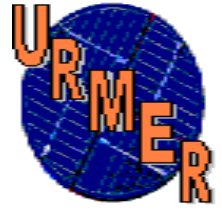




**MINISTRE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR  
ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE  
UNIVERSITE ABOU BEKR BELKAÏD DE  
TLEMCEM**



**FACULTE DES SCIENCES  
DEPARTEMENT DE PHYSIQUE**

**Mémoire :**

**Master physique énergétique et énergie renouvelable**

**Présenté par : BENDIAF hadjer**

**Développement d'un système de production du Biodiesel à  
partir d'Huile utilisée**

Le :24/06/2018

**Devant les membres du jury :**

**Président : A.BENSAOULA M.C.B UABB de Tlemcen**  
**Encadreur : FARADJI née KHERBOUCHE M.C.B UABB de Tlemcen**

**Djamila**

**Examineurs : O.ZEGGAI M.C.A UNIV de Chlef**  
**A. BOUDGHENE STAMBOULI M.C.A UABB de Tlemcen**

**Année universitaire : 2017/2018**

Dédicace :

*A vous mes parents,*

*Je vous dédie ce travail pour tous ma famille  
Bendiaf et Firane et le plus cher sur mon cœur  
mes frères :*

*Sara et Mohammed et les meilleurs amis*

***Hadjer Bendiaf***

## Remerciements :

**Je tiens tout d'abord à remercier ALLAH le tout puissant de nous avoir aidé à réaliser ce modeste travail.**

A cet effet, j'adresse d'abord mes infinis remerciements à mes parents qui ont été le sous-bassement et le socle de ma réussite par leur soutien.

Je formule mes chaleureux remerciements à mon encadreur le Dr KHERBOUCHE Djamilia et enseignante au département de physique d'université Abou Bekr Belkaïd Tlemcen, pour avoir l'honneur de présider le jury de soutenance

Je remercie les membres du jury, Dr ZAGGAI et Dr BOUDGHENE STAMBOULI

et Pr BENSAOULA

Merci à toutes les personnes qui ont contribué de près ou de loin à la réalisation de ce travail.

## Table des matières

Liste de figure .....	7
Liste des tableaux : .....	8
Chapitre I : la bioénergie .....	11
1. Introduction : .....	12
2. La bioénergie : .....	12
➤ Sources de la bioénergie : .....	12
3. La biomasse : .....	13
3.1. Les Différents Types De Biomasse : .....	13
4. Les différents voies de valorisation énergétique de la biomasse .....	14
4.1. Les conversions thermochimiques de la biomasse .....	14
➤ <i>La combustion directe</i> .....	15
➤ <i>La Pyrolyse</i> .....	15
➤ <i>La gazéification</i> .....	16
➤ Nature des gaz produits .....	17
➤ Le traitement des gaz .....	17
➤ La séparation des particules ou poussières .....	17
➤ Les applications de la gazéification .....	18
➤ Avantages de la gazéification .....	18
4.2. Les conversions biochimiques de la biomasse .....	18
➤ La fermentation alcoolique .....	18
➤ La biométhanisation ou digestion anaérobie .....	19
A. Etapes microbiologiques et biochimiques de la méthanisation .....	20
B. Les enjeux de la méthanisation .....	21
5. Les biocarburants : .....	22
5.1. Le biogaz: .....	22
5.2. bioéthanol .....	Erreur ! Signet non défini.
5.3. L'huile végétale ou le biodiesel : .....	26
5.4. Bio hydrogène : .....	27
6. L'impact environnemental des bioénergies : .....	27

## Développement d'un système de production du biodiesel à partir d'huile utilisé

<b>7. Conclusion :</b> .....	<b>28</b>
<b>Bibliographie I :</b> .....	<b>29</b>
<b>Chapitre II : le biodiesel</b> .....	<b>31</b>
<b>1. Introduction :</b> .....	<b>32</b>
<b>2. Définition :</b> .....	<b>32</b>
<b>3. Les Huiles Végétales :</b> .....	<b>33</b>
3.1.les types d'huiles utilisées : .....	33
3.2. Les paramètres d'huiles à considérer pour la transestérification.....	34
<b>4. Les Alcools.....</b>	<b>34</b>
4.1. Le méthanol .....	34
4.2. L'éthanol .....	34
<b>5. Les différentes étapes de production de biodiesel :</b> .....	<b>35</b>
1. Etape de mélange des réactifs.....	35
2. Etape de réaction .....	35
3. Etape de décantation .....	35
4. Etape de lavage .....	35
5. Etape de séchage .....	35
<b>6. La transestérification :</b> .....	<b>36</b>
6.1. Les paramètres affectant la réaction de transestérification :.....	36
6.1.1. Effet du temps de réaction .....	37
6.1.2. Effet de la température de réaction .....	37
6.1.3. Effet de la vitesse d'agitation de réaction.....	37
6.1.4. Type du catalyseur : .....	37
<b>7. Les caractéristiques du biodiesel</b> .....	<b>39</b>
7.1. La viscosité .....	39
7.2. Le pouvoir calorifique.....	Erreur ! Signet non défini.
7.3. Le point trouble et le point d'écoulement : .....	39
7.4. L'indice de cétane : .....	Erreur ! Signet non défini.
<b>8. Effet d'huile :</b> .....	<b>40</b>
<b>9. Production du biodiesel dans l'Algérie :</b> .....	<b>41</b>
9.1. Coût de production du biodiesel : .....	41
<b>10. Les applications du biodiesel :</b> .....	<b>41</b>
10.1. moteur diesel : .....	41
10.1.1 Utilisation des biodiesels dans les moteurs diesel : .....	42
10.1.2 Avantages du biodiesel pour les moteurs : .....	42
10.1.3 Efficacité énergétique : .....	42

## Développement d'un système de production du biodiesel à partir d'huile utilisé

10.2 Les génératrices : .....	42
11. Conclusion : .....	43
Bibliographie II : .....	44
Chapitre III : La production de biodiesel a partir d' huile utilisé .....	46
Introduction :.....	47
1. Matériel et méthodes : .....	47
1.1. Les matériels .....	47
1.2. La méthode : .....	47
2. Résultat et discussions :.....	50
2.1. Influence du ratio massique MeOH / HFU sur le rendement de la réaction de transestérification :.....	50
2.1.1. KOH : .....	50
2.1.2. NaOH :.....	51
2.2. L'influence de catalyseur .....	52
2.3. L'influence d'alcool : .....	53
2.4. Influence du temps de la réaction sur le rendement en biodiesel .....	54
Conclusion générale :.....	58

### Liste de figure

Figure 1 .1. Principales réactions intervenant dans la gazéification [8] .....	17
Figure 1. 2 Schéma de la digestion anaérobie des déchets et effluents organiques[17] .....	21
Figure 1. 3 Equivalent énergétique d'un mètre cube de biogaz .....	25
Figure 1 .4 Schéma de valorisation [23].....	27
Figure 2. 5. :la molécule d'éthanol[1].....	35
Figure 3.6: le mélange dans l'agitateur .....	48
Figure 3.7: le mélange après une journée .....	49
Figure 3.8 le biodiesel après étape de lavage.....	50
Figure 3.9 : la courbe de la comparaison des catalyseur KOH et NaOH.....	53
Figure 3.10 : la courbe de l'influence d'alcool.....	54
Figure 3.11 : Évolution du rendement en biodiesel en fonction de la durée de réaction (ratio massique MeOH / HFU : 7/1 KOH : 1% massique, 60°C). .....	55
Figure 3. 12 : Évolution du rendement en biodiesel en fonction de la durée de réaction (ratio massique MeOH / HFU : 4/1 NaOH : 1% massique, 60°C).....	56

# Développement d'un système de production du biodiesel à partir d'huile utilisé

## Liste des tableaux :

<b>Tableau 1. 1 : Tableau récapitulatif des conditions opératoires des différentes transformations thermochimiques .....</b>	<b>15</b>
<b>Tableau 2.2 : Transestérification en milieu basique de diverses huiles .....</b>	<b>38</b>
<b>Tableau 2. 3 Transestérification en milieu acide de diverses huiles.....</b>	<b>39</b>
<b>Tableau 2.4 : Propriétés physico-chimiques de biodiesels produits à partir de.....</b>	<b>40</b>
<b>Table 3.5.Les matériels et les produits.....</b>	<b>47</b>
<b>Tableau 3. 6 : les résultats de comparaison entre les expériences (1) et (2) .....</b>	<b>52</b>
<b>Tableau 3.7 : les résultats de l'influence d'alcool.....</b>	<b>53</b>



# **Introduction générale**

# Développement d'un système de production du biodiesel à partir d'huile utilisé

## Introduction générale :

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 (gaz naturel, charbon 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 remplacement mieux que le pétrole et propre en plus La fabrication du biodiesel est une alternative de production de combustibles propres, biodégradables, renouvelables et non toxiques.

Le biodiesel peut être produit à partir d'huile végétale, de graisse animale par une réaction chimique appelée transestérification avec des alcools et des catalyseurs, Étant donné que les huiles végétales utilisé sont actuellement la principale source de matières premières dans la production commerciale de biodiesel.

L'accent est mis sur ce cadre du mémoire de fin d'études du cycle de master. La recherche est la production de biodiesel à base d'huiles végétales. [1]

En plus des carburants de remplacement, le biodiesel est généralement considéré comme un additif de lubrification pour le diesel pétrolier. Parce que le biodiesel est miscible avec du diesel pétrolier dans toutes les proportions, une addition de seulement 1% en volume de biodiesel au diesel pétrolier améliore la propriété lubrifiante du diesel pétrolier[2]

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 trois chapitres, le premier est une synthèse bibliographique nous présentons des généralités qui concernent bioénergie. Tandis que le second a consacré le biodiesel. Le dernier chapitre regroupe la partie expérimentaux et les calculs, les résultats obtenus et les discussions.



## Chapitre I : la bioénergie

# Développement d'un système de production du biodiesel à partir d'huile utilisé

## 1. Introduction :

Aux cours des dernier année la bioénergie représentait environ 10 % de l'approvisionnement total en énergie primaire, au niveau mondial. La plupart de cette production énergétique est consommée dans les pays en développement, où entre deux et trois milliards de personnes dépendent de la biomasse solide (bois, charbon de bois, déchets agricoles et animaux)

La recherche dans le domaine de bioénergie et environnement nous aide à protéger l'environnement en produisant un carburant non polluant et peu coûteuse, et autres formes de bioénergie (sous forme de chaleur ou d'électricité issues de la combustion de la biomasse, la gazéification et la pyrolyse).

## 2. La bioénergie :

Toute sorte d'énergies dérivées de la biomasse par des conversions thermochimiques ou biochimiques.

Dans des conditions d'exploitation durable, ces énergies sont considérées comme renouvelables et neutres en carbone. Les différents types de bioénergie en détail sont :

- ✓ **Les dendroénergies**, issues de la production de matière organique par les arbres et par les extraits au travers l'exploitation forestière. Il s'agit essentiellement des
- ✓
- ✓ Combustibles ligneux solides, mais il existe des processus pour produire des combustibles liquides ou gazeux [1],
- ✓ **Les agroénergies**, issues de la production agricole au travers de la conversion des cultures, des sous-produits et des déchets agricoles en combustibles solides (pailles), liquides (biocarburants) ou gazeux (biogaz) ;
- ✓ **Les énergies de la biomasse algale**, collectée localement au sein d'algoculture en bassin en réacteurs.
- ✓ Les énergies issues des **déchets organiques domestiques et industriels**. Ces dernières sont exploitées soit par combustion avec **cogénération** d'énergie thermique et électrique, soit par méthanisation et transformation en biogaz.

### ➤ Sources de la bioénergie :

La biomasse forestière utilisée pour la production de bioénergie est dérivée de nombreuses sources :

- Les arbres morts et assez âgés
- Les résidus de récolte [2]

Les sous-produits des procédés forestiers industriels offrent une autre source de biomasse qui peut être transformée en bioénergie. Au nombre de ces sous-produits, on compte les déchets de bois (comme la sciure, l'écorce et les copeaux) dérivés des activités de récolte et de transformation, et les résidus de pâte (comme la « liqueur noire », riche en lignine) issus des procédés de réduction en pâte.

## Développement d'un système de production du biodiesel à partir d'huile utilisé

Pour que la biomasse serve efficacement à la production d'énergie, elle doit être offerte à un prix concurrentiel et son utilisation à cette fin doit avoir des incidences minimales sur l'environnement. La qualité de la biomasse doit aussi présenter des propriétés optimales pour la conversion en énergie et son utilisation finale.

Pour répondre à ces critères, on a développé des techniques de récolte et des traitements spéciaux appliqués après récolte. De plus, la recherche du Service canadien des forêts dans ce domaine continue de mettre l'accent sur :

- La découverte d'un plus grand nombre de sources, tant pour la biomasse existante que pour la biomasse nouvelle ;
- L'élaboration de méthodes efficaces pour la culture, la récolte et la collecte de la biomasse et son transport vers les sites où elle sera convertie en biocombustible ;
- La démonstration de la durabilité de l'approvisionnement accru en biomasse.

### 3. La biomasse :

La définition de la biomasse est indiquée par la directive européenne N° 2003/30/CE du 8 mai 2003: « La biomasse est la fraction biodégradable des produits, déchets et résidus provenant de l'agriculture (y compris les substances végétales et animales), de la sylviculture et de leurs industries connexes, ainsi que la fraction biodégradable des déchets industriels et municipaux »[3]

Toutes ces matières organiques peuvent devenir source d'énergie par combustion (ex : bois énergie), après méthanisation (biogaz) ou après de nouvelles transformations chimiques (bio-carburant).

La biomasse constitue la 1ère source d'énergies renouvelables produites dans le monde, devant l'énergie hydraulique, géothermique et éolienne.

Les différents types de la biomasse sont :

- ✓ Biomasse lignocellulosique
- ✓ Biomasse glucidique
- ✓ Biomasse oléagineuse
- ✓ Biomasse algale

#### 3.1. Les Différents Types De Biomasse :

La biomasse se présente sous des formes très diverses : boue, solide, liquide, , poussière de bois, granulés, etc. et possède des caractéristiques parfois très différentes.

Elle recouvre :

- **Biomasse lignocellulosique** : La lignocellulose est le premier constituant de la matière végétale. L'énergie que l'on pourrait tirer des ressources lignocellulosiques est considérable. On estime que seule la moitié de la biomasse végétale récupérable est effectivement utilisée. Pour valoriser ce type de biomasse, on utilise soit la technique dite de voie sèche ; c'est une conversion thermochimique (pyrolyse, combustion ou gazéification), soit la voie humide ou biochimique (la méthanisation, hydrolyse enzymatique, etc.). Les ressources exploitables proviennent:

- Des résidus agricoles;
- Des déchets de l'industrie du bois (sciures, rebuts) et du papier (papiers usagés, liqueurs noires);

## Développement d'un système de production du biodiesel à partir d'huile utilisé

- Des résidus d'exploitation forestière
- D'autres déchets organiques, solides ou liquides;
- Cultures dédiées;
  - **Biomasse glucidique** : Elle se compose de substance à forte teneur glucidique facilement hydrolysable. La fermentation est le procédé le plus adéquat pour convertir cette biomasse en bioéthanol. Ce sont:
    - Canne à sucre ;
    - Betteraves sucrière;
    - Céréales;
  - **Biomasse oléagineuse** : Cette biomasse est riche en lipide et peut être utilisée comme carburant, elle subit une transestérification pour être convertie en EMHV (Esters Méthylique d'Huile Végétale) ou en EEHV (Esters Ethylique d'Huile Végétale) selon la réaction de transestérification qu'on utilise soit du méthanol ou soit de l'éthanol comme alcool.
    - Huile de colza;
    - Huile de tournesol;
    - Biomasse des déchets
    - Palmier à huile;
    - Pourghère;
  - **Biomasse algale** : la biomasse issue aquatiques et des micro-organismes ou des algues marines.

