



REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE
MINISTRE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR
ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE



UNIVERSITE ECHAHID HAMMA LAKHDAR –EL-OUED

Département de Génie des procédés et pétrochimie

Mémoire de Fin d'Etude

Présentée en vue de l'obtention du diplôme de:

MASTER ACADEMIQUE

Domaine: Sciences et Technologie

Filière: Génie des procédés

Spécialité: Génie chimique

Présentée par:
Touahria oussama
Chekima yahia

THEME

Conception et simulation d'unité industrielle pour
Production du biodiesel à partir d'huile végétale

Soutenu publiquement le : 27-05-2017

Devant le Jury composé de:

M^{me} AHMOUDA Kaouthar

Président

MAA

U. EL OUED

M^r OUCIF KHALED Med Tayeb

Examineur

MAA

U. EL OUED

M^r SEROUTI Abdelghani

Encadreur

MCB

U. EL OUED

2016/2017

Sommaire

Remerciements

Liste des abréviations

Liste des figures

Liste des tableaux

Introduction

Titre

Page

Partie théorique

CHAPITRE I : LES HUILES VEGETALES ET BIODIESEL

I.1.Introduction.....	1
I.2.Généralités et historique sur les huiles végétales.....	1
I.2.1. Définition des huiles végétales.....	1
I.2.2. Composition et caractéristiques chimiques des huiles.....	2
I.2.3. Classement des huiles végétales.....	3
I.2.4. Extraction des huiles végétales.....	4
I.2.4.1 Extraction par solvant.....	4
I.2.4.2 Extraction mécanique.....	5
I.3.1.Définition des lipides.....	5
I.3.2.Classification des lipides.....	6
I.4.Les biocarburants.....	6
I.4.1.La première génération.....	6
I.4.2.La deuxième génération.....	6
I.4.3.La troisième génération.....	7
I.5.Types de biocarburant.....	7
I.5.1Le bois énergie.....	7
I.5.2.Le biogaz.....	8
I.5.3.Le biodiesel.....	8
I.5.3.1.Caractéristique du biodiesel	9
I.5.3.2.Utilisation du biodiesel.....	10
I.5.3.3.La consommation mondiale et les politiques de production du biodiesel	11
I.5.3.4.Avantages et Désavantages de biodiesel	11
	12

CHAPITRE II : TRANSESTERIFICATION DES HUILES

II.1. Introduction.....	16
II.2. Historique de transestérification.....	16
II.3. Définition de La transestérification.....	16
II.4. Mécanisme de la réaction de transestérification.....	17
II.5.Paramètres importants de la réaction de transestérification des huiles	18

II.6.matières premières utilisées pour la transestérification.....	19
II.7.Type de catalyseurs utilisés pour la transestérification.....	20
II.7.1.Transestérification par catalyse basique.....	21
II.7.2.Transestérification par catalyse acide	23
II.7.3.Transestérification par catalyse enzymatique.....	25
II.7.4.Comparaison des divers procédés de transestérification.....	26
II.8.Les facteurs influençant de la réaction de transestérification.....	27
II.9.Les coproduits de la réaction de transestérification et leurs applications	28

Partie Pratique

CHAPITRE III : MATERIEL ET METHODE

III.1. Introduction	29
III.2. Matériels utilisés.....	29
III.2. 1.Matière première	29
III.2.1.1. Huiles végétales.....	30
III.2.1.2. Méthanol.....	30
III.2.1.3. Catalyseur.....	30
III.2.1.4. L'acide phosphorique.....	31
III.2.2. Simulation description	31
III.2.3. Description du procédé.....	32
III.3. Fonctionnement et constituants	32
III.3.1.Modèle thermodynamique.....	33
III.3.2.Réactions chimiques	33
III.3.3.Schème du procède	34
III.4.Les équipements utilisés et condition opératoires	35

CHAPITRE IV : RESULTAT ET DISCUSSION

IV.1. Introduction.....	36
IV.2. Résulta et discussion.....	36
IV. 2.1 Courants de production (C401A, C401, C402, C501, C502, C306)....	36
IV.2.2. Réacteur R101 (EREA).....	37
IV .2.3.Colonne du distillation (T201).....	37
IV.2.4. Colonne du distillation (T401).....	39
IV.2.5. Colonne du distillation (T401).....	40
Conclusion.....	40

Conclusion générale

Références bibliographiques

Résumé et mots- clés



REMERCIEMENT

Nous remercions Allah le tout puissant qui nous a donné la force et la foi pour mener à bien ce projet.

Au terme de cette étude, nous tenons à adresser nos profondes reconnaissances à toutes nos familles qui nous ont soutenues, aidées et encouragées tout au long de ce travail.

*Nous tenons à exprimer nos profondes reconnaissances à
Monsieur : A. SEROUTI*

Tout d'abord pour nous avoir fait confiance et pour nous avoir inspiré le sujet

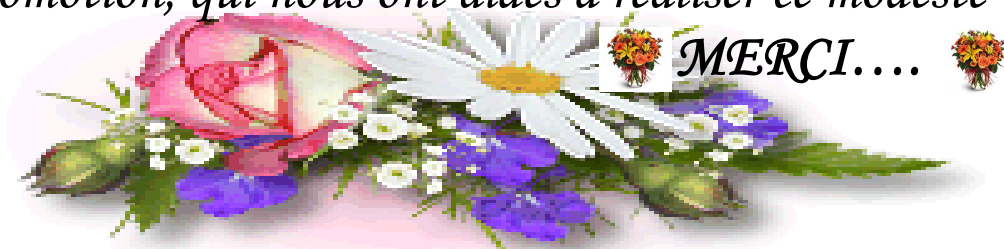
Ensuite pour ses conseils précieux, ses orientations judicieuses et ses directives efficaces, ainsi que

Pour les réflexions avisées qu'elle nous ont apportées.

Nous tenons à remercier les membres de jury qui vont chargé d'examiner et corriger ce mémoire

Nous vous remercions énormément et nous sommes très heureux et fiers de présenter notre travail devant des professeurs ainsi compétents comme vous, merci beaucoup encore.

