soya, etc.). In order to change their physico-chemical properties to make them similar to those of petro-diesel, the triglycerides are transesterified to fatty acid alkyl esters, which can be used in a conventional engine without modification.

As regards waste oils, the release of these greasy residues into the sewerage network is a risk to the environment and to water treatment plants, hence the value of using them in biodiesel.

**Keyword:** used frying oil, transesterification, biodiesel.