### 4. Les différents voies de valorisation énergétique de la biomasse :

Le type de biomasse nous permet de nous orienter vers le mode de conversion qui convient. Nous distinguons deux types de conversions :

- Les conversions biochimiques
- Les conversions thermochimiques

#### 4.1. Les conversions thermochimiques de la biomasse :

Les trois principales conversions thermochimiques de la biomasse couramment développées correspondent à la combustion, la pyrolyse, et à la gazéification [4].

Le **tableau 1.1** précise pour chaque transformation les conditions en température et atmosphère ainsi que les produits obtenus. Seule la pyrolyse et la gazéification sont étudiées dans ce chapitre

## Développement d'un système de production du biodiesel à partir d'huile utilisé

Transformations thermochimiques	Temperature	Atmosphere	Produits
<b>Pyrolyse</b>	< 700°C	Inert (absence de O <sub>2</sub> )	Solid carboné (charbon) + liquid (goudrons)+Gaz
<b>Gazification</b>	>800°C	Gaz réactif air, O <sub>2</sub> , CO <sub>2</sub> , H <sub>2</sub> O, etc..	Essentiellement mélange gazeux H <sub>2</sub> , CO, CO <sub>2</sub> et CH <sub>4</sub>
<b>Combustion</b>	>900°C	O <sub>2</sub> (air)	CO <sub>2</sub> +H <sub>2</sub> O

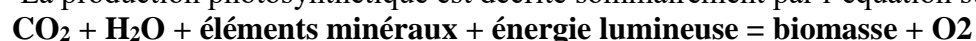
**Tableau 1. 1 : Tableau récapitulatif des conditions opératoires des différentes transformations thermochimiques [5]**

### ➤ La combustion directe

Pour que la combustion soit possible ; il faut réunir en même temps une matière combustible, un corps comburant (oxygène ; air...) qui, se combinant, produit la combustion et une énergie pour le démarrage de la réaction chimique de combustion. La conversion thermochimique est adaptée aux caractéristiques du bois.

Elle permet de valoriser tous les composants du bois et utilise une matière première sèche.

La production photosynthétique est décrite sommairement par l'équation suivante :



Les utilisations de la biomasse comme combustible s'inscrivent dans le cycle naturel du carbone :

### **Combustion biomasse = CO<sub>2</sub> + H<sub>2</sub>O + Cendres + énergies**

Au cours de la combustion directe, le bois est décomposé par la chaleur dans le foyer en gaz et en charbon de bois. Le contact avec l'air comburant provoque l'oxydation des gaz chauds et la gazéification du charbon de bois en gaz combustibles , environ 80 à 90% du poids du bois est transformé en gaz durant cette phase[6].

Les gaz combustibles issus du bois sont les suivants : monoxyde de carbone (CO), hydrogène (H<sub>2</sub>) et hydrocarbures (C<sub>m</sub>H<sub>n</sub>). Ces gaz doivent être brûlés dans la chambre de combustion, sans quoi ils polluent l'atmosphère. Le but de la combustion est donc de convertir totalement l'énergie chimique du bois en chaleur, par oxydation.

### ➤ La Pyrolyse

Prise dans son sens étymologique de pyro (feu) et lyse (coupure), la pyrolyse est le processus primaire de décomposition thermique de la biomasse , cette réaction produit des gaz

## Développement d'un système de production du biodiesel à partir d'huile utilisé

permanents. Des vapeurs condensables et un solide en proportion variable selon les conditions opératoires et qui peuvent être valorisés à différents niveaux. Par extension, elle recouvre les procédés de valorisation thermique de la biomasse en l'absence d'oxygène.

### ➤ La gazéification

D'un point de vue technique, la gazéification permet de transformer des combustibles solides hétérogènes en un combustible gazeux homogène et facilement utilisable. Il convient de signaler que la gazéification est une technologie simple et largement éprouvée notamment à partir du charbon [7]. Les perspectives ouvertes alors sont l'utilisation de technologies de production d'électricité à fort rendement à la fois pour de petites et moyennes puissances (moteurs thermiques) ou de grandes puissances (turbine à gaz) à partir de la biomasse.

La réaction globale étant fort complexe, il nous semble important d'en préciser les mécanismes de façon un peu plus fondamentale, cette approche permet de comprendre où se situent les obstacles qui se développeraient dans le domaine de la biomasse énergie.

Cette décomposition joue un rôle particulièrement important dans les procédés car elle conditionne :

- Le charbon, sa concentration en carbone, sa surface spécifique et plus généralement sa réactivité en particulier vis à vis de la gazéification ultérieure avec  $H_2O$  ou  $CO_2$
- Les gaz (ou matières volatiles), qui selon le combustible initial peuvent représenter de 0 à 80 % de la masse totale. Il est possible de les décomposer en deux types :
  - ❖ Les gaz non-condensables, composés majoritairement d'un mélange de gaz combustibles ( $CO$  et hydrocarbures) et de dioxyde de carbone.
  - ❖ Les goudrons (matières volatiles condensables), composés de masses moléculaires plus ou moins élevées et à caractères aromatiques, ils sont liquides jusqu'à des températures relativement élevées (400-500 °C)

Ces goudrons, formés pendant cette étape de pyrolyse, nécessitent une attention particulière puisqu'ils sont généralement non complètement oxydés et qu'une partie d'entre eux après des recombinaisons plus ou moins importantes se retrouvent dans les gaz et perturbent leur utilisation.

**L'oxydation homogène** entre les matières volatiles et l'oxygène de l'air va permettre de produire de l'énergie d'une part, et la vapeur d'eau et le dioxyde de carbone nécessaire à la gazéification d'autre part. Il convient également de préciser que la vapeur d'eau provient aussi de l'humidité initiale de la biomasse brute. Les cinétiques d'oxydation homogène pour les hydrocarbures. L'hydrogène et le monoxyde de carbone sont très rapides (quelques dixièmes de secondes) et bien connues.

**L'oxydation hétérogène** du charbon permet d'apporter un complément énergétique aux procédés, dans les cas où la part due aux oxydations homogènes s'avèreraient insuffisantes. Cette réaction doit toutefois être réduite au minimum, dans la mesure où elle consomme du charbon qui n'est par conséquent, plus disponible pour la réaction de gazéification. De plus, la problématique des cendres décrite plus haut apparaît ici aussi comme une contrainte forte liée à cette réaction.



## Développement d'un système de production du biodiesel à partir d'huile utilisé

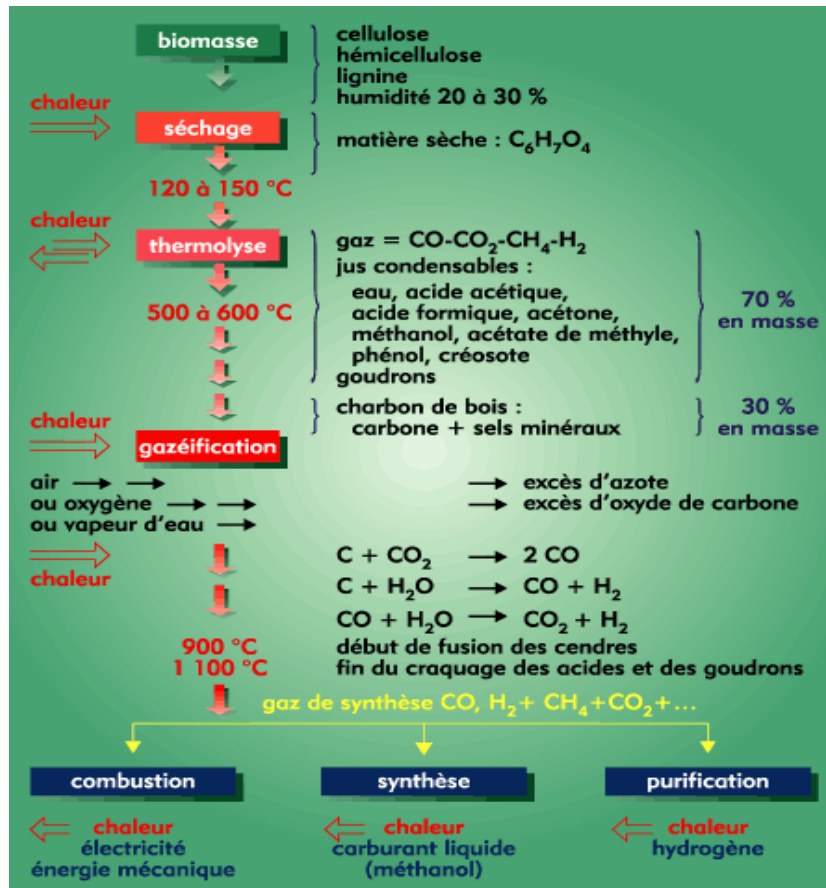


Figure 1 .1. Principales réactions intervenant dans la gazéification [8]

### ➤ Nature des gaz produits

Lors de la gazéification, la partie organique du combustible est transformée principalement en monoxyde de carbone CO et en hydrogène H<sub>2</sub> et dans des proportions plus faibles en méthane CH<sub>4</sub>. Selon le type de réacteur mais surtout de gaz de réaction la somme H<sub>2</sub>+CO varie dans de fortes proportions et peut représenter jusqu'à 80% dans le cas de gaz de synthèse obtenus par gazéification à l'oxygène[9].

Ces gaz contiennent aussi divers gaz inertes: vapeur d'eau H<sub>2</sub>O azote N<sub>2</sub> et dioxyde de carbone CO<sub>2</sub> (en proportion variable en fonction des procédés et de la matière première); ainsi que divers composés à l'état de traces. Dont les proportions sont directement liées à la nature du combustible HCl HF, NH<sub>3</sub> HCN métaux lourds volatils à basses températures, etc. .... Enfin, une part plus ou moins importante de composés hydrocarbonés, les goudrons résultant de la pyrolyse, peuvent être présents dans les gaz, en fonction du type de réacteurs utilisés et, une fois encore, de la qualité de la matière première.

### ➤ Le traitement des gaz

Les gaz de gazéification sont généralement chargés de nombreux éléments gênants (poussières, alcalins, goudrons, cendres, etc. ...) qu'il est nécessaire d'éliminer avant valorisation énergétique. La qualité des gaz, qui est la résultante de l'ensemble des réactions intermédiaires citées précédemment, va être dépendante de la conception même du réacteur de gazéification mais aussi de la matière première.

- La séparation des particules ou poussières

## Développement d'un système de production du biodiesel à partir d'huile utilisé

- **Elimination des goudrons**
- **Le traitement thermique**
- **Le craquage catalytique**
- **Le lavage humide**
- **La condensation forcée**

### ➤ **Les applications de la gazéification**

Le gaz produit par gazéification de la biomasse est un mélange de CO, H<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub> et d'hydrocarbures lourds plus ou moins dilués avec de la vapeur d'eau et de l'azote. Son pouvoir calorifique (PCI) varie de 3,5 à 6 MJ/Nm<sup>3</sup> selon le procédé et les agents de gazéification utilisés (air, oxygène, vapeur d'eau,...). Selon ses caractéristiques (PCI, composition,...) il peut être utilisé de façon fort différente. Ne seront retenues ci-après que les options relatives à la production d'électricité même si les applications thermiques sont assez largement éprouvées[10]

- ✓ La combustion directe
- ✓ La combustion dans les moteurs
- ✓ Les turbines à gaz
- ✓ Les piles à combustible

### ➤ **Avantages de la gazéification**

La technologie de gazéification offre l'opportunité d'utiliser les équipements modernes de production d'électricité tels que les turbines à gaz pour la cogénération de chaleur et d'électricité infiniment plus performantes que les solutions traditionnelles peu efficaces issue des cycles à vapeur. Ses principaux avantages peuvent être résumés ainsi

- ✓ Rendement électrique élevé avec les turbines à gaz et les moteurs, même sur de petites puissances Cette amélioration des rendements permet une augmentation de tailles des installations biomasse sans accroître le rayon d'approvisionnement ce qui à un impact significatif sur les coûts d'investissements et d'approvisionnement.
- ✓ diminution significative des coûts de réduction des émissions du fait des faibles volumes de gaz mis en jeu par rapport à la combustion. La gazéification est une technique d'autant plus intéressante que l'on attache un grand intérêt aux problèmes de pollution et d'environnement. En effet, au-delà de l'aspect substitution, avec ces procédés il est possible de mieux contrôler les émissions.

## 4.2. **Les conversions biochimiques de la biomasse**

Après avoir étudié les conversions thermochimiques de biomasse qui représentent plus de 95% des valorisations énergétiques de biomasse, passons maintenant aux conversions biochimiques qui sont des processus naturels de décomposition par action des bactéries. Mais elles peuvent être contrôlées de façon à obtenir un combustible facilement exploitable. Deux filières de conversion biochimique de la biomasse sont particulièrement intéressantes:

- **La fermentation alcoolique**
- **La biométhanisation ou digestion anaérobie**

### ➤ **La fermentation alcoolique**

Elle utilise des levures pour dégrader la matière organique par voie aérobie. Deux familles de biocarburants sont actuellement développées:

- les esters d'huiles végétales (ester de colza incorporé dans le gazole ou le fioul domestique, ester de tournesol actuellement testé pour être incorporé dans un premier temps au fioul)[11];
- l'éthanol, produit à partir de blé et de betteraves, incorporable dans le supercarburant sans plomb sous forme d'Ethyl Tertio Butyl Ether (ETBE)[12].

## Développement d'un système de production du biodiesel à partir d'huile utilisé

La fermentation alcoolique ne concerne que certaines catégories de biomasses. Il s'agit principalement des sous produits à forte teneur en glucides, surtout les amidons et les sucres libres. Il est également possible d'utiliser certains résidus végétaux tels que les rafles de maïs ou encore les papiers-cartons. Le traitement de biomasses lignocellulosiques exige toutefois une opération de prétraitement destinée à éliminer la lignine, généralement par hydrolyse alcaline, ce qui conduit à des surcoûts importants[13].

Le principe de la fermentation se décompose en trois opérations principales dans des installations de type industriel:

- **hydrolyse:** hydrolyse enzymatique par macération dans une solution contenant une ou plusieurs enzymes hydrolytiques. Nous travaillons à 50°C, parfois jusqu'à 80-90°C, en milieu acide. Nous obtenons après neutralisation et filtration un sirop de sucre et des résidus.
- **fermentation:** le sirop est introduit dans le fermenteur puis inoculé à l'aide d'une culture de levures. Nous opérons classiquement à 30-40°C. Des recherches sont effectuées pour travailler avec des souches thermophiles et à hautes pressions afin de permettre une extraction continue de l'alcool produit.
- **distillation:** c'est l'opération classique de récupération de l'alcool éthylique produit par vaporisation. Il convient de noter qu'elle engendre un investissement de la même importance que celui du fermenteur. Finalement, nous obtenons d'une part de l'alcool éthylique, valorisable comme carburant de substitution ou comme produit de base pour l'industrie chimique. Les autres co-produits sont un effluent et un résidu solide.

La fermentation alcoolique est surtout développée pour traiter les résidus végétaux de l'industrie sucrière, notamment les mélasses qui contiennent encore 50% de glucides. C'est ainsi que nous estimons que 3,5 à 4 tonnes de mélasse peuvent permettre la production d'une tonne d'alcool éthylique.

Les applications sont celles couvertes par les moteurs classiques (transport, agriculture, industrie, électrification) et les brûleurs de chaudières ou de séchoirs.

Equivalence en volume des huiles végétales : 1,1 litres pour 1 litre de fioul/gazole

Equivalence en volume de l'éthanol 95 : 1,6 litres pour 1 litre d'essence.