Et enfin nous remercions l'ensemble, enseignants et collègues de notre promotion, qui nous ont aidés à réaliser ce modeste travail.



Dédicace

Je dédie ce modeste travail à:

Ma chèreMère.

Mon cherPère.

Mes frères et sœurs.

Tous les membres de la famille

Tous nos enseignants.

A tous mes amis

T. OUSSAMA



Dédicace

J'ai le grand honneur de dédier ce travail à :

Mon cher père et ma chère mère

A toute ma famille.

A tous mes camarades de l'option

*A tous mes amis que j'ai connus dans ma vie en
particulier*

Pour tous ceux qui je les connaissent

*A tous les enseignants et toutes les enseignantes de génie
des procédés*

c. yahia.....

Liste des abbreviations

%	Pour cent
°	Degré
°Bx	Degré Brix
°C	Degré Celsius
GNV	Gaz Naturel pour Véhicule
IC	l'indice de cétane
ID	l'indice d'iode
PE	le point d'éclair
IO	l'indice d'octane
IA	l'indice d'acidité
IS	l'indice de saponification
EU	États-Unis
g	Gramme
HVP	Huile végétale pure
ISO	L'Organisation Internationale de normalisation
UNIFAC	Universal functional activity coefficient
Kcal	kilocalories
KJ	kilojoule
GUI	Interface utilisateur graphique
S	La solubilité
T	Température
OCDE	Organisation de Coopération et de Développement Economiques
pc	Personale Computer

Liste des Figures

Figures	Titre	Page
Figure I.1	Structure chimique de triglycérides. R ₁ , R ₂ , R ₃ désignent des chaînes d'acides gras et différent en longueur et nombre de double liaison	3
Figure I.2	Appareil de Soxhlet à gauche, et appareil de Lickens- Nickerson à droite	4
Figure I.3	structure Classification des lipides	6
Figure I.4	Représentation le bois énergie dans nature	8
Figure I.5	structure exploitation de biogaz	9
Figure I.6	courbe Evolution de la production de biodiesel dans le monde de 2007 à 2011 en millions de litres	12
Figure II.1	Equation de la transestérification	16
Figure II.2	Mécanisme de la réaction transestérification	17
Figure II.3	La réaction de transestérification avec catalyseur	18
Figure II.4	La réaction de neutralisation du catalyseur NaOH	24
Figure II.5	Procède de transestérification basique	24
Figure II.6	Procède de transestérification acide	24
Figure II.7	Procède de transestérification enzymatique	25
Figure III.1	Structure chimique du triolein	32
Figure III.2	Les réactions chimiques de transestérification	32
Figure III.3	La réaction de Neutralisation du catalyseur NaOH	32

Figure IV .1		courbe(1) nombre plateau en fonction fraction mol (kg/h) (Etat1:5 Plateau).	38
Figure IV .2		courbe(2) nombre plateau en fonction fraction mol (kg/h) (Etat 1 : 8 Plateau).	38
Figure IV .3		courbe(3) nombre plateau en fonction fraction mol (kg/h) (Etat 1 : 10 Plateau).	37

Liste des Tableaux

Tableau	Titre	Page
Tableau. I.1	Acides gras continue dans les dérivés huiles comestibles	3
Tableau .I .2	Propriétés physico-chimiques de biodiesels produits à partir de diverses	10
Tableau. I .3	Avantages et désavantages de biodiesel	13
Tableau. II .1	Transestérification en milieu basique de diverses huiles	21
Tableau. II .2	Transestérification en milieu acide de diverses huiles	24
Tableau. II .3	Comparaison des divers procédés de transestérification	27
Tableau III.1	Caractéristique PC portable	28
Tableau III.2	Propriété physico-chimique des huiles végétales	28
Tableau III.3	Propriété physico-chimique de Méthanol	29
Tableau III.4	Propriétés physico-chimique d'Hydroxyde de sodium	29
Tableau III.5	Propriétés physico-chimique de l'acide phosphorique	29
Tableau III.6	formules des matières	31

Tableau IV.1		Résultat production d'unité industrielle	36
Tableau IV.2		Résultat au niveau du réacteur	37
Tableau IV.3		Résultat au niveau de la colonne(T201)	37
Tableau IV.4		Résultat au niveau de la colonne(T401)	39

Introduction

Récemment, il y a eu une augmentation de l'utilisation des matières premières les matériaux et l'énergie. D'une part, l'augmentation annuelle du l'utilisation du diesel conduit à une hausse continue de son prix mais d'autre part, le monde est confronté à la menace problème d'épuisement des réserves déjà limitées décarburant. Cela stimule la science à développer des méthodes et équipement pour recevoir des combustibles écologiquement propres, produit par les ressources renouvelables, les soi-disant biocarburants.

En premier lieu, c'est le remplacement d'une partie des carburants diesel au biodiesel, reçus par les huiles végétales et graisses animales. L'utilisation du biodiesel a une autre force- la réduction de l'élimination des éléments toxiques dans l'atmosphère, par conséquent, une amélioration considérable de l'environnement pour les personnes.

Le biodiesel est l'une des sources d'énergie renouvelable les plus important. Il est non toxique, biodégradable, son pouvoir calorifique est important, sa teneur en soufre est faible et son utilisation réduit l'émission des imbrûlés et des suies. Il peut être aussi utilisé dans les moteurs diesel sans leur faire introduire de modifications. Par contre, il y a des problèmes techniques liés à ses propriétés d'écoulement à basse température, à l'émission des NOx, et sa stabilité lors du stockage [1].

Le processus de fabrication du biodiesel est bien connu. Il est réalisé comme base transestérification de pétrole catalysée avec de l'alcool à faible teneur en alcool. Pour l'obtention du biodiesel, les matières premières suivantes sont utilisé : l'huile végétale telle que le tournesol, le soja, la palme, le viol.

Englobe une réaction de transestérification qui nécessite l'utilisation d'un alcool (généralement du méthanol) et permet de produire les biocarburants et le glycérol provenant de l'huile. Il utilise principalement des réacteurs simples (Pour la transestérification et la neutralisation du catalyseur), épurateurs et séparateurs pour séparer les composants lourds des légers et des colonnes de distillation pour séparer les Produits et pour purifier le biocarburant [2].