Les huiles végétales sont utilisables dans les moteurs Diesel à injection indirecte après quelques adaptations simples. Les moteurs diesel à injection directe doivent être modifiés (piston, injection).

Les esters (éthyliques ou méthyliques ) d'huiles végétales sont utilisables dans tout type de moteurs Diesel.

### ➤ **La biométhanisation ou digestion anaérobie**

La fermentation anaérobie est l'un des processus qui contribue à la dégradation des matières organiques mortes, végétales ou animales et à leur transformation en éléments simples, gazeux et minéraux. Ainsi s'entretiennent les cycles biologiques où « rien ne se perd, rien ne se crée, tout se transforme »[14].

Elle se réalise en absence d'oxygène, ce qui permet de stabiliser les matières organiques en les transformant le plus complètement possible en gaz (méthane CH<sub>4</sub> (50 à 75%) et de gaz

## Développement d'un système de production du biodiesel à partir d'huile utilisé

carbonique CO<sub>2</sub> (25 à 50%)[15]. Des communautés microbiennes complexes sont responsables de cette décomposition. Qui se divise en quatre étapes principales.

Les produits résultants de la dégradation peuvent être classés en deux catégories, le biogaz et le digestat. Le biogaz est un mélange de méthane (CH<sub>4</sub>), de dioxyde de carbone (CO<sub>2</sub>) et de vapeur d'eau (H<sub>2</sub>O). Le méthane est le principal constituant du gaz naturel. Le digestat est le résidu liquide contenant les matières non dégradées.

Une installation de biométhanisation permet non seulement de prévenir la pollution, mais aussi de produire de l'énergie, et du compost. La biométhanisation, ou digestion anaérobie, peut transformer un problème de déchets en une source de richesses. Cette technologie devient essentielle dans le processus de réduction des déchets et la production du biogaz: énergie renouvelable. De plus, des coproduits solides sont valorisables, tel le compost dans l'agriculture[16].

### A. Etapes microbiologiques et biochimiques de la méthanisation

L'ensemble des réactions, multiples et complexes, se déroulant dans un digesteur peut se diviser en quatre étapes principales caractéristiques de l'action de différents groupes de micro-organismes: hydrolyse, fermentation acidogène (acidogénèse), acétogénèse et méthanogénèse (Figure I. 2).

- **Hydrolyse** par laquelle les macromolécules qui constituent la matière organique se décomposent en petites molécules solubles, à l'origine du jus de fermentation : par exemple, la cellulose est transformée en sucres solubles tels que le glucose ou le cellobiose.
- **Acidogénèse** : les molécules simples (monomères) sont transformées sous l'effet des bactéries en acides de faible poids moléculaire (acide lactique et acides gras volatils) et des alcools tels l'éthanol. Du bicarbonate et de l'hydrogène moléculaire sont produits.
- **Acétogénèse**: C'est ici qu'interviennent des bactéries réductrices acétogènes et des bactéries sulfato-réductrices pour transformer certains produits issus des phases précédentes (acides gras volatils et alcools) en H<sub>2</sub>, CO<sub>2</sub> et acétate. En présence de sulfate, de l'hydrogène sulfuré (H<sub>2</sub>S) est aussi généré lors de cette étape de transformation;
- **Méthanogénèse**: dernière phase au cours de laquelle l'acétate (CH<sub>3</sub>COO<sup>-</sup>), l'hydrogène et le bicarbonate (HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>) sont convertis en méthane par des micro-organismes méthanigènes.

Enfin les bactéries méthanogènes utilisent dans cette étape les précurseurs suscités pour produire du méthane Les réactions sont les suivantes :

**Réduction du CO<sub>2</sub> :**  $\text{CO}_2 + 4\text{H}_2 \longrightarrow \text{CH}_4 + 2\text{H}_2\text{O}$  (env. 30% du méthane produit).

**Décarboxylation de l'acide acétique :**



Ces étapes biochimiques et microbiologiques se déroulent simultanément ou séparément et à différentes vitesses suivant le procédé anaérobie utilisé.

En effet, l'hydrolyse des composés lignocellulosiques limite l'ensemble des réactions.

Par contre, la phase acidogène est la plus rapide et, selon la quantité du substrat, il peut se produire une accumulation d'acides gras volatils.

## Développement d'un système de production du biodiesel à partir d'huile utilisé

La stabilité de la fermentation dépend de l'équilibre de ces phases et de l'activité des différentes flores.

Les bactéries réductrices du  $\text{CO}_2$  et les sulfatoréductrices, en compétition avec les méthanogènes, assurent le maintien de la pression partielle en  $\text{H}_2$  dont l'accumulation serait toxique. De la même façon, les bactéries acétoclastes préviennent l'accumulation des acides. Ainsi, suivant le substrat considéré, l'étape limitante sera différente. Dans le cas de produit lignocellulosiques, il y a peu de risques d'intoxication par accumulation d'acides, ce qui n'est pas le cas pour des effluents liquides à forte teneur en matière organique dissoute.

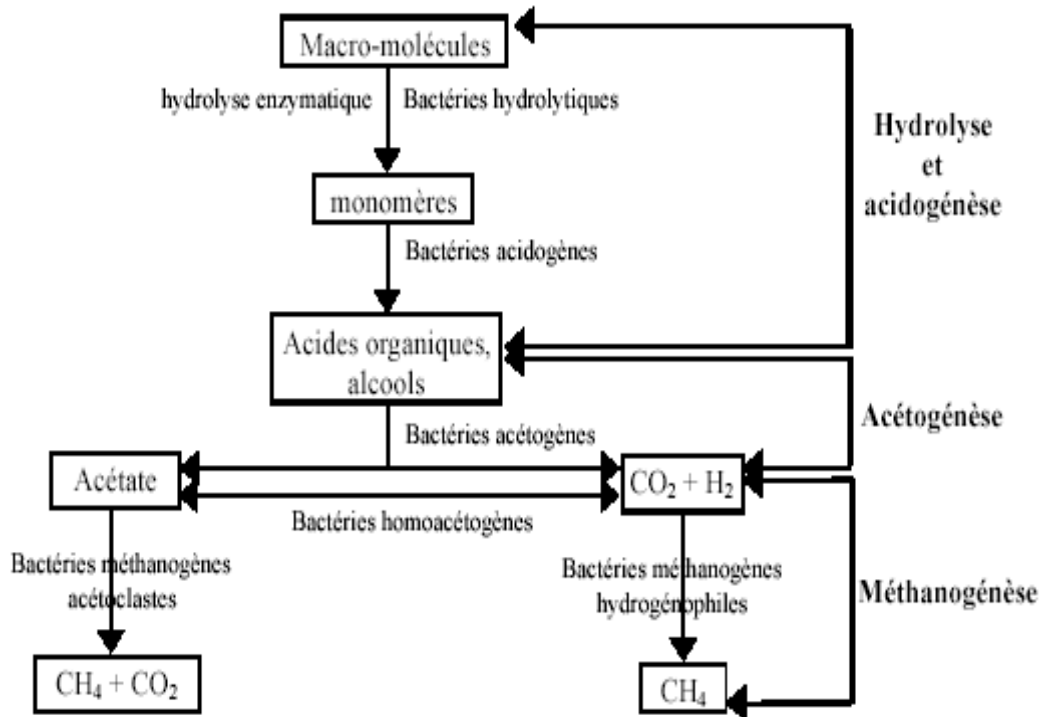


Figure 1. 2 Schéma de la digestion anaérobie des déchets et effluents organiques[17]

### B. Les enjeux de la méthanisation

Les enjeux de la méthanisation sont multiples et concernent plusieurs acteurs selon leurs points de vue. Les collectivités locales et autres sociétés de services, les industriels et même les agriculteurs voient la méthanisation comme un moyen de traiter leurs déchets à faible coût mais sont peu réceptifs à la valorisation énergétique pour différentes raisons (problèmes d'exploitation, coût, manque d'information). La méthanisation semble être, par contre, un enjeu important et de long terme pour l'ensemble de la société en ce qui concerne le bilan énergétique global et les problèmes écologiques dus à l'effet de serre résultant de l'utilisation des énergies fossiles.

La méthanisation est dite une technologie propre. Nous pouvons néanmoins considérer que les enjeux sont de deux types : les enjeux environnementaux et les enjeux économiques.

#### ✚ A. Enjeux environnementaux

Pour ce qui concerne l'environnement, les enjeux sont les suivants :

- la méthanisation permet de stabiliser les déchets organiques et de résoudre différents problèmes de pollution (désodorisation, dégradation...). Le taux de réduction de la demande

## Développement d'un système de production du biodiesel à partir d'huile utilisé

chimique en oxygène varie entre 50 et 60 %. Le produit résiduel ne peut néanmoins moins pas être rejeté n'importe où sans traitement complémentaire car la méthanisation n'a aucun effet sur les nitrates. Par contre, la méthanisation permet d'effectuer une désodorisation efficace.

- La méthanisation permet d'obtenir des taux élevés d'élimination des polluants organiques et des germes pathogènes.
- L'utilisation du biogaz résultant de la méthanisation permet de remplacer les énergies fossiles par une énergie issue de la biomasse et donc incorporée au cycle de l'équilibre biologique global.
- La méthanisation contribue ainsi à l'effet de serre car le gaz qu'elle rejette dans l'atmosphère appartient à la biomasse qui a su l'assimiler pour sa croissance. En définitive, l'utilisation du méthane a un impact positif sur notre environnement et propose des solutions à des problèmes écologiques graves et dont l'importance ne fera qu'augmenter au cours des années.

### B. Enjeux économiques

Les enjeux économiques de la valorisation du biogaz sont :

- La méthanisation permet de stabiliser les déchets organiques à moindre coût.
- Elle donne ainsi une valeur économique à la production de déchets organiques.
- Elle permet aussi de produire une énergie renouvelable et locale.
- Elle est d'autant plus un atout vu l'accroissement du prix des énergies fossiles.

La biométhanisation présente toutefois quelques inconvénients dont :

- En outre, le biogaz est un gaz hautement inflammable et nécessite, de ce fait, un certain nombre de mesures de sécurité.
- Enfin, la biométhanisation ne constitue pas une solution définitive aux problèmes de pollution posés par certains déchets ou rejets : les effluents industriels nécessitent souvent une étape de finissage aérobie, les excédents en azote et en phosphates provenant des élevages ne sont pas éliminés et le volume des déchets méthanisés n'est diminué que de 10 à 20 %.

## 5. Les biocarburants :

### 5.1. Le biogaz:

Le biogaz est un mélange composé essentiellement de méthane (CH<sub>4</sub>) et de gaz carbonique (CO<sub>2</sub>). Suivant sa provenance, il contient aussi des quantités variables d'eau ; d'azote ; d'hydrogène sulfuré (H<sub>2</sub>S), d'oxygène, d'aromatiques, de composés organo- halogénés (chlore et fluor) et des métaux lourds, ces trois dernières familles chimiques étant présentes à l'état de traces. Le biogaz est produit par un processus de fermentation anaérobie des matières organiques animales ou végétales, qui se déroule en trois étapes (hydrolyse, acidogènes et méthanogènes) sous l'action de certaines bactéries, Il se déroule spontanément dans les centres d'enfouissement des déchets municipaux, mais on peut le provoquer artificiellement dans des enceintes appelées "digesteurs" où l'on introduit à la fois les déchets organiques solides ou liquides et les cultures bactériennes. Cette technique de méthanisation volontaire peut s'appliquer [18]:

## Développement d'un système de production du biodiesel à partir d'huile utilisé

- Aux ordures ménagères brutes ou à leur fraction fermentescible,
- Aux boues de stations d'épuration des eaux usées urbaines ou industrielles,
- Aux déchets organiques industriels, (cuirs et peaux, chimie, parachimie,),
- Ainsi qu'aux déchets de l'agriculture et de l'élevage (lisier, fumier...).

Les voies de valorisation du biogaz sont : chaleur seule, électricité seule, cogénération, carburant automobile, injection dans le réseau de gaz naturel.

Le biogaz repose sur une réaction universelle à la base du cycle de la matière.

Trois familles de bactéries vivant en symbiose dans un milieu anaérobie, c'est-à-dire dépourvu d'air ou d'oxygène, produisent du méthane et du gaz carbonique à partir de la matière organique disponible. Le principe du biogaz est d'élever ces bactéries afin de capter leurs émissions de gaz combustible.

\*La composition du biogaz

La composition du biogaz et particulièrement la proportion en méthane et en dioxyde de carbone, dépend de la qualité du substrat traité[19].

\*Valorisation énergétique du biogaz

Le biogaz est utilisé en tant que combustible ou carburant pour éviter le rejet à l'atmosphère du méthane, gaz participant à l'effet de serre.

Il peut servir à la production de la chaleur ou de l'électricité ou les deux à la fois (co-génération). Par ailleurs, il peut aussi être injecté dans les réseaux locaux de gaz naturel[20].

Le biogaz est utilisé en tant que combustible ou carburant pour éviter le rejet à l'atmosphère du méthane, gaz participant à l'effet de serre.

Il peut servir à la production de la chaleur ou de l'électricité ou les deux à la fois (co-génération). Par ailleurs, il peut aussi être injecté dans les réseaux locaux de gaz naturel.

Les quantités de biogaz récupérées lors du traitement des effluents sur les installations anaérobies peuvent être importantes et l'économie énergétique non négligeable.

\*Le stockage du biogaz :

A l'échelle de la ferme, le biogaz peut être stocké dans des gazomètres à basse pression, soit à l'eau (type cloche), soit sec (type ballon gonflable). A l'échelle industrielle, le méthane peut être liquéfié et transporté en l'état (méthanier) ou mis en réserve dans des poches souterraines, tout comme le gaz naturel[21].

\*L'épuration du biogaz :

A la sortie du digesteur, le biogaz renferme, outre le méthane, des quantités appréciables de gaz carbonique et d'hydrogène, des traces d'azote, d'oxyde de carbone, sulfure d'hydrogène, d'ammoniac ainsi que hydrocarbures et de l'eau. L'épuration du biogaz permet de :

Améliorer le calorifique ;

Diminuer le volume de stockage.

Supprimer l'effet corrosif dû à la présence de l' $H_2S$ ,  $CO_2$  et l' $H_2O$  ;

Supprimer les mauvaises odeurs dues à la présence d' $H_2S$  (ouf pourri).

## Développement d'un système de production du biodiesel à partir d'huile utilisé

L'épuration consiste en l'élimination principalement de trois composées :

- Le gaz carbonique ;
- Le sulfure d'hydrogène ;
- L'eau.

L'épuration du biogaz pour atteindre les normes du gaz naturel peut s'effectuer de différentes manières : absorption dans un liquide ; adsorption sur un solide, etc.

\*L'épuration de sulfure d'hydrogène :

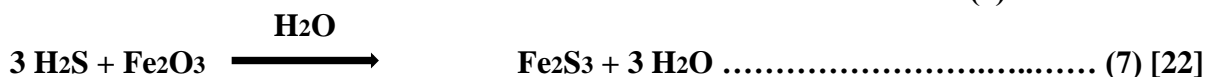
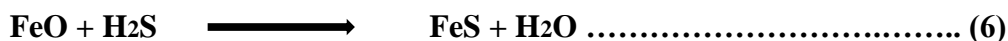
Le sulfure d'hydrogène est un gaz incolore très toxique même à petites concentrations, il a une odeur caractéristique « d'ouf pourri ». Le sulfure d'hydrogène provient, dans les installations de biogaz, de la transformation des protéines contenant de soufre, issues elles même des plantes ou des déchets d'aliments. Le soufre minéral, particulièrement les sulfates, peut même être aussi convertis biochimiquement en sulfure d'hydrogène dans le réacteur de fermentation. Les déchets riches en protéines (par exemple les mélasses, etc.) peuvent produire de grandes quantités d'hydrogène sulfure (plus 3% en volume). Les sulfates minéraux (provenant d'eaux de rinçage ou de dilution) produisent également des quantités non négligeables d'H<sub>2</sub>S.

La présence d'H<sub>2</sub>S dans le biogaz le rend corrosif pour les métaux. La combustion sulfure d'hydrogène produit de l'acide sulfurique, composé très corrosif pour les appareils de chauffage, les cuisinières, les moteurs, etc.



L'épuration de sulfure d'hydrogène peut se faire par un passage sur de la limaille de fer. Cette technique est simple à mettre en oeuvre : il s'agit de faire circuler le gaz à travers une masse épurant d'oxyde de fer. La régénération du produit est possible mais délicate à réaliser.

### Epuration :





## Développement d'un système de production du biodiesel à partir d'huile utilisé

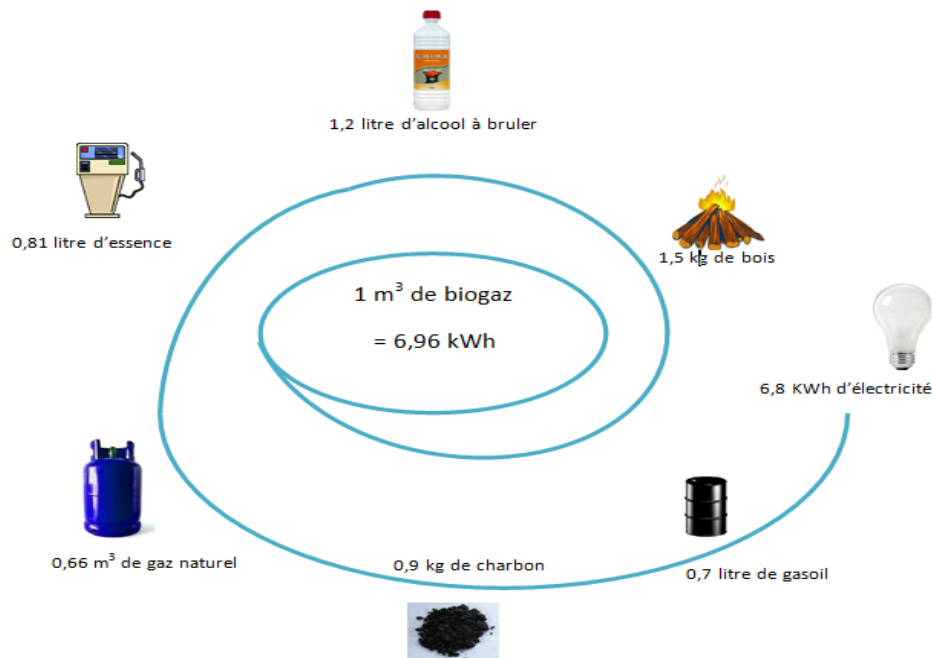
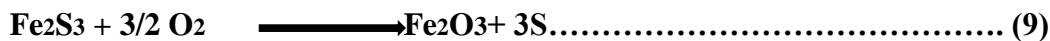
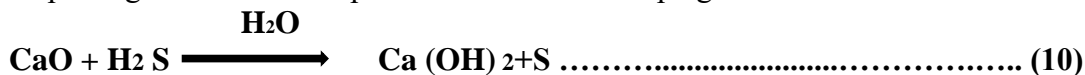


Figure 1. 3 Equivalent énergétique d'un mètre cube de biogaz



On peut également faire l'épuration de l'H<sub>2</sub>S en le piégeant dans l'eau et de la chaux ;



On peut aussi éliminer le sulfure d'hydrogène et même le gaz carbonique par lavage à l'eau. Le CO<sub>2</sub> et l'H<sub>2</sub>S sont très solubles, dans l'eau, le CH<sub>4</sub> est peu soluble. La solubilité des gaz dans l'eau croît lorsque la pression augmente et quand la température diminue. Un laveur est généralement constitué de deux étages, un pour l'épuration de gaz, et l'autre pour la régénération de l'eau par aération. La mise au point de ces appareils est assez délicate ; car il faut déterminer les débits de gaz ; d'eau ; le volume du laveur et la qualité du garnissage utilisé. Il y a plusieurs façons de purifier le biogaz. Parmi les procédés de traitement du biogaz, la plus poussée est celle qui consiste à l'épurer de façon à atteindre les normes du gaz naturel.

Fermentescibles contenus dans la biomasse en présence d'une levure, *Saccharomyces cerevisiae* qui est l'une des levures utilisées lors de la fermentation des sucres. Le bioéthanol peut être produit à partir :

- de substrats riches en sucrose (canne à sucre, betterave sucrière, etc.), en amidon (maïs, orge, blé, pomme de terre, etc.),

## Développement d'un système de production du biodiesel à partir d'huile utilisé

### 5.2. Bioéthanol :

Les biomasses sucrées, amylacées (riches en amidon) ou oléagineuses (riches en huiles) peuvent être utilisées pour la production de **biocarburants**. **L'éthanol**

L'éthanol  $\text{CH}_3\text{-CH}_2\text{-OH}$  est le produit de la fermentation des sucres. Le bioéthanol est l'éthanol élaboré à partir de la biomasse. Il est obtenu par la fermentation des sucres fermentescibles contenus dans la biomasse en présence d'une levure, *Saccharomyces cerevisiae* qui est l'une des levures utilisées lors de la fermentation des sucres. Le bioéthanol peut être produit à partir :

- de substrats riches en sucrose ( betterave sucrière, canne à sucre , etc.), en amidon (maïs, orge, blé, pomme de terre, etc.), - de substrats celluloseux tels que les résidus agricoles (la paille ou les cannes de maïs), les résidus forestiers, cultures énergétiques, - microalgues. Le bioéthanol contient 35% d'oxygène, ce qui permet une réduction d'émission de matière particulaire. L'utilisation de bioéthanol réduit de 7% la quantité de  $\text{CO}_2$  émise par rapport à l'essence. Par ailleurs, le bioéthanol se caractérise par un indice d'octane très élevé. Un fort indice d'octane indique une résistance élevée à la détonation provoquée par un allumage prématuré assurant une haute performance du moteur, notamment sur le plan de la puissance développée. L'éthanol joue à ce titre le rôle des dérivés du plomb autrefois présents dans l'essence.

### 5.3. L'huile végétale ou le biodiesel :

Voie dite BtL (biomass to liquid). Ces biocarburants diesel sont obtenus en transformant, dans une première étape, par gazéification à haute température, la biomasse lignocellulosique (bios, pailles, cultures dédiées, déchets végétaux) afin obtenir un 'gaz de synthèse', qui sera ensuite transformé, suivant le procédé dit de fisher-tropsch, en un "gazole de synthèse " ayant des propriétés très intéressantes.

Les carburants de synthèse obtenus offrent de nombreux avantages : ils sont d'excellentes qualités car sans soufre et sans composés aromatiques, lesquels contribuent à la formation des suies. De plus, ils permettent de réduire très fortement les émissions de gaz à effet de serre. Enfin, ils peuvent être utilisés dans les moteurs actuels – purs ou en mélange dans les gazoles- et être distribués par les circuits existants. Comme l'indique le schéma de valorisation, nous allons procéder à la gazéification de la biomasse lignocellulosique puis la réaction de fisher-tropsch conduisant au biodiesel de synthèse.

## Développement d'un système de production du biodiesel à partir d'huile utilisé

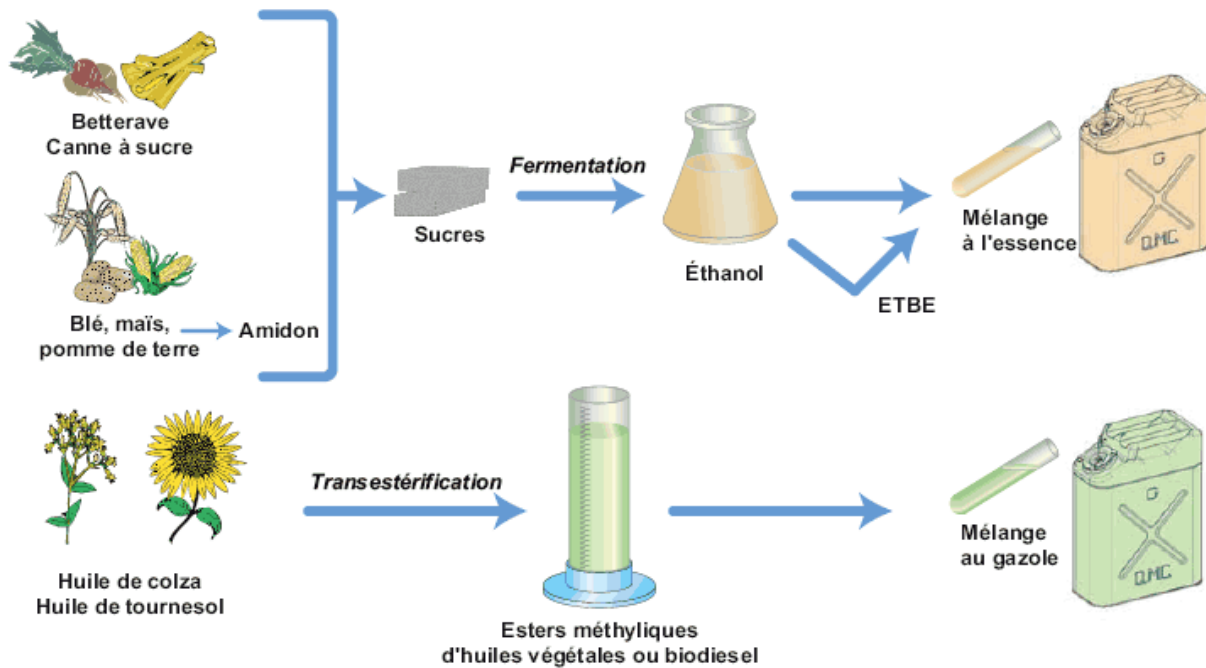


Figure 1 4 Schéma de valorisation [23]

### 5.4. Bio hydrogène :

La production de Bio hydrogène, un biocarburant de 3<sup>ème</sup> génération, à partir de la dégradation de la biomasse constitue une opportunité pour la production d'énergie renouvelable sans émission de gaz à effet de serre. Sa maîtrise nécessite d'élucider les mécanismes des interactions microbiennes.

Les micro-organismes produisent l'énergie nécessaire à leur survie en évacuant des produits métaboliques liquides tels que des cétones\*, des alcools et des acides organiques, et gazeux tels que du CO<sub>2</sub>, de l'H<sub>2</sub> ou du CH<sub>4</sub>. Les bactéries des ordres *s* : Clostridiales et Enterobacteriale et Thermotogales sont spécialisées dans l'utilisation d'hydrates de carbones ou d'acides organiques pour produire de l'hydrogène[24].

Ces interactions permettent aux bactéries de se développer dans des conditions de stress nutritionnel, et augmentent la production de biohydrogène.[25]

## 6. L'impact environnemental des bioénergies :

Le champ des études d'impact environnemental tenant compte des changements d'affectation des sols apparait fortement structuré autour de deux évolutions majeures: la production de biomasse pour la bioénergie et le développement urbain. Ces deux réorientations principales dépendent d'éléments de contexte biophysique, notamment la question des terres dégradées et du changement climatique et notamment les politiques publiques, et de contexte socio-économique.

Les filières bioénergie font face à une forte exigence de performance environnementale, qui se traduit par des processus de certification concernant en particulier les réductions d'émissions de

## **Développement d'un système de production du biodiesel à partir d'huile utilisé**

gaz à effet de serre .Les bilans environnementaux et énergétiques des filières bioénergie sont dressés grâce à la méthode de l'analyse de cycle de vie ,qui intègre sur l'ensemble de la filière leurs conséquences environnementales occasionnées : consommation des ressources non renouvelables (exemple :le pétrole), réchauffement climatique, toxicité, modifications des équilibres écologiques.

De nombreuses études l'analyse de cycle de vie ont été réalisées dans le monde pour comparer les bioénergies avec leurs équivalents fossiles. Leurs résultats varient fortement en fonction des hypothèses de calcul et des données utilisées, mais convergent sur le fait que les bioénergies permettent des économies d'énergie fossile, qui sont plus marquées pour les usages chaleur et électricité que pour les carburants.

Cette mémoire présentera à la fois l'état de l'art des méthodes d'évaluation des filières bioénergie, des leviers d'amélioration possibles et des questions scientifiques comme les changements d'affectation des sols directs et indirects induits par la production de biomasse pour l'énergie.

Les impacts environnementaux d'une politique publique en la matière sont donc à considérer aussi à une échelle mondiale.[26]

### **7. Conclusion :**

la bioénergie constitue une source d'énergie renouvelable dérivée d'organismes vivants ou de leurs sous-produits. Il faut envisager toutes les solutions de remplacement au pétrole. Elle permet actuellement de combler environ 6 % de l'approvisionnement énergétique. Elle représente une importante source d'énergie durable et son utilisation entraîne une réduction des quantités de déchets et de faibles émissions de CO<sub>2</sub>. Les scientifiques et les ingénieurs sont à l'avant-garde en matière de mise au point de techniques de pointe visant à accroître, dans l'avenir, la durabilité de la bioénergie

D'autre part, une demande croissante de bioénergie pourrait entraîner une déforestation en vue de faire de la place pour des terres agricoles. A l'inverse, des terres agricoles pourraient être converties en plantations forestières si ce matériau devient la principale ressource bioénergétique.

## Développement d'un système de production du biodiesel à partir d'huile utilisé

### Bibliographie I :

- [1] « Définition | Bioénergie - Bio-énergie | Futura Planète », consulté le 6 décembre 2017, <http://www.futura-sciences.com/planete/definitions/energie-renouvelable-bioenergie-7601/>.
- [2] « Biomasse (énergie) », 6 décembre 2017, [https://fr.org/w/index.php?title=Biomasse\\_\(%C3%A9nergie\)&oldid=143261786](https://fr.org/w/index.php?title=Biomasse_(%C3%A9nergie)&oldid=143261786).
- [3] « Dr Douafia Chergui Souad cours PCB.docx », s. d.
- [4] « These Dr kherbouche Djamila complet.docx », s. d.
- [5] « Lyes TARABET thèse : Etude de la combustion d'un biocarburant innovant dans les moteurs à combustion interne de véhicules pdf », s. d.
- [7] « Global Bioenergies », 30 octobre 2016,
- [6] « These\_SABEH\_finale, diagnostic à bas de modèle: application à un moteur diesel suralimenté à injection directe pdf », s. d.
- [7] « Global Bioenergies », 30 octobre 2016, [https://fr.org/w/index.php?title=Global\\_Bioenergies&oldid=131249947](https://fr.org/w/index.php?title=Global_Bioenergies&oldid=131249947).
- [8] « These\_SABEH\_finale, diagnostic à bas de modèle: application à un moteur diesel suralimenté à injection directe pdf », s. d.
- [9.10.11] « These dr.kharbouche djamila.docx ».
- [12] « These complet.docx ».
- [13] Munasinghe, P.C. and S.K. Khanal, Biomass-derived syngas fermentation into biofuels: Opportunities and challenges. *Bioresource Technology*, 2010. 101(13): p. 5013-5022.
- Stassen, I.H.E.M., *Biogas and biomass technology: Energy generation from biomass and waste in the Netherlands*. *Renewable Energy*, 1994. 5(5-8): p. 819-823
- [14] « Mémoire de Mostafa Chamoumi, Optimisation De La Production Du Biodiesel À Partir D'huiles De Microalgues Et D 'Huiles Usées.pdf », s. d.
- [15] « La biomasse - Énergies nouvelles et renouvelables Un élément clé au service d'une croissance durable », Jeudi 28 Mars – Vendredi 29 mars 2013 Union des Industries Chimiques Le Diamant A - 14 rue de la République - 92800 PUTEAUX (PARIS LA DEFENSE) », s. d.
- [16.17] « Thèse Dr kherbouche djamila. complet.docx ».
- [18] « Bioénergétique », Wikipédia, 3 juin 2017, <https://fr.wikipedia.org/w/index.php?title=Bio%C3%A9nerg%C3%A9tique&oldid=1378884>.
- [19] « « Thèse de Florent Mancini, traitement des déchets issus de la biomasse pour la génération d'énergie.pdf », s. d.
- [20] « 20170601\_expobiogaz\_conferences\_du\_1er\_juin.pdf », s. d.
- [21] « T0602.pdf ».
- [22] « Mémoire de ABOÏNA GERARD TCHAKBLO Production De Biodiesel Par Transestérification Alcoolique : Etude Sur Réacteur Pilote, publiquement le 22 juin 2009 pdf », s. d.
- [23] « Mémoire de María del Pilar Rodríguez, Production De Biodiesel À Partir D'une Huile Modèle De Microalgues Par Voie De Catalyenzymatique Hétérogène, mars 2014 à Sherbrooke (Québec) Canada pdf. », s. d.