Ce thème est composé des 4 étapes suivantes:

- ✿ La première étape est consacrée à l'étude de l'état de l'art à travers une synthèse bibliographique. Elle comprend 2 chapitres qui présentent les

fondements généraux de traitement des huiles, la réaction de transestérification.

- ✿ Une deuxième étape expose les démarches simulation; elle comporte les moyens technologiques de traitement et les méthodes et protocoles de transestérification que nous avons été amenés à adopter pour mener à bien l'ensemble de cette étude.
- ✿ Une troisième étape est consacrée aux résultats expérimentaux par simulation du procédé global de la fabrication du biodiesel.
- ✿ La dernière étape se présente sous forme d'une conclusion générale sur les différents travaux réalisés et les perspectives des actions à mener.

RESUME

Au cours des dernières années, les biocarburants ont été étudiés comme une renouvelable aux combustibles fossiles. Dans les sources récentes de production le biodiesel à partir les huiles végétales est dont l'huile n'est pas comestible et bons rendements, présentant ce plus d'avantages que les matières premières traditionnelles. Dans ce projet, nous allons développer une conception et simulation d'une unité industriel pour la production de biodiesel à partir des huiles végétales de production, en simulant les étapes dans le logiciel CHEMCAD. Dans le cas de réacteur nous utilisant le NaOH comme catalyseur basique 10 Kg/h et température 60 C° pour la réaction de transestérification. Nous avons effectué ces simulations par CHEMCAD version 7.2.1 a été démontré que le carburant obtenu bonne rendement entre 95% -98%.

الملخص

في السنوات الأخيرة تم دراسة انتاج الوقود الحيوي باعتباره الوقود الأحفوري المتجددة من مصادر مختلفة ومن أهم المصادر لانتاج الوقود الحيوي الزيوت النباتية الغير موجه لاستهلاك مع اظهار مزايا افضل من الوقود الخام. في هذه الدراسة قمنا بتطوير وحدة صناعية لانتاج الوقود الحيوي من الزيوت النباتية وذلك باستعمال برنامج CHEMCAD مع وجود المحفز القاعدي هيدروكسيد الصوديوم (10 كغ/سا) بدرجة حرارة 60 في معادلة الأسترة. أجرينا هذه المحاكاة ببرنامج CHEMCAD النسخة 7.2.1 لانتاج وقود جيد ذا مردودية تتراوح ما بين 93%-96%.

كلمات البحث الأسترة- زيوت النباتية –الوقود الحيوي

I.1.Introduction

Les végétales sont extraites des graines, des amandes et des fruits. Les oléagineux sont ceux qui servent à produire industriellement de l'huile et qui sont cultivés dans ce but. Parmi les plantes cultivées pour leur huile, on cite: l'arachide, l'olivier, le colza, le ricin, le soja et le tournesol, en général toutes les graines contiennent de l'huile [1].

Les huiles végétales, leur caractéristique, et les biocarburants spécialement les biodiesel font l'objet de ce premier chapitre, afin de donner un aperçu assez général sur l'élément clé de notre travail qui est le biodiesel fabrique à partir des huiles végétales.

I.2. Généralités sur des huiles végétales

À un moment donné de la préhistoire, on inventera le pressoir à huile, On ne sait pas à quand remonte exactement cette invention, mais on a retrouvé des mentions à ce sujet dans les écrits védiques de l'Inde ancienne, tandis que, dans le bassin méditerranéen, les pressoirs se répandent à partir du 3e millénaire avant notre ère.

L'histoire des huiles végétales et de leurs usages sera directement liée aux avancées technologiques qui ont permis de passer, au fil du temps, du pressoir à main rudimentaire à la presse moderne (ou presse à vis sans fin) en passant par l'ouvrage gigantesque creusé dans le rocher ou bâti en pierre, et alimenté par le courant d'une rivière.

Les premières huiles seront celles que l'on tire de l'olive, à l'Ouest, et de la graine de sésame, à l'Est leur extraction n'exigeait aucune cuisson préalable et ne demandait qu'une force mécanique relativement faible, que pouvait fournir l'être humain ou l'animal de trait. Elles resteront pendant longtemps les seules huiles comestibles, On ne les employait que parcimonieusement, car elles étaient dispendieuses, puis s'ajouteront les huiles de fruits secs - noix, noisette, pistache, etc. - des fruits de divers palmiers - cocotier, noix de palme, noix palmiste et, plus récemment, celles des graines de moutarde, colza et coton, avec l'avènement de l'ère industrielle, on mettra au point des procédés de raffinage permettant d'extraire l'huile de matières réfractaires à la simple pression à froid (soya, maïs, pépins de raisin).

Dans certains cas, on les désodorisera pour éliminer les principes amers qui, autrement, en limiteraient la comestibilité, l'huile qui, jusque-là, était essentiellement extraite mécaniquement dans des pressoirs artisanaux, deviendra un produit de consommation courante et, toutes proportions gardées, son prix ne cessera de baisser [2].

I.2.1. Définition des huiles végétale

Les huiles végétales sont des substances insolubles dans les solvants minéraux constituées en majeure partie d'esters de glycérol d'acides gras appelés triglycérides [3].