## Développement d'un système de production du biodiesel à partir d'huile utilisé

- [24 ]« L'énergie à découvert - 11. Biomasse : production de biohydrogène - CNRS Éditions », consulté le 30 janvier 2018, <http://books.openedition.org/editionscnrs/11031?lang=fr>.
- [25] « CNRS - Sciences biologiques - Parutions », consulté le 30 janvier 2018, <http://www.cnrs.fr/insb/recherche/parutions/articles2015/mt-giudici.html>.
- [26] « IF\_Energie\_ER12\_Part\_FR\_2. Service public fédéral des Finances : [www.energie.mineco.fgov.be](http://www.energie.mineco.fgov.be) pdf », s. d



## **Chapitre II : le biodiesel**

## 1. Introduction :

La production et l'utilisation de biodiesel à l'échelle mondiale ont connu une forte croissance en raison des préoccupations environnementales accrues, de l'incertitude concernant la sécurité des réserves de pétrole brut, du surplus mondial de graines

Oléagineuses et des différentes subventions et politiques gouvernementales favorables Consécutives à la hausse des prix des combustibles minéraux.

La fabrication du biodiesel est une alternative de production de combustibles propres, biodégradables, renouvelables et non toxiques.

il peut à la fois servir de carburant de remplacement au diesel. Pur ou mélangé, il réduit les émissions de CO<sub>2</sub>, de matières particulaires, de monoxyde de carbone, d'hydrocarbures et de fumée noire que génèrent les véhicules.

Ce phénomène pourrait provoquer des changements désastreux dans l'environnement, Le biodiesel est produit à partir de graisses animales ou de déchets de graisses de cuisson ; combinés avec de l'alcool (habituellement le méthanol). La transformation de ces produits donnent du biodiesel pur et de la glycérine brute comme produit final. Le biodiesel entre dans les perspectives de la réduction des gaz à effet de serre

## 2. Définition :

Le biodiesel est un biocarburant obtenu à partir d'huile végétale ou animale, transformée par un procédé chimique appelé transestérification faisant réagir cette huile avec un alcool (éthanol ou Méthanol), afin d'obtenir un Ester Méthylique des Huiles Végétales (EMHV) ou un Ester Etylique des Huiles Végétales (EEHV) (selon l'alcool utilisé).

La réaction de transestérification, connue depuis plus d'un siècle n'a été adaptée qu'au courant des années 1980 pour aboutir à des procédés industriels de fabrication des EMHV, Selon le rapport 2008 de la société ENERS Energy Concept, une Plateforme sur les Biocarburants, la production mondiale de biodiesel en 2007 s'élève à 10.561.000.000 litres dont les principaux producteurs sont l'Allemagne, les Etats-Unis et la France avec une production respective de 3.255.000.000 litres, 1.703.000.000 litres et 982.000.000 litres soit 31%, 16% et 9% de la production mondiale[2]

De nombreuses méthodes ont été développées par les chercheurs et les scientifiques sur la production de biodiesel par le monde.



### 3. Les Huiles Végétales :

#### 3.1.les types d'huiles utilisées :

- **Huile de Microalgues**

Les microalgues sont des algues microscopiques. Certaines de ces espèces ont une richesse en huile jusqu'à hauteur de plus 50% de leur masse. Ces microalgues offrent des perspectives

assez intéressantes non seulement à cause de leur richesse en huile mais leur croissance rapide permettant d'effectuer des récoltes complètes en quelques jours seulement.

A cet effet, les chercheurs américains, japonais, français et allemands ont projeté de produire à l'échelle industrielle du carburant à base d'huile d'algues (microalgues)[2].

- **Huile Pongamia pinnata**

Le pongamia est un arbre à croissance rapide, fixateur d'azote, très résistant à la sécheresse, pousse en plein soleil, sur les sols difficiles, même sur les sols salés et producteur d'huile. Au regard de certaines aptitudes de cet arbre, l'Inde encourage sa plantation sur des terres impropres à la culture traditionnelle[3].

- **Huile de Jatropha**

Le jatropha curcas ou pourghère est un arbuste des zones arides pouvant atteindre une hauteur de 4 à 5 m au bout de 3 à 4 ans de croissance. Cet arbuste nécessite très peu d'eau et de nutriments pour sa croissance. Sa culture dans les zones menacées de désertification assure la protection du sol de l'érosion et la rétention d'eau. C'est une plante oléagineuse dont son rendement moyen en huile est de 1892 litres/ha/an (Chisti 2007).

- **Huile de Palme**

Elle occupe la deuxième position mondiale en termes de production après l'huile de soja[4], l'huile de palme est assez bien connue en Afrique centrale qu'en Afrique de l'ouest particulièrement dans les zones côtières du Cameroun, de la Côte-d'Ivoire, du Nigeria, etc. Dans la plupart de pays africains, cette huile est utilisée à des fins alimentaires. Mais au Nigeria, un vaste projet de développement de la culture du palmier à huile a été lancé dans le but de produire du biocarburant[5]. C'est en Asie du sud-est que la production d'huile de palme pour le biocarburant a été massivement développée au prix de la déforestation. L'huile de palme donne généralement un bon rendement de culture de 5000 litres/ha/an.

- **Huile de Tournesol**

C'est une huile produite à partir des graines de tournesol. Ayant un écobilan excellent, très légère, cette huile est très utilisée comme biocarburant mais elle a la particularité de contenir plus de gomme que l'huile de colza, par exemple. Son rendement moyen est de 662 litres/ha/an.

- **Huile de Colza**

Extraite de graines de colza, c'est une huile très pauvre en acides gras saturés. Elle est facilement utilisable en tant que biocarburant et peu chère. Le rendement moyen de colza est de 572 litres/ha/an.[4]

- **Huile d'Arachide**

C'est une huile claire très polyvalente, ne nécessitant pas de raffinage pour pouvoir être cuite sans risque cancérigène. L'huile d'arachide est l'une des huiles alimentaires les plus consommées en Afrique et ne pourrait être utilisée sans précaution comme biocarburant car elle fige à de température haute (son point trouble serait 13°C)[6].

- **Huile de Coton**

Classée au rang de la cinquième huile alimentaire mondiale la plus consommée, l'huile de

## Développement d'un système de production du biodiesel à partir d'huile utilisé

coton est peu connue en Europe mais très développée dans les pays africains producteurs de coton comme le Burkina, le Togo, le Mali, le Tchad, le Cameroun, la Côte-d'Ivoire, etc. Cette huile est d'abord utilisée dans la cuisson des aliments. Elle est, par la suite valoriser énergétiquement pour produire de l'électricité. C'est le cas depuis 1988 des sociétés Cotonnières du Mali et du Tchad[3].

### 3.2. Les paramètres d'huiles à considérer pour la transestérification

Les spécifications suivantes concernant les huiles ne sont appliquées que pour les catalyses homogènes et sont :

- Indice d'acide IA (exprimé en mg KOH/g huile) < 1 ;
- Teneur en phosphore < 10 ppm ;
- Teneur en eau (% poids) < 0,1.

Pour les catalyses hétérogènes, ces spécifications restent valables sauf l'indice d'acide IA (exprimé en mg KOH/g huile) doit être inférieur ou égal à 10.

### 4. Les Alcools

L'alcool est l'un de deux réactifs mis en jeu lors de la réaction de transestérification. Dans notre présente étude, nous utiliserons le méthanol et l'éthanol.

#### 4.1. Le méthanol

Le méthanol de formule  $\text{CH}_3\text{OH}$  est un produit chimique très toxique résultant de la synthèse du dihydrogène avec le monoxyde de carbone. Il fond vers  $-95^\circ\text{C}$ , bout à  $64,7^\circ\text{C}$  et à une densité de 0,79 à la température de  $20^\circ\text{C}$ [7].

Peu soluble mais très réactif, le méthanol est utilisé dans beaucoup de synthèses dont celle des EMHV. A cet effet, il doit respecter les recommandations ci-dessous :

- Teneur en méthanol (% poids) < 99,85 ;
- Teneur en eau (% poids) < 0,1.

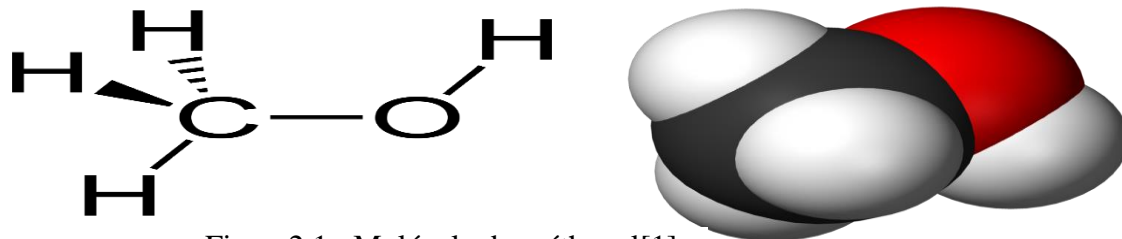


Figure2.1 : Molécule de méthanol[1]

#### 4.2. L'éthanol

De la classe des alcools primaires, l'éthanol de formule  $\text{CH}_3\text{CH}_2\text{-OH}$  à usage des boissons et usage industriel, est obtenu par fermentation de solutions sucrées, naturelles (jus de raisin, canne à sucre, etc.) ou artificielles (hydrolyse de l'amidon). La majeure partie de l'éthanol à usage industriel est synthétisé à partir de l'éthanal ou de l'éthylène issu du pétrole.

L'éthanol a une température de fusion de  $-114,1^\circ\text{C}$ , une température d'ébullition de  $78,3^\circ\text{C}$  et une densité de 0,789 à  $20^\circ\text{C}$  [8].

L'éthanol est plus soluble mais moins réactif que le méthanol ce qui a un impact positif sur le

## Développement d'un système de production du biodiesel à partir d'huile utilisé

Rendement mais négatif sur la vitesse lors des réactions de transestérification[5].

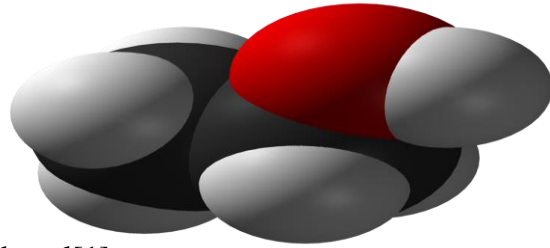
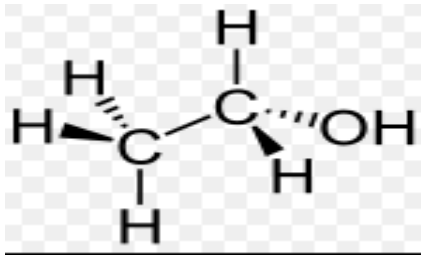


Figure 2.2 :la molécule d'éthanol[1]

### 5. Les différentes étapes de production de biodiesel :

#### 1. Etape de mélange des réactifs

Les réactifs, l'huile et l'alcool (méthanol ou éthanol) sont introduits, puis mélangés dans la cuve servant de réacteur en présence du catalyseur. Selon la configuration du réacteur, les réactifs sont introduits soit directement dans la même cuve ou soit de manière séparée dans de différentes cuves par la suite, mélangés dans la cuve d'huile.

#### 2. Etape de réaction

Une fois que le mélange huile/alcool ait lieu dans le réacteur, le processus de la réaction de Transestérification se déclenche pour durer un certain temps. Les conditions de température et de pression sont fonction du type de catalyse. Un système de chauffage du réacteur et de l'agitation est nécessaire pour la réaction. A la fin de la réaction, huile passe à l'état d'ester en changeant ses propriétés physico-chimiques : la viscosité, la densité, la masse molaire.

#### 3. Etape de décantation

Après la formation des esters au cours de la transestérification, une étape de décantation du produit est nécessaire pour séparer le biodiesel du glycérol. Le glycérol plus dense que le biodiesel se condense dans la partie basse.

La décantation peut s'effectuer dans le réacteur par gravité, ou dans des décanteurs statiques ou par des centrifugeuses pendant deux à trois heures de temps.

#### 4. Etape de lavage

Une étape de purification de l'ester consiste à éliminer les impuretés telles que la glycérine résiduelle, l'excès d'alcool, les traces de catalyseurs, savons et sels formés par la catalyse homogène.

Cette opération s'effectue par lavage du biodiesel à l'eau. Une purification poussée des esters est réalisable par passage sur une colonne remplie d'un absorbant sélectif ou un lit de résines échangeuses d'ions. La distillation de type flash sous vide assure également la pureté de l'ester.

#### 5. Etape de séchage

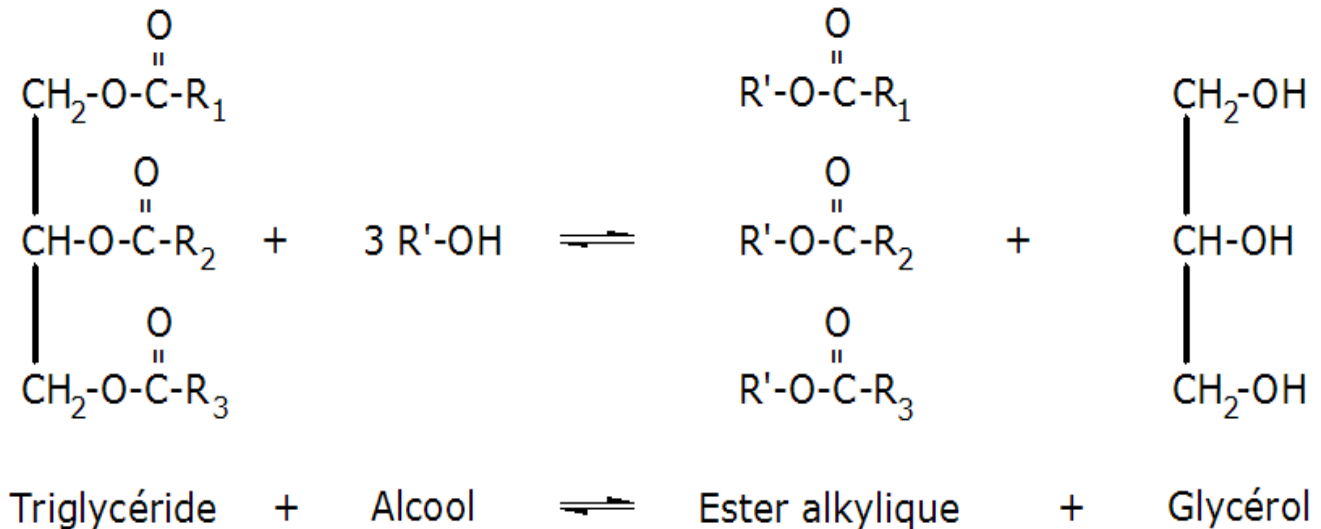
Après lavage du biodiesel à l'eau, l'opération de séchage permet d'évacuer l'eau présente. Elle est le plus souvent réalisée par chauffage à une forte température du biodiesel lavé, la température de séchage pouvant atteindre 140°C en procédé continu par catalyse homogène.