Du point de vue structural, un triglycéride est une molécule de glycérol est constituée de trois molécules d'acides mono carboxylique, a langue chaine hydrocarbonée appelés acides gras dont la structure chimique (**Figure I.1**) suivante [4] :

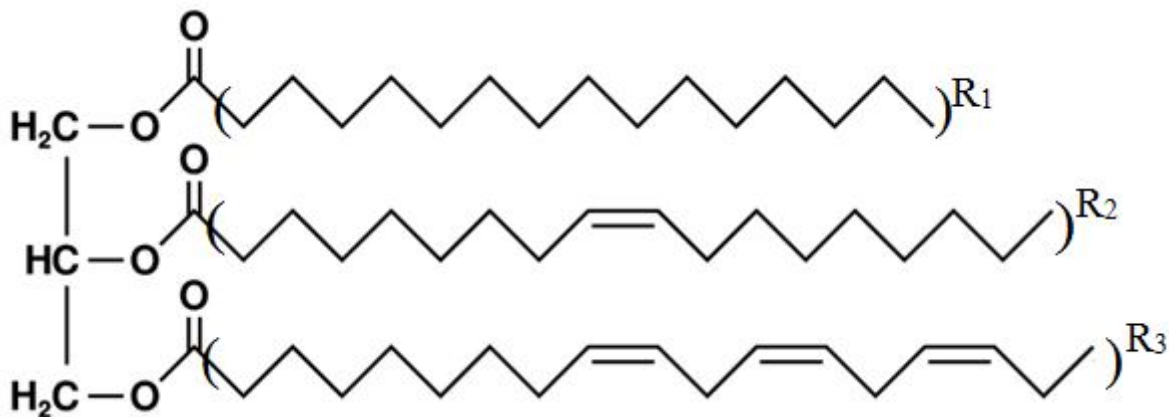


Figure I.1 : Structure chimique de triglycérides.

R_1 , R_2 , R_3 désignent des chaînes d'acides gras et différent en longueur et nombre de double liaison

I.2.2. Composition et caractéristiques chimiques des huiles

L'intérêt de connaître la composition d'une huile est évident, puisque celle-ci va avoir une influence sur les caractéristiques physiques essentielles pour évaluer la qualité du biodiesel qui en résulte comme la viscosité, le point de fusion et la stabilité thermique.

De point de vue chimique, la composition des huiles est fonction des variations de conditions de culture (sol, amendement, climat, hygrométrie...).

Les huiles végétales sont constituées essentiellement de triglycérides, d'acide gras libres et de produits secondaires

La teneur maximale de ces derniers est de l'ordre de **1 à 5 %**, dans une huile brute normale, tel que : les huiles type palmitique, les huiles ou beurre de type stéarique, les huiles de oléiques, les huiles de type linoléique et les huiles tri-insaturées exemple : olive, soja

Le tableau regroupe les structures des acides gras les plus fréquents dans les huiles végétales [5].

Tableau I.1: Acides gras continue dans les dérivés huiles comestibles [6].

Désignation d'acide Gras	Nombre d'atomes de carbone	Formule	Class
Palmitique	C16	$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_{14}\text{COOH}$	Sature
Stéarique	C18	$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_{16}\text{COOH}$	Sature
Oléique	C18 :1	$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_7\text{CH}=\text{CH}(\text{CH}_2)_7\text{COOH}$	Insaturé
Linoléique	C18 :2	$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_4\text{CH}=\text{CHCH}_2\text{CH}=\text{CH}(\text{CH}_2)_7\text{COOH}$	Polyinsaturé
Linoléique	C18 :3	$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_4\text{CH}=\text{CHCH}_2\text{CH}=\text{CHCH}_2\text{CH}=\text{CH}(\text{CH}_2)_4\text{COOH}$	Polyinsaturé

Les principales caractéristiques physico-chimiques des huiles végétales sont la masse volumique (ou densité spécifique), le pouvoir calorifique inférieur (PCI), la viscosité cinématique (généralement déterminée à 40°C), l'indice de cétane (IC), l'indice d'iode (ID), le point d'éclair (PE), l'indice d'octane (IO), l'indice d'acidité (IA), l'indice de saponification (IS) [7].

Les huiles végétales peuvent être utilisées directement comme carburants car leur pouvoir calorifique est important (environ 80 % de celui du pétro diesel), mais elles ont des viscosités cinématiques importantes, au moins 10 fois supérieures à celles du diesel à 40°C, ce qui occasionne une mauvaise atomisation dans la chambre de combustion du moteur [8], d'autre part, leurs combustions y provoquent la formation d'importants dépôts, Pour les raisons citées ci-dessus, l'utilisation directe des huiles dans les moteurs est à éviter en général.

Les huiles végétales sont transformées par transestérification en biodiesel dont les propriétés sont voisines de celles du pétro diesel [9].

I.2.3. Classement des huiles végétales

Selon le végétal d'origine de l'huile, celle-ci dispose de quantités variables des différents acides gras, répartis eux-mêmes de façons variables sur la molécule de glycérol (triglycérides) et de différents constituants mineurs, Ainsi les compositions possibles sont très variées, d'où la grande diversité de composition et de caractéristiques des huiles végétales [10].

Les huiles de type oléique (C18:1 ω9, ou n-9)

Une huile de type oléique est riche en acide oléique, qui possède 18 atomes de carbone pour 1 liaison éthylénique, d'où la dénombration C18:1. Sa composition chimique moléculaire présente une double liaison carbone/carbone en position 9 par rapport au carbone Oméga.

Une huile de type oléique est principalement constituée de triglycérides à base d'acide oléique.

C'est un acide gras appartenant à la famille des Oméga 9.

Ex : huile d'olive, huile de prune, huile de noisette.

Les huiles végétales de type linoléique (C18:2 ω6 ou n-6)

Une huile de type linoléique est riche en acide linoléique qui possède 18 atomes de carbone pour 2 doubles liaisons éthyléniques, d'où la dénombration C18:2. Sa composition chimique moléculaire présente deux doubles liaisons carbone/carbone dont la première est en position 6 par rapport au carbone Oméga, C'est un acide gras appartenant à la famille des Oméga 6.

Une huile de type linoléique est riche en triglycérides à base d'acide linoléique.

Ex : huile de soja, tournesol, huile de noix, huile de chanvre.

Les huiles végétales de type linoléique (C18:3 ω3 ou n-3)

Une huile de type linoléique est riche en acide linoléique qui possède 18 atomes de carbone pour 3 doubles liaisons éthyléniques, d'où la dénombration 18:3.

Sa composition chimique moléculaire présente trois doubles liaisons carbone/carbone dont la première est en position 3 par rapport au carbone Oméga, Cette huile est constituée de triglycérides à base d'acide linoléique, c'est un acide gras appartenant à la famille des Oméga 3

Ex : huile de lin, huile de cameline.