## 6. La transestérification :

La transestérification est un procédé chimique dans lequel une huile végétale ou animale est mélangée à un alcool en présence d'un catalyseur pour obtenir de l'ester alkylique d'huile végétale ou animale communément appelé biodiesel.

Le passage d'état d'huile à celui d'ester permet de : réduire la masse moléculaire au tiers de celle de l'huile, réduire la viscosité d'un facteur de huit, réduire la densité et augmenter sa volatilité [3].

Cette réaction de transestérification est régie par l'équation bilan ci-dessous suivante :



### ➤ But de la réaction de transestérification

La décomposition thermique d'une huile qui est un ester de glycérine, en absence d'oxygène, conduit à la formation de glycérol et d'un mélange d'esters. L'objectif d'une telle étude est l'utilisation des esters obtenus 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.[9]

### 6.1. Les paramètres affectant 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).

## Développement d'un système de production du biodiesel à partir d'huile utilisé

### 6.1.1. Effet du temps de réaction

Augmenter le temps de réaction a un effet positif sur la densité du biodiesel produit. Par exemple, en effectuant une transestérification directe des microalgues *Chlorella* à 30°C en présence de H<sub>2</sub> SO<sub>4</sub>, Ehimen, E.A. *et al.*, (2011) ont montré que la densité du biodiesel a diminué de 0,914 à 0,884 lorsque le temps de réaction a augmenté de 0,25 à 12h.

### 6.1.2. Effet de la température de réaction

La température semble avoir moins d'effet sur la production de biodiesel à partir de microalgues que le temps de réaction, sauf pour les températures élevées. Par exemple, Miao et Wu (2006), en utilisant H<sub>2</sub> SO<sub>4</sub> (2,25 mol/L), ont trouvé un rendement en biodiesel de 56 et 58% (g biodiesel / g de lipides) à des températures de 30 et 50°C respectivement. À 90°C, le rendement en biodiesel a chuté à 38% (g biodiesel / g de lipides).

### 6.1.3. Effet de la vitesse d'agitation de réaction

L'agitation peut avoir un effet positif sur la qualité du biodiesel. Par exemple, Ehimen *et al.*, (2011) ont observé une diminution de la densité de 0,9032 (agitation à 500 rpm) à 0,8831 (sans agitation) (agitation magnétique, volume du réacteur : 1,5 L)[10].

### 6.1.4. Type du catalyseur :

Il existe trois grandes classes de catalyseurs :

#### a. Les catalyseurs basiques :

La catalyse basique par voie homogène ou hétérogène est le procédé de production de biodiesel le plus utilisé.

Hydroxydes, alcoolates ou savons de métaux ou alcalinoterreux (Li, Na, K, Ca, Ba, Cs...), amines de la famille des guanidines.[3]

Le principal avantage de la transestérification basique par rapport à la catalyse enzymatique ou acide est le temps de réaction, la transestérification basique étant une réaction rapide (0.5 à 9h)

Le rendement en esters alkyliques lors de la transestérification basique est élevé (généralement supérieur à 90 %)

## Développement d'un système de production du biodiesel à partir d'huile utilisé

Catalyseur basique	Huile	Alcool	Ratio molaire alcool:huile	Conditions opératoires	Conversion d'AG (%)	Rendements en esters alkylés (% m/m)
NaOH (Hydroxyde de sodium)	Toumesol	Méthanol	6 : 1	60°C; 2h		97
	Huile de friture	Méthanol	7.5 : 1	70°C; 0.5h		85
	Huile de friture	Méthanol	6 : 1	65°C; 1.5 h		77
	Mahua ( <i>Madhuca indica</i> )	Méthanol	6 : 1	60°C; 2h	92	
	Suif	Méthanol	2 – 10 : 1	>98°C; 0.5h		90
KOH (Hydroxyde de potassium)	Huile de friture	Méthanol	6 : 1	65°C; 2h		94
	<i>Pongamia pinnata</i>	Méthanol	10:01	60°C; 1.5h	92	
	Karanja	Méthanol	06:01	65°C; 2h		98
	Colza	Méthanol	06:01	65°C; 2h		95-96
KF/Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (Fluorure de potassium sur oxyde d'aluminium)	Palme	Méthanol	12:01	65°C; 3h		90
KF/Eu <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (Fluorure de potassium sur oxyde d'euporium)	Colza	Méthanol	12:01	65°C; 1h	92	

**Tableau 2.1 Transestérification en milieu basique de diverses huiles**

### b. Les catalyseurs enzymatiques/

Des catalyseurs enzymatiques tels que les lipases ont été étudiés dans les réactions de méthanolyse et d'éthanololyse. Ce sont des enzymes généralement utilisées pour catalyser des réactions d'hydrolyse de triglycérides en milieu aqueux.

### c. Les catalyseurs acides :

Sont conseillés pour des huiles ayant de teneurs en acides gras et en eau très élevées. Ce type de catalyseurs est rarement utilisé du fait de leur moindre réactivité et des risques élevés de corrosion des installations industrielles.

la transestérification acides donne un rendement en esters alkylés de l'ordre de 95 à 90 %

## Développement d'un système de production du biodiesel à partir d'huile utilisé

Catalyseur acide	Huile	Alcool	Ratio molaire alcool:huile	Conditions opératoires	Conversion d'AG (%)	Rendements en esters alkyliques (% m/m)
H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	Jatropha	MeOH	166 : 1	60°C; 24h		99
	Soja	MeOH	9 : 1	100°C; 12h	98	
	<i>Chlorella pyrenoidosa</i>	MeOH	164 : 1	110°C; 2h		95
	Huiles usées	MeOH	16 : 1	95°C; 10h	93	
S-ZrO <sub>2</sub>	Soja	MeOH	20 : 1	120°C; 1h		98
ZnO	<i>Pongamia pinnata</i>	MeOH	10 : 1	120°C; 24h	83	

Tableau 2. 2 Transestérification en milieu acide de diverses huiles

## 7. Les caractéristiques du biodiesel :

Les propriétés physicochimiques du biodiesel présentant le plus grand intérêt sont le point éclair (Pe; flash point), le point 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 eau 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.

les principales propriétés physicochimiques du biodiesel issu des lipides de microalgues comparées au diesel et au biodiesel de 1 ère génération.

### 7.1. La viscosité

Comme l'indice de cétane, la viscosité augmente avec le nombre de carbone et diminue avec le degré d'insaturation. Une plus grande viscosité cinématique créerait des problèmes comme des dépôts dans le moteur. La transestérification favorise donc une diminution de la viscosité de l'huile à des valeurs généralement comprises entre 4 à 6 mm<sup>2</sup>/s

### 7.2. 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 et pourraient être évaluées par le point d'écoulement et le point trouble. La diminution de la température pourrait conduire à la formation de cristaux visibles ( $d > 0,5 \mu\text{m}$ ) dans le biodiesel à une limite de température appelée point trouble. La température du point trouble diminue avec la fraction molaire de composés non saturés et augmente légèrement avec la longueur de la chaîne carbonée. Le point

## Développement d'un système de production du biodiesel à partir d'huile utilisé

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. Un niveau élevé de composés polyinsaturés dans le biodiesel de microalgues pourrait être un avantage en termes de propriétés à froid pour un mélange de biodiesel microalgues / pétrodiesel dans des climats froids.[10]

### 8. Effet d'huile :

La qualité de biodiesel (Tableau 2.1) dépend de la matière première et du procédé de production utilisés. Par conséquent, un des principaux défis lors de la production de biodiesel consiste à améliorer ses caractéristiques physico-chimiques, à diminuer sa viscosité et son point de trouble et à augmenter son indice de cétane. Par exemple, la viscosité du biodiesel produit à partir de matières premières telles que les huiles de colza, de soja, de d'olive et tournesol entre autres, varie de 2.83 à 5.12 cst, tandis que la viscosité du pétrodiesel est d'environ 3.0 cst. Le pouvoir calorifique du pétrodiesel, compris entre 42.5 et 45 MJ/kg, est supérieur à celui du biodiesel, qui varie entre 35 et 42 MJ/kg

Source	Masse volumique (g/L)	Viscosité (cst) (40°C)	Pouvoir Calorifique (MJ/kg)	Point Éclair (°C)	Point de trouble (°C)	Point d'écoulement (°C)
<b>Huile de Palme</b>	880	5.7	34	164	13	—
<b>Huile de soja</b>	885	4.1	40	69	-2	-3
<b>Huile de Colza</b>	882	4.5	37	170	-4	-12
<b>Huile de Tournesol</b>	860	4.6	34	183	1	—
<b>Huile de Microalgues</b> <i>Chlorella</i> <i>Protothecoides</i>	864	5.2	41	115	-12	-11

Tableau2.3 : Propriétés physico-chimiques de biodiesels produits à partir de diverses matières premières[11].



### 9. Production du biodiesel dans l'Algérie :

En Algérie, les énergies renouvelables sont actuellement au cœur des préoccupations. Consciente de leur intérêt grandissant et de leur enjeu, 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 contribuer à la réduction des émissions des gaz à effet de serre et à lutter contre la désertification.

#### 9.1. Coût de production du biodiesel :

Plusieurs facteurs influent sur le prix de revient de la production du biodiesel : la matière première (huile végétale, graisse animale, etc), les autres réactifs (alcool et catalyseur), la nature de la purification, la capacité de production, son stockage. Le prix du biodiesel dépend principalement du prix de la matière première utilisée pour le produire. Ainsi, par exemple, le biodiesel produit à partir de la graisse animale et de l'huile de friture usagée, coûte moins cher que celui produit à partir des huiles végétales comme le colza, l'huile de palme, le soja, etc.

En effet, le coût des matières premières constitue la grande part des dépenses pour la production du biodiesel, environ 65-80 % du coût total, elle atteint 88 % dans l'étude de Haas qui ont travaillé avec l'huile de soja.

Or, la graisse animale et l'huile de friture usagée étant classées parmi les déchets, leur coût sera par conséquent moindre par rapport aux huiles végétales, ce qui fait que le coût du biodiesel obtenu à partir de ces matières sera aussi moindre. Le coût de production suit les mêmes tendances que les coûts des matières premières

Le coût de production du biodiesel produit à partir de l'huile de noisettes a été évalué par Gumus dans la période allant de 1997 à 2007 en Turquie. la production du biodiesel est beaucoup plus coûteuse que celle du gazole, principalement à cause des prix très bas du pétrole dans cette période. En 2003, la moyenne des prix du diesel a augmenté contrairement aux prix du biodiesel qui a atteint ses plus bas niveaux. [12]

Au-delà de cette année, l'écart entre le prix du diesel et celui du biodiesel redevient de plus en plus important. Le prix du diesel sert toujours de référence et permet de déterminer le prix à partir duquel la production de biocarburants devient rentable.

C'est le point de départ, aussi appelé seuil de rentabilité ou point d'équilibre, de l'étude économique de la production de biocarburants. Ainsi, le coût élevé du biodiesel reste l'obstacle principal à sa commercialisation.

### 10. Les applications du biodiesel :

#### 10.1. moteur diesel :

le **moteur Diesel** appelé également **moteur à allumage par compression** est un moteur à combustion interne dont l'allumage est spontané lors de l'injection du carburant, par phénomène d'auto inflammation lié aux températures élevées dans la chambre de combustion. Celles-ci sont atteintes grâce à un fort taux de compression, permettant d'obtenir une température de 700 à 900 °C. Pour les petits moteurs des bougies de préchauffage sont souvent utilisées pour permettre un meilleur démarrage à froid, en augmentant, temporairement, la température d'un point de la chambre de combustion. Pour les moteurs de bateaux et les gros moteurs fixes à fioul lourd, on chauffe celui-ci à haute température pour permettre le démarrage [13].

## Développement d'un système de production du biodiesel à partir d'huile utilisé

### 10.1.1 Utilisation des biodiesels dans les moteurs diesel :

Les biodiesels apparaissent comme des produits prometteurs pour le remplacement des combustibles fossiles à court terme puisqu'ils sont renouvelables, biodégradables et ils viennent des ressources agricoles présentes dans la plupart des pays producteurs. En dehors des éléments qu'on vient de citer, l'utilisation des biodiesels présente plusieurs avantages pour le moteur.

- ils ne contiennent pratiquement pas de soufre. (0.001 % massique),
- ils diminuent considérablement les émissions de suie,
- ils ne contiennent aucun benzol ou d'autres composants cancérigènes poly aromatiques,
- ils ont des capacités de lubrification intéressantes et donc peuvent contribuer à augmenter la durée de vie du moteur,
- Le biodiesel a un point d'inflammabilité inférieur à celui du diesel de pétrole[14].
- Contrairement au diesel de pétrole, ils sont composés d'Esters Méthyliques d'Huiles Végétales (EMHV) ou d'Esters Ethyliques d'Huiles Végétales (EEHV). Comme on l'a vu précédemment, ces Alkyls Esters ont des propriétés comparables à celles du gazole ce qui fait qu'ils sont préférables par rapport aux huiles végétales et ont des intervalles de distillation compris entre 320°C à 350°C, les situant au niveau des fractions les plus lourdes du gazole.

### 10.1.2 Avantages du biodiesel pour les moteurs :

- La très bonne lubrification engendre une diminution de l'usure du moteur.
- Peut-être mélangé avec du diesel fossile[18].
- Le rendement est meilleur : une proportion plus grande du transfert thermique (chaleur) est convertie en travail.
- Le carburant employé est moins cher.
- La consommation moyenne est moins élevée que le moteur essence[19].

### 10.1.3 Efficacité énergétique :

L'efficacité énergétique d'un système dépend de sa vocation. Les moteurs ont pour vocation de produire un mouvement (travail). L'Energie du mouvement est exprimée en joule. L'efficacité énergétique du moteur est le rapport entre l'Energie du travail produit et l'Energie contenue dans le carburant utilisée pour le produire (également exprime en joule).

Les lois de thermodynamique interdisent une efficacité de 100 % pour les moteurs. Une partie de l'Energie du carburant est perdue en chaleur sans être récupérée (sauf en hiver pour chauffer l'habitable). Cette notion ne doit pas être confondue avec le « rendement » qui est le rapport entre l'efficacité réelle de la machine et l'efficacité théorique maximale que'on peut attendre d'elle dans le cylindre[20].

Le biodiesel est le carburant ayant le bilan énergétique le plus élevé comparé aux autres carburants. En effet, 4.5 unités d'énergies sont fournies pour 1 unité d'énergie fossile utilisée pour la production du biodiesel.

## 10.2 Les génératrices :

Une machine produisant de l'énergie électrique ;Elle peut être un générateur à courant continu ou un alternateur ; Dans tous les cas elle transforme l'énergie mécanique que lui transmet le rotor en énergie électrique. Le générateur à courant continu est plus lourd et plus coûteux ; Il demande des vérifications

## Développement d'un système de production du biodiesel à partir d'huile utilisé

périodiques mais ne nécessite pas de convertisseur pour la charge des batteries. L'alternateur est moins lourd et moins couteux, son entretien est nul mais impose un convertisseur pour la charge des batteries.[21]

### 11. Conclusion :

Le biodiesel reste un carburant sûr, biodégradable et non toxique, renouvelable qu'on gagnerait à utiliser dans les moteurs diesel non modifiés ainsi que dans diverses applications à base de combustibles.

Le Biodiesel est un carburant de substitution renouvelable, fabriqué à partir animales usées et des huiles végétales. C'est une alternative efficace ayant le potentiel d'améliorer significativement l'environnement. Le Biodiesel est un excellent carburant de remplacement du diesel qui constitue probablement la meilleure solution aux problèmes d'émission de gaz effet de serre et de pollution urbaine[22].