I.2.4. Extraction des huiles végétales

La première étape de l'extraction proprement dite consiste à nettoyer et à décortiquer certaines des matières oléagineuses (arachides, graines de tournesol, amandes, noisettes, par exemple), On procède ensuite au broyage qui transforme la substance en pâte qui subira alors une extraction mécanique par pressage à froid ou à chaud.

L'extraction de l'huile végétale fut longtemps effectuée de façon artisanale, elle est maintenant réalisée de façon industrielle, à grande échelle, Peu importe la matière de base

utilisée, la fabrication de l'huile débute toujours par le nettoyage et le décortilage, suivis du pressage qui varie selon le type d'huile, et le raffinage, pour les huiles dites commerciales. [11].

I.2.4.1. L'extraction par solvant

Cette méthode est utilisée pour obtenir des huiles florales extrêmement parfumées. Les plantes et le solvant sont placés dans un récipient et chauffés pour favoriser l'extraction des huiles par le solvant. La mixture ainsi obtenue est ensuite filtrée et devient ce que l'on appelle un « concret », qui est alors mélangé à de l'alcool, refroidi et filtré. Après évaporation de l'alcool, reste l'huile très parfumée, appelée « absolu » [12].

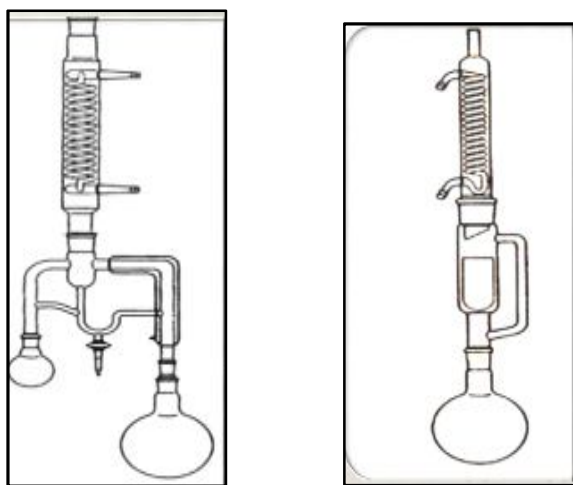


Figure I.2: Appareil de Soxhlet à gauche, et appareil de Lickens-Nickerson à droite

I.2.4.2. L'extraction mécanique

L'extraction par expression est souvent utilisée pour extraire les huiles essentielles des agrumes comme le citron, l'orange, la mandarine, etc. Son principe consiste à rompre mécaniquement les poches à essences. L'huile essentielle est séparée par décantation ou centrifugation. D'autres machines rompent les poches par dépression et recueillent directement l'huile essentielle, ce qui évite les dégradations liées à l'action de l'eau.

L'extraction à froid est une technique qui a pris naissance en Sicile, avant d'être utilisée par tous les pays producteurs d'agrumes. Elle se faisait autrefois manuellement par un procédé dit (à l'éponge), Après celui, un autre s'est considérablement développé [13].

I.3.1 Définition des lipides

Les lipides biologiques constituent un groupe divers sur le plan chimique. Ils possèdent des caractères physiques communs : Insolubilité dans l'eau, et solubilité dans les solvants organiques, (l'acétone, l'éther de pétrole, benzène, chloroforme, éthanol chaud, etc.).

Ils sont caractérisés par la présence dans leur molécule d'au moins un acide gras ou une chaîne grasse [14].

I.3.2. Classification des lipides

Basée sur leur structure chimique, on distingue :

Les acides gras

Lipides simples :

- glycérides
- stérides
- cérides

Lipides complexes :

- phospholipides
- Sphingolipides
- plasma logenes

Les lipides isopréniques :

- Les carbures isopréniques
- Les stérols et stéroïdes
- Les quinones et vitamines liposolubles

I.4.les Biocarburants

Les biocarburants sont des produits qui peuvent être transformés en carburants liquides pour. Chauffage Le bioéthanol est produit à partir de produits agricoles, Féculents et céréaliers tels que la canne à sucre, le maïs, la betterave, le blé et le sorgho. Le biodiesel est fabriqué à partir de graines oléagineuses ou d'arbres comme le colza, le tournesol, le soja, la palme, Noix de coco ou jatropha.

Bien que les efforts pour produire des biocarburants remontent aux premiers jours de l'automobile (Notamment l'expérience réussie du programme PROALCOOL lancé par Brésil en 1975), les biocarburants n'ont commencé à être considérés comme une alternative sérieuse au pétrole dans le monde au cours des cinq dernières années [15]. Leur réduction des émissions de Combustibles traditionnels et leurs impacts positifs sur le développement rural, ainsi que Les prix élevés actuels du pétrole, sont des éléments clés derrière leur développement du marché [16].

I.4.1.La première génération (1G) :

Un biocarburant de première génération est un agro carburant produit à partir de cultures destinées traditionnellement à l'alimentation. Plus spécifiquement, ce sont les organes

de réserve des plantes oléifères (à huile) ou des plantes à sucre qui sont utilisés pour produire du biodiesel ou du bioéthanol.

Par exemple, un champ de colza peut servir à produire de l'huile alimentaire ou du biocarburant.

Les biocarburants actuels, dits de première génération, sont donc issus de la conversion de cultures alimentaires en sources d'énergie plutôt qu'en produits alimentaires. Par conséquent, la production de ces biocarburants entre en compétition avec la production alimentaire, et donc avec la disponibilité et le cours des aliments dans le monde [16].

I.4.2.La deuxième génération (2G) :

Des technologies sont actuellement mises au point pour exploiter les matières cellulosiques telles que le bois, les feuilles et les tiges des plantes ou celles issues de déchets. On qualifie ces matières de biomasse ligno-cellulosique car elles proviennent de composants ligneux ou à base de carbone qui ne sont pas directement utilisés dans la production alimentaire.

Ces caractéristiques présentent un avantage de disponibilité supérieure et de non concurrence alimentaire par rapport à la première génération de biocarburants. Cette technologie permet de produire du bioéthanol dit de deuxième génération, du biodiesel, du bio-hydrogène ou du biogaz.

Elle n'est pas encore déployée au stade industriel mais des perspectives de mise en application à moyen terme se dessinent. Leur production à grande échelle est prévue à l'horizon **2020-2030**[16].

I.4.3.La troisième génération (3G) :

Les procédés, encore à l'étude, s'appuient principalement sur l'utilisation de microorganismes telles que les micro algues. Celles-ci peuvent accumuler des acides gras permettant d'envisager des rendements à l'hectare supérieurs d'un facteur **30** aux espèces oléagineuses terrestres. A partir de ces acides gras, il est possible de générer du biodiesel. Certaines espèces de micro algues peuvent contenir des sucres et ainsi être fermentées en bioéthanol.

Enfin, les micro algues peuvent être méthanisées pour produire du biogaz. Certaines d'entre elles peuvent également produire du bio hydrogène [16].

I.5. Les types de biocarburant

Il existe plusieurs types de biocarburant qui proviennent de plusieurs matières premières diverses. Nous nous contenterons de citer les plus répandus et présentant un développement important ces dernières années[17] :

I.5.1. Le Bois énergie

Le bois énergie est le terme désignant les applications du bois comme combustible en bois de chauffage. Le bois énergie est une énergie entrant dans la famille des bioénergies car utilisant une ressource biologique. Le bois énergie est considéré comme étant une énergie renouvelable car le bois présente un bilan carbone neutre (il émet lors de sa combustion autant de CO₂ qu'il n'en a absorbé durant sa croissance).

Le bois énergie est essentiellement utilisé pour le chauffage des locaux sous deux formes. Le bois énergie sous forme de bûches. Et le bois énergie sous forme de granulés. La deuxième technique permet une utilisation du bois énergie souple : stockage des granulés silos, alimentation automatique de chaudière bois.

Le bois énergie est un combustible intéressant sur le plan de la transition énergétique. Le bois utilisé comme source d'énergie dans l'habitat représente 4 % de l'énergie primaire consommée en France et le bois énergie est la principale source d'énergie renouvelable thermique en France[16] [17].

I.5.2. Le Biogaz

Le biogaz peut être obtenu par la fermentation de matières organiques animales ou végétales en l'absence d'oxygène. Cette fermentation est appelée aussi méthanisation. Celle-ci se produit naturellement (dans les marais) ou spontanément dans les décharges contenant des déchets organiques, mais elle peut être aussi provoquée artificiellement dans des digesteurs pour traiter des boues d'épuration, des déchets organiques industriels ou agricoles.

Le biogaz est un mélange composé essentiellement :

- de méthane (typiquement **50 à 70%**) .
- de gaz carbonique, avec des quantités variables d'eau, d'hydrogène sulfuré (H₂S).

Le biogaz carburant est du biogaz ou du bio méthane utilisé comme carburants verts pour véhicules.

Sa partie énergétique est du méthane biologique, il s'agit donc tout simplement de GNV (Gaz Naturel pour Véhicule) renouvelable.

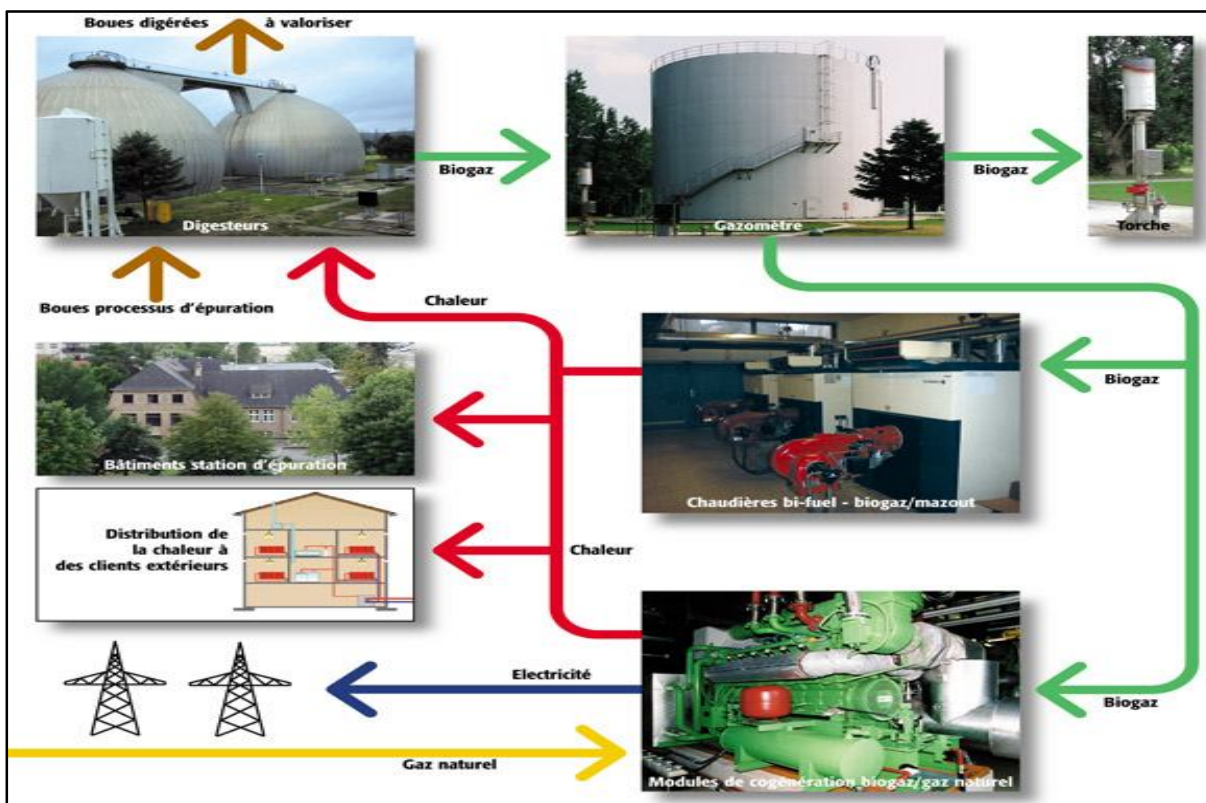


Figure I.5 : Structure d'exploitation de biogaz

I.5.3. Biodiesel

Les biocarburants sont des produits élaborés à partir de matériaux organiques renouvelables en remplacement principalement des dérivés du pétrole d'origine fossile et donc, non renouvelables. Les biocarburants font partie de deux grandes familles, soit les substituts à l'essence (bioéthanol, bio butanol et bioéthanol) et les substituts au carburant diesel (biodiesel).