L'avantage majeur du Biodiesel par rapport à d'autres alternatives telles que le gaz naturel ou l'électricité, est qu'il peut être utilisé sans modifications dans diverses applications à base de combustibles en particulier dans les moteurs diesel déjà existants.

Les dernières évolutions, en particulier le filtre à particules, ont permis au diesel de devenir un moteur propre et un moteur d'avenir, mais il reste encore beaucoup d'efforts à fournir,

Le moteur Diesel est de préférence utilisé lorsque le rendement énergétique ou la longévité du moteur sont des facteurs importants.

Des solutions d'épuration a posteriori des gaz d'échappement existent pour le futur, en combustion. les biodiesels émettent la même quantité de CO<sub>2</sub> que les plantes en ont absorbé dans leur croissance. (boucle le cycle CO<sub>2</sub>).

l'ajout de biodiésel au diésel ordinaire en augmente l'indice de cétane, ce qui améliore l'allumage, facilite le travail du moteur et réduit la quantité de rejets polluants, en particulier les particules de suie et la mauvaise odeur caractéristique qui les accompagne. Le biodiésel améliore également le pouvoir lubrifiant du mélange, ce qui réduit l'usure du moteur et de la pompe.

En outre, il est peu toxique et entièrement biodégradable. Mélangé au diésel ordinaire, il en accélère la biodégradation. En outre. Étant donné le coût élevé des véhicules neufs, il vaut sans doute mieux employer le biodiésel pour des moteurs plus âgés, dont la garantie est échue. On peut utiliser le biodiésel dans n'importe quel moteur diésel, en le mélangeant avec le carburant ordinaire dans les proportions adéquates, mais il faut éviter les fortes concentrations de biodiésel dans des véhicules non modifiés, en raison des dommages possibles aux composantes en caoutchouc.

### Bibliographie II :

1. Y. Marcus, Programme International sur la Sécurité des Substances Chimiques. 2009.
2. Comment utiliser la biomasse pour produire de l'énergie. futura-sciences, 2017.
3. TCHAKBLO, A.G., PRODUCTION DE BIODIESEL PAR TRANSESTERIFICATION ALCOOLIQUE : ETUDE SUR REACTEUR PILOTE. 2009.
4. Aboina, Production mondiale de biodiesel ENERS Energy Concept, 2007.
5. Sylvain Pigeon, Systèmes de bioénergie. 2008.
6. Biomasse (énergie). 2017.
7. Mmes Olga Solomatnikova, TECHNOLOGIES DE BIOÉNERGIES À BASE DE BIOMASSE FORESTIÈRE. Québec (CRIQ), 2011.
8. mancini, f., traitement des déchets issus de la biomasse pour la génération d'énergie, in ecol doctorale des sciencechimique2006, universite bordeaux 1.
9. Rhiad, A., Le biodiesel : une source d'énergie propre et prometteuse. Division Bioénergie& Environnement, 2010.
10. CHAMOUMI, M., OPTIMISATION DE LA PRODUCTION DU BIODIESEL À PARTIR D'HUILES DE MICROALGUES ET D'HUILES USÉES, in Faculté de génie Département de génie chimique et de génie biotechnologique2013, UNIVERSITÉ DE SHERBROOKE.
11. Rodriguez\_Maria, PRODUCTION DE BIODIESEL À PARTIR D'UNE HUILE MODÈLE DE MICROALGUES PAR VOIE DE CATALYSE ENZYMATIQUE HÉTÉROGÈNE, in Département de génie chimique et de génie biotechnologique Spécialité : génie chimique, UNIVERSITÉ DE SHERBROOKE.
12. TARABET, L., Etude de la combustion d'un biocarburant innovant dans les moteurs à combustion interne de véhicules in ECOLE DES MINES DE NANTES2012, UNIVERSITÉ DE NANTES ÉCOLE MILITAIRE POLYTECHNIQUE.
13. geneste, b.g.k.d.f., les moteur diesel. 2003.
14. NDIAYE, E.h.I., CARACTÉRISATION THERMOPHYSIQUE DES BIODIESELS : VITESSE DU SON, DENSITÉ, COMPRESSIBILITÉ, in ECOLE DOCTORALE DES SCIENCES EXACTES ET DE LEURS APPLICATIONS2012, L'UNIVERSITE de PAU et des PAYS de l'ADOUR.
15. CLASSIFICATION DES MOTEURS DIESEL.
16. R. Brun, UTILISATION DES BIOCARBURANTS DANS LES MOTEURS A ALLUMAGE PAR COMPRESSION. 2013.
17. Fonctionnement d'un moteur diesel 2015.
18. saheb, z., diagnostic à bas de modèle: application à un moteur diesel suralimenté à injection directe 2006.
19. BOIS, M.F., Réduction de la pollution d'un moteur diesel. Simon SUP
20. NEDELLEC, Effets des carburants de type « biodiesel » sur les émissions des moteurs diesels européens et sur la toxicité des particules émises. Seine, 2009.
21. génératrice. energies-renouvelables, 2017.

## **Développement d'un système de production du biodiesel à partir d'huile utilisé**

22. Amrani, M., SIMULATION DU PROCEDE DE FABRICATION DU BIODIESEL A PARTIR DES GRAISSES JAUNES PRODUCING BIODIESEL FROM YELLOW GREASES WITH HIGH FREE FATTY ACIDS, in Series: Physics, Chemistry and Technology 2007, FACTA UNIVERSITATIS



**Chapitre III : La production de biodiesel a  
partir d' huile utilisé**

## Introduction :

Nous allons essayer dans ce chapitre de porter une contribution expérimentale en la production du biodiesel à partir d'huile utilisé.

L'huile utilisé dans cette partie est végétale, pour prendre le biodiesel il faut faire un mélange entre le matière primaire (huile végétale) et l'alcool (méthanol ou éthanol) avec le catalyseur pour garnie le temp de la réaction.

## 1. Matériel et méthodes :

### 1.1. Les matériels

Les produits	Les matériels
<ul style="list-style-type: none"><li>• Méthanol</li><li>• Éthanol</li><li>• Hydroxyde de potassium KOH</li><li>• Huile utilisée</li><li>• Hydroxyde de sodium NaOH</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>• Ampoule a décanté 1000 ml</li><li>• Les béchers de 50 et de 100 ml</li><li>• Une balance</li><li>• Une burette</li><li>• Agitateur magnétique</li></ul>

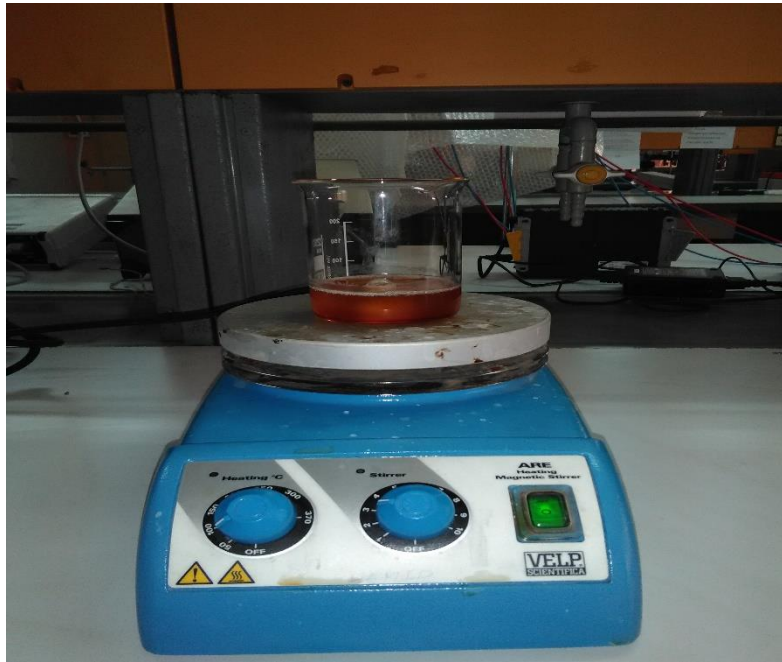
Tableaux 3.1. Les matériels et les produits.

### 1.2. La méthode :

Pour prendre le biodiesel il faut faire plusieurs étapes dans le laboratoire de l'unité de recherche des matière et Energie renouvelable avec les moyens de protection et les matériels utilisé.

- On met 50ml d'huile dans un bécher du 100ml.
- On met ce bécher sur l'agitateur magnétique et en fixant la température à 50C° avec la vitesse d'agitation moyenne.
- D'un autre coté on met une quantité d'alcool avec le catalyseur choisie (chaque expérience on prendre une quantité précise) ,après en mélange le catalyseur et alcool préalablement préparée est ajoutée à l'huile sous agitation avec Agitateur magnétique
- Pour bien agiter le produit, Agitateur magnétique est en réglé au niveaux 3 d'agitation et à température de 50C°.Apré 10 min de l'agitation des deux solutions nous avons mélangé les deux dans un bicher de 100ml cette réaction appelé la réaction de transestérification

## Développement d'un système de production du biodiesel à partir d'huile utilisé



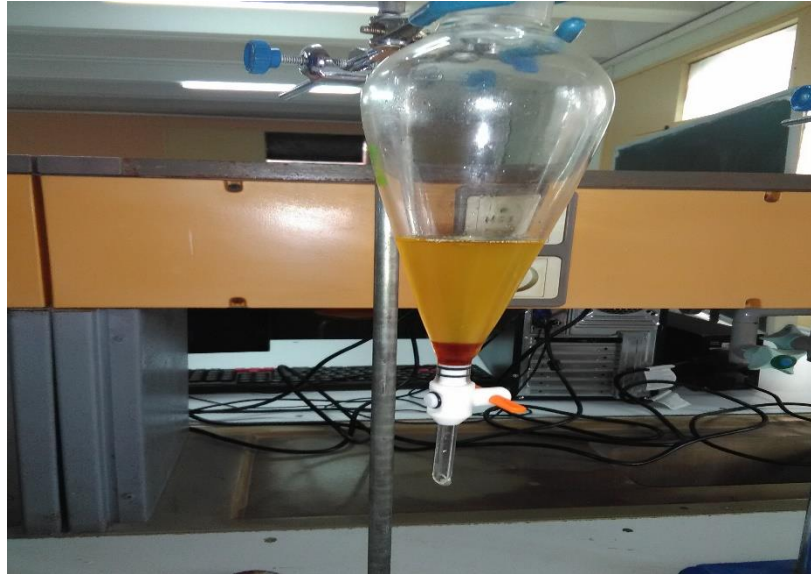
**Figure 3.1: le mélange dans l'agitateur**

On laisse le mélange sur l'agitateur magnétique pendant 1h, après on ajoute la solution dans ampoule à décanter, Laissez reposer le mélange pendant 24 heure dans ce réaction deux produits se forment : le biodiesel et la glycérine,

comme le biodiesel est moins dense que la glycérine, le biodiesel flotter et former la couche supérieure sont complètement séparé en suit décoté la couche inférieure de la glycérine jusqu'à la fin de glycérine.



## Développement d'un système de production du biodiesel à partir d'huile utilisé



**Figure 3.2: le mélange après une journée**

Après la décantation du biodiesel il faut faire l'étape de lavage pour éliminer les impuretés de l'alcool et le catalyseur.

Ajouté une quantité de l'eau distillé sur l'ampoule à décanté avec le biodiesel et bien agité, Laissez les éléments de se mélanger repose pendant une journée

Le mélange doit se séparer en deux couches, le biodiesel et les impuretés ;et après on va décoté deux solution que nous obtenons (voir la figure 3.3)

## Développement d'un système de production du biodiesel à partir d'huile utilisé

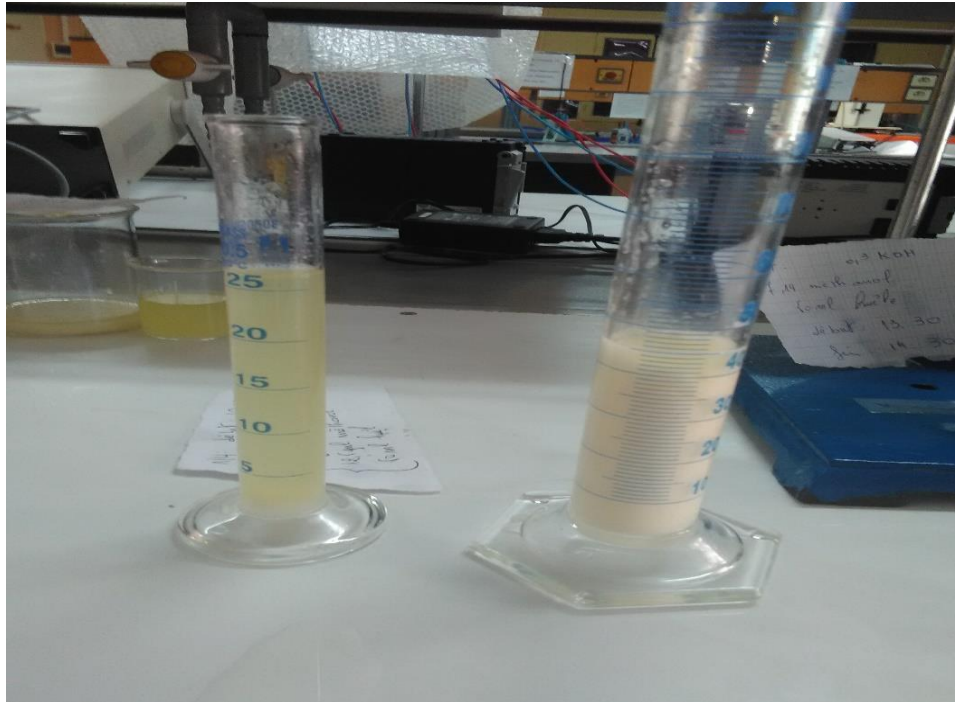


Figure 3.3 le biodiesel après étape de lavage

## 2. Résultat :

### 2.1. Influence du ratio massique MeOH / HFU sur le rendement de la réaction de transestérification :

#### 2.1.1. KOH :

- Les conditions opératoires correspondent à différents rapport molaire MeOH / huile de 1/4 ;1/5 ;1/6 ;1/7 et à un pourcentage massique KOH / huile de 1%.