Le biodiesel est un mélange constitué d'esters éthyliques ou méthyliques d'huile végétale (EEHV ou EMHV) ou de gras animal. Contrairement au pétrodiesel, qui est formé de plusieurs hydrocarbures composés uniquement d'atomes de carbone et d'hydrogène, le biodiesel contient de l'oxygène.

Le biodiesel est par ailleurs biodégradable, ce qui n'est pas le cas du pétro diesel. Le biodiesel est élaboré à partir de substrats riches en matières grasses tels que les huiles végétales, les huiles de cuisson usées et le gras animal. Les huiles végétales utilisées sont extraites de plantes oléagineuses cultivées spécifiquement pour leurs grains ou pour leurs fruits riches en matière grasse. Au Canada, ces plantes oléagineuses sont principalement le canola, le soya et le tournesol. Ces dernières contiennent typiquement entre 15 et 50 % d'huile. Les huiles végétales peuvent également être utilisées directement dans les moteurs diesel comme substitut au pétrodiesel.

Alors que le biodiesel résulte d'un procédé de transestérification de la matière grasse, « l'huile végétale-carburant » est utilisée à l'état brut et provient simplement d'un procédé de filtration et de décantation¹ permettant d'obtenir de l'huile végétale pure (HVP). L'huile végétale pure peut être produite en filière courte à petite échelle, par exemple à l'échelle d'une ou de quelques fermes. Toutefois, son utilisation dans les moteurs diesel se fait au risque de voir les garanties des fabricants invalidées [18].

I.5.3.1. Caractéristique du biodiesel

La qualité de biodiesel (**Tableau. I.2**) 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 tournesol et d'olive entre autres, varie de 2.83 à 5.12 cSt [19], tandis que la viscosité du pétrodiesel est d'environ 3.0 cSt [20]. Le pouvoir calorifique du pétrodiesel, compris entre 42.5 et 45 MJ/kg, est supérieur à celui du biodiesel [21, 23], qui varie entre 35 et 42 MJ/kg [23, 26].

Tableau. I.2 : Propriétés physico-chimiques de biodiesels produits à partir de diverses [26]

Source	Masse volumique (g/L)	Viscosité (cSt) (40°C)	Pouvoir calorifique (MJ/kg)	Point éclair (°C)	Point de trouble (°C)	Point d'écoulement (°C)
Huile de palme	880	5.7	34	164	13	--
Huile de soja	885	4.1	40	69	-2	-3
Huile de colza	882	4.5	37	170	-4	-12
Huile de tournesol	860	4.6	34	183	1	--
Huile de micro algues	864	5.2	41	115	-12	-11

I.5.3.2. Utilisation du biodiesel

Bien qu'il puisse être employé à l'état pur, le biodiesel est généralement mélangé avec le diesel dérivé du pétrole (pétrodiesel). Les mélanges de biodiesel-pétrodiesel sont identifiés

par l'abréviation « Bxx », où « xx » indique le pourcentage (selon le pays) de biodiesel dans le mélange.

La France a instauré un taux maximum de **7%** de biodiesel à la pompe et jusqu'à **30%** pour les collectivités comme les transports en commun ou l'armée [13]. Alors qu'un carburant **B100** correspond au biodiesel pur. Plusieurs types de mélange sont commercialisés dont les plus fréquents sont le **B2**, **B5**, **B20** et **B100**

I.5.3.3. La consommation mondiale et les politiques de production du biodiesel

la demande énergétique mondiale est grande et croît annuellement [26]. La majeure partie de l'énergie consommée au niveau mondial provient du pétrole et de ses dérivés.. Si la consommation de pétrole restait stable, il était prévu que ce dernier disparaisse vers **2054** [26]. Néanmoins, la demande mondiale en énergie pourrait augmenter de **35 %** entre **2005** et **2030** [27].

la production mondiale a plus que doublé entre **2007** et **2011**, de près de **11** milliards de litres à plus de **23** milliards de litres.

L'UE27 produit quasiment la moitié de la production de biodiesel dans le monde, mais cette part tend à diminuer entre **2007** et **2011**, de **59%** à **46%** (**6,5** milliards de litres à près de **11** milliards de litres).

La part des Etats-Unis (EU) dans la production mondiale de biodiesel est demeurée stable autour de **13%** entre **2007** et **2011**, mais a subi une chute sévère en **2009** et **2010** (moins de **5%** de la production mondiale). Quant au Brésil, il produisait moins de biodiesel en **2007** que l'Argentine (**2,9%** contre **4,2%** de la production mondiale), mais il a rattrapé son retard et devance légèrement l'Argentine dans la production mondiale en **2011** (**10,5%** contre **10,1%**). La production de biodiesel du Brésil a été multipliée par **7,7** sur la période, celle de l'Argentine a été multipliée par **5**. [28, 29]., la production mondiale de biodiesel était de **14** millions de tonnes [30] soit une hausse de **600 %** par rapport à **2008** *Tableau. I.3*