## Développement d'un système de production du biodiesel à partir d'huile utilisé

	1	2	3	4
<b>Ratio massique Alcool : huile</b>	1/4	1/5	1/6	1/7
<b><math>\rho</math></b> (la masse volumique de biodiesel)	0.86	0.89	0.87	0.84
<b><math>\rho'</math></b> (la masse volumique de glycérine)	0.13	0.86	2.55	0.85
<b><math>\eta</math></b> (le rendement%)	89	92	91	92

**Tableau 3.2 : les résultats Influence du ratio massique MeOH / HFU pour KOH**

### 2.1.2. NaOH :

- Les conditions opératoires correspondent à différents rapport molaire MeOH / huile de; 1/4 ;1/5 ;1/6 ;1/7 et à un pourcentage massique NaOH / huile de 1%.
- **Rendement de la production de biodiesel :**

$$\eta = \frac{m}{m'} \times 100$$

**$\eta$  : le rendement**

**m : la masse de biodiesel**

**m' : la masse de huile**

## Développement d'un système de production du biodiesel à partir d'huile utilisé

	1	2	3	4
<b>Ratio massique Alcool /huile</b>	1/4	1/5	1/6	1/7
<b><math>\rho</math></b> (la masse volumique de biodiesel)	0.86	0.86	0.87	0.84
<b><math>\rho'</math></b> (la masse volumique de glycérine)	0.13	0.85	2.55	0.85
<b><math>\eta</math></b> (le rendement%)	61	76	52	43

**Tableau 3.3 : les résultats Influence du ratio massique MeOH / HFU pour NaOH :**

### 2.2.L'influence de catalyseur

La comparaison des résultats de l'expérience (1) et (2) pour une ration massique de 1/5

	<b>KOH</b>	<b>NaOH</b>
<b><math>\rho</math></b> (la masse volumique de biodiesel)	0.89	0.86
<b><math>\rho'</math></b> (la masse volumique de glycérine)	0.86	0.85
<b><math>\eta</math></b> (le rendement en%)	92	76

**Tableau 3. 4 : les résultats de comparaison entre les expériences (1) et (2)**

## Développement d'un système de production du biodiesel à partir d'huile utilisé

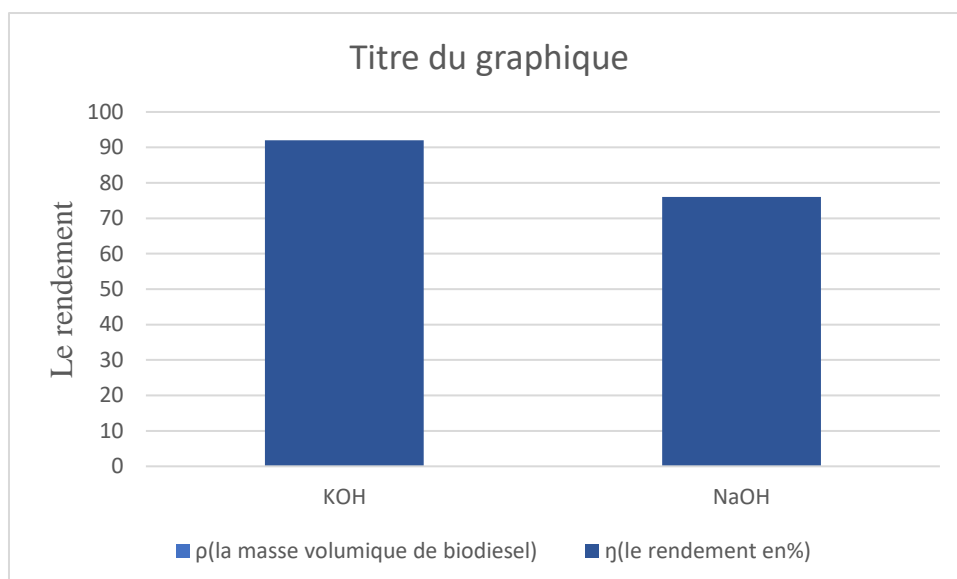


Figure 3.4 : la courbe de la comparaison des catalyseur KOH et NaOH

### 2.3. L'influence d'alcool :

Dans ce expérience Les conditions opératoires correspondent à différents ; nous utilisons l'éthanol et comparé avec les résultats de méthanol

La quantité d'huile est reste fix 50ml

La ration massique	1/2	1/5	1/2	1/5
L'alcool	Éthanol		Méthanol	
Catalyseur	KOH	NaOH	KOH	NaOH
$\rho$ la masse volumique de biodiesel	0.87	0.85	0.87	0.86
$\rho'$ la masse volumique de glycérine	1.94	0.86	0.85	0.85
$\eta$ le rendement de biodiesel (%)	95	70	71	76

Tableau 3.5 : les résultats du l'influence d'alcool

## Développement d'un système de production du biodiesel à partir d'huile utilisé

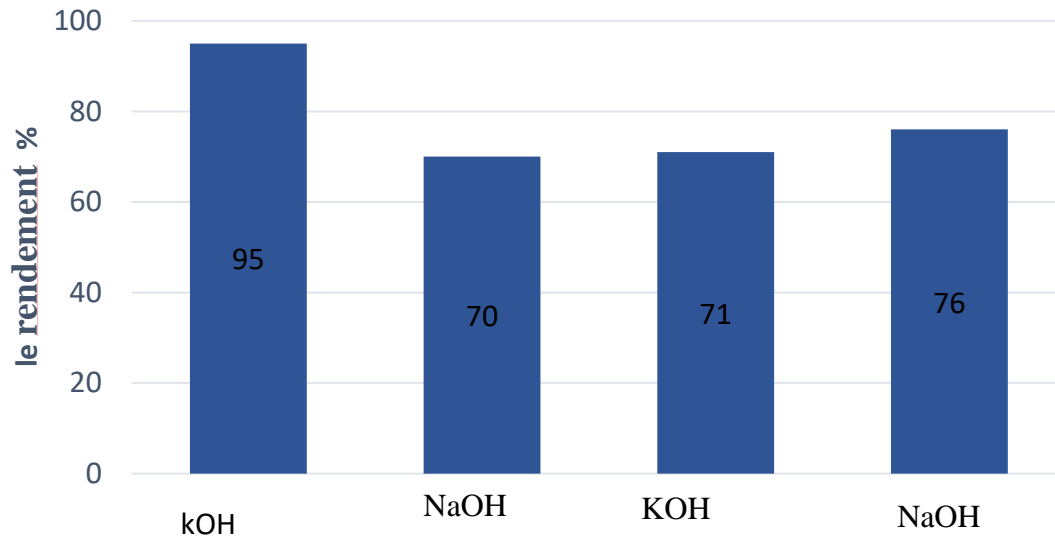


Figure 3.5 : la courbe de l'influence d'alcool

Le rendement maximum en biodiesel est de 95% d'éthanol correspond au ratio massique EtOH / HFU de 1/2.

Et le rendement minimal de 21% pour 0.3 de NaOH correspond au ratio massique EtOH / HFU de 1/5.

La même chose par rapport le méthanol le rendement mieux c'est 71% pour une ration de 1/2

Les résultats de tableaux 3.5 montrent que le ratio massique EtOH / HFU de 2 /1 permet l'obtention du meilleur rendement en biodiesel par rapport le ration massique MeOH/HFU

### 2.4. Influence du temps de la réaction sur le rendement en biodiesel

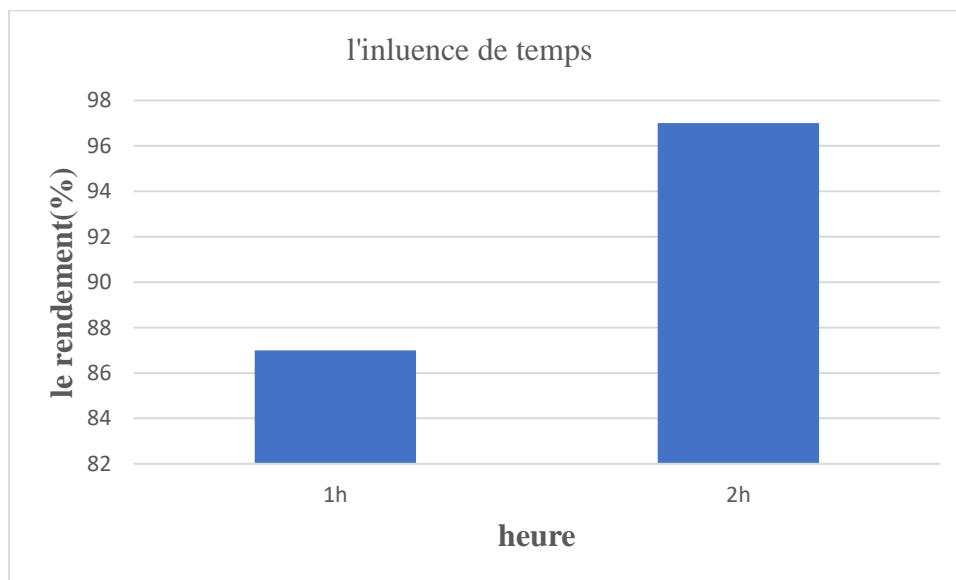
On prendre les mieux rendement dans expérience (1) et (2) pour faire une nouvelle expérience. pour l'influence du temps de la réaction sur le rendement en biodiesel

L'influence de divers temps de réaction de transestérification (1, 2 heures) avec une température de 60 °C a été étudiée (ratio massique MeOH / HFU de 1/7 et 1% en masse de KOH). Et ratio massique MeOH/HFU 1/4 ;1% en masse de NaOH.

## Développement d'un système de production du biodiesel à partir d'huile utilisé

	1h		2h	
<b>Ration massique</b>	1/7	1/4	1/7	1/4
<b>Catalyseur</b>	KOH	NaOH	KOH	NaOH
<b><math>\rho</math>(la masse volumique de biodiesel)</b>	0.83	0.81	0.88	0.85
<b><math>\rho'</math>(la masse volumique de glycérine)</b>	2.99	0.74	0.83	0.83
<b><math>\eta</math>(Le rendement en %)</b>	87	63	97	85

**Tableau 3.6 : les résultats de l'influence de temps de réaction de transestérification (1, 2 heures)**

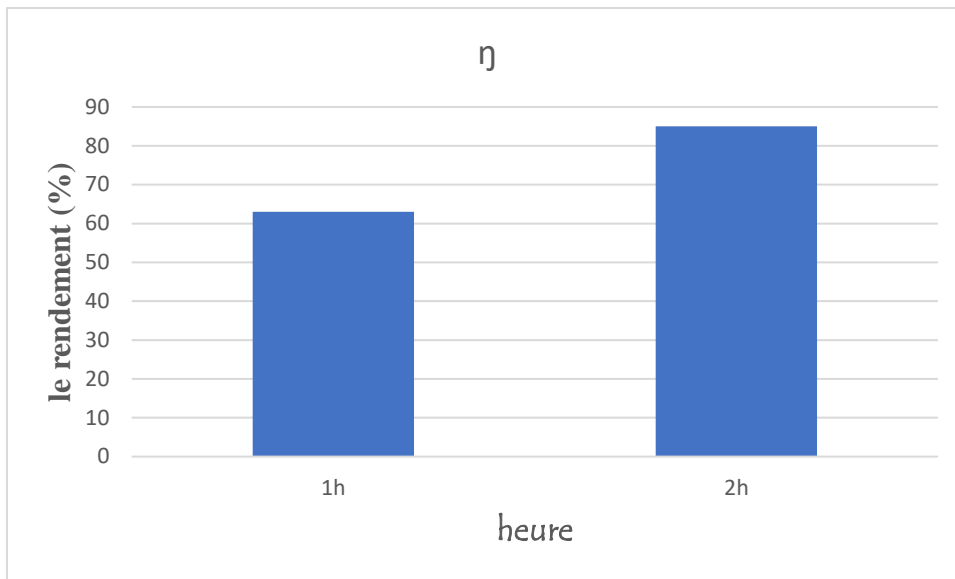


**Figure 3.6 : Évolution du rendement en biodiesel en fonction de la durée de réaction (ratio massique MeOH / HFU : 7/1 KOH : 1% massique, 60°C).**

Le rendement maximal en biodiesel dans (la figure 3.6) est 97% pour un temps de 2h

Et le rendement minimax 86% pendant 1h

## Développement d'un système de production du biodiesel à partir d'huile utilisé



**Figure 3.7 : Évolution du rendement en biodiesel en fonction de la durée de réaction (ratio massique MeOH / HFU : 4/1 NaOH : 1% massique, 60°C).**

le rendement maximum en biodiesel 85% dépende un temps de décantation de 2h,

le rendement en biodiesel est de 85% pour une ration 4/1, et le rendement minimal 63% pour une densité de 0.81.

### Conclusion :

Comme le but de notre travail dit obtenu un rendement maximal. On à choisi de produit le biodiesel à partir d'huile frêteur, on utilise l'alcool (éthanol ou méthanol) est de ratio massique (MeOH / HFU ou EtOH / HFU) et le catalyseur.

Aprè la réaction de transestérification Le biodiesel obtenons un mélange d'esters d'acide. Cette réaction est réalisée par exemple avec du MeOH ou EtOH 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 du MeOH ou EtOH.

L'utilisation de KOH comme catalyseur donne de très bon rendement de biodiesel quel que soit le type d'huile végétale utilisé, ont permis de déterminer que le KOH est plus efficace que le NaOH

Les paramètres affectant le rendement tels que le pourcentage massique du catalyseur / huile, la température et le ratio massique alcool / huile ont été étudiés.

- Le rendement maximum 97% en biodiesel est de ratio massique MeOH / HFU de 1/7 et 1% en masse de KOH) avec un temps de réaction de 2h.
- Le rendement de 95% en biodiesel dans l'expérience d'éthanol EtOH/HFU de 1/2 Et 3 % en masse de KOH.



## **Conclusion générale**

## Développement d'un système de production du biodiesel à partir d'huile utilisé

### Conclusion générale :

Le Biodiesel est un carburant de substitution renouvelable, fabriqué à partir des huiles végétales utilisées.

L'utilisation des huiles utilisées de friteur usées comme matière première présente des avantages environnementaux considérables et des avantages économiques.

En effet, leur valorisation en biodiesel permet d'une part de diminuer le coût de production de ce biocarburant puisque le prix d'achat de l'huile usée est beaucoup moins élevé que celui de l'huile végétale, il est peu toxique et entièrement biodégradable. Mélangé au diesel ordinaire, il en accélère la biodégradation.

Les biodiesels émettent la même quantité de CO<sub>2</sub> que les plantes en ont absorbé dans leur croissance. (boucle le cycle CO<sub>2</sub>).et Des solutions d'épuration a posteriori des gaz d'échappement existent pour le futur, en combustion.

On peut utiliser le biodiesel dans n'importe quel moteur diesel et les génératrices diesel.

Les études préliminaires effectuées dans le dispositif expérimental constitué, la réaction de transestérification Le biodiesel obtenu est un mélange d'esters d'acide. Cette réaction est réalisée par exemple avec du MeOH ou EtOH 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 du MeOH ou EtOH.

Les paramètres affectant le rendement tels que le pourcentage massique du catalyseur / huile, la température et le ratio massique alcool / huile ont été étudiés.

- Le rendement maximum 97% en biodiesel est de ratio massique MeOH / HFU de 1/7 et 1% en masse de KOH) avec un temps de réaction de 2h.
- Le rendement de 95% en biodiesel dans l'expérience d'éthanol EtOH/HFU de 1/2 Et 3 % en masse de KOH.

### Resumé :

L'épuisement de ressources pétrolières, la cherté et la fluctuation quasi-permanente du prix du baril de pétrole, la diversification de sources d'approvisionnement en énergie..., ont amené les chercheurs et les scientifiques à s'intéresser à d'autres sources d'énergies comme le biocarburant.

A cet effet, un travail de recherche a été mené sur la production de biodiesel à partir d'huile utilisée par la réaction de transestérification .

Il résulte de ces travaux que L'utilisation de KOH comme catalyseur donne de très bon rendement de biodiesel quel que soit le type d'huile végétale utilisé, ont permis de déterminer que le KOH est plus efficace que le NaOH.

Le rendement maximum 97% en biodiesel est de ratio massique MeOH / HFU de 1/7 et 1% en masse de KOH) avec un temps de réaction augment en fonction de temps.

### ملخص

استنزاف الموارد النفطية ، وارتفاع الأسعار وتقلب دائم تقريبا من سعر برميل النفط ، أدى تنوع مصادر إمدادات الطاقة الباحثين والعلماء أن يهتموا بمصادر الطاقة الأخرى مثل الوقود الحيوي

لهذا الغرض ، تم إجراء مشروع بحث على إنتاج وقود الديزل الحيوي من النفط المستخدمة من قبل رد فعل كمحفز يعطي إنتاجية جيدة من وقود الديزل الحيوي بغض النظر عن نوع الزيوت وينتج من هذه الدراسات أن استخدام NaOH أكثر فعالية من KOH النباتية. المستخدمة،

وقد (KOH من 7/1 و 1% من وزن MeOH / HFU أقصى إنتاجية 97% من وقود الديزل الحيوي هو نسبة الكتلة قرر أن مع بالإضافة الى ان زيادة الكتلة تناسب مع زيادة الوقت