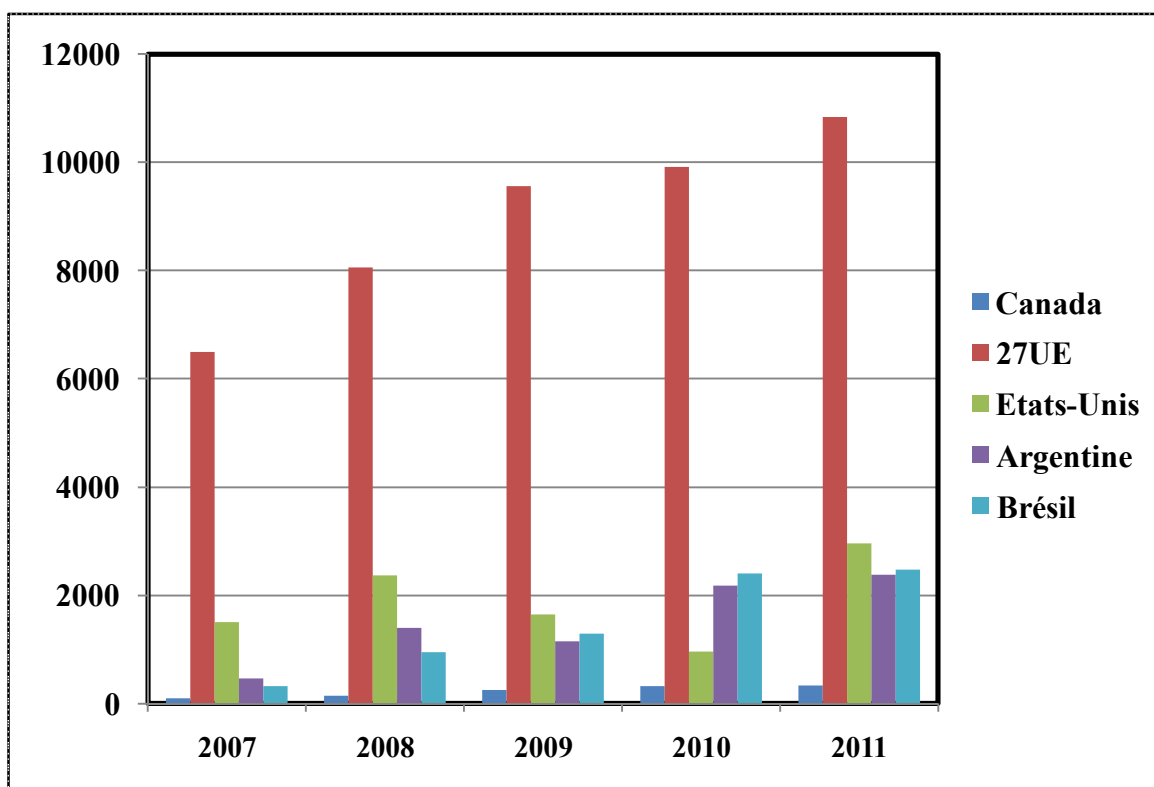


Figure I.6 : Courbe Evolution de la production de biodiesel dans le monde de 2007 à 2011 en millions de litres

Source : OCDE (Organisation de Coopération et de Développement Economiques)

I.5.4. Avantages et Désavantages de biodiesel

Tableau. I.3. : Avantages et désavantages de biodiesel [30].

Aspects	Avantages	Désavantages
Coût	Il est fabriqué à partir de ressources renouvelables	Actuellement plus cher que le diesel fossile
Énergie disponibilité	Le gazole fossile est une ressource limitée, mais les biocarburants peuvent être fabriqués à partir d'un large éventail de matériaux	Principalement produite à partir de l'huile comestible, ce qui pourrait causer des pénuries d'approvisionnement alimentaire et une augmentation des prix
Émission de GES	Carbone significativement moins nocif (CO ₂ *, CO, THC)	Réduction de l'économie de carburant
Sécurité énergétique	Viabilité du biocarburant de première génération production	Conflits avec l'approvisionnement alimentaire
Usage	-Relatively less flammable compared to fossil diesel - Propriétés de lubrification significativement meilleures - Émissions de carbone significativement moins nocives par rapport au diesel standard	- Moins approprié pour une utilisation à basse température - Il ne peut être utilisé que dans les moteurs diesel - Plus probable que le diesel fossile pour attirer l'humidité
La pollution de l'air	Réduction significative des émissions de PM	Augmente les émissions de NOx
Points de vue divergent de réduction ou d'augmentation des émissions de CO₂		

II.1. Introduction

La transestérification est la technique classique de production de biodiesel, Il s'agit d'un procédé dans lequel les huiles végétales, les graisses animales ou les huiles à base de micro algues sont mélangées à froid à un alcool (éthanol ou méthanol) en présence d'un catalyseur (hydroxyde de sodium ou de potassium) [31].

II.2. Historique de transestérification

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

Cette réaction fait l'objet de recherches intensives grâce aux utilisations diverses de ces produits comprenant la synthèse des polyesters dans l'industrie des polymères, la synthèse des intermédiaires pour l'industrie pharmaceutique, le durcissement des résines dans l'industrie de peinture et dans la production du biodiesel en tant qu'alternatif du diesel [32].

II.3. Définition de la transestérification

La transestérification est une réaction catalytique homogène ou hétérogène des triglycérides et d'alcool. Le catalyseur est un acide ou une base au sens de Bronsted et/ou de Lewis. Si l'alcool est le méthanol on a une méthanolyse, si l'alcool est l'éthanol on a une éthanolyse.

Les huiles végétales sont essentiellement des triglycérides qui sont constituées de trois acides gras associés au du glycérol sous forme d'un triester. Leur réaction avec l'alcool conduit à des esters allylique d'huiles végétales et au glycérol L'équation de la réaction s'écrit[33].

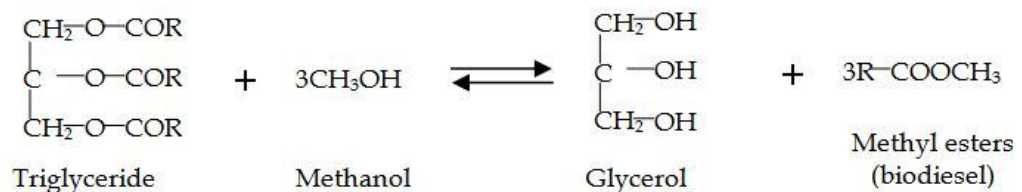


Figure II. 1 : Equation de la transestérification

II.4. Mécanisme de la réaction transestérification

La réaction de transestérification se fait en trois étapes successives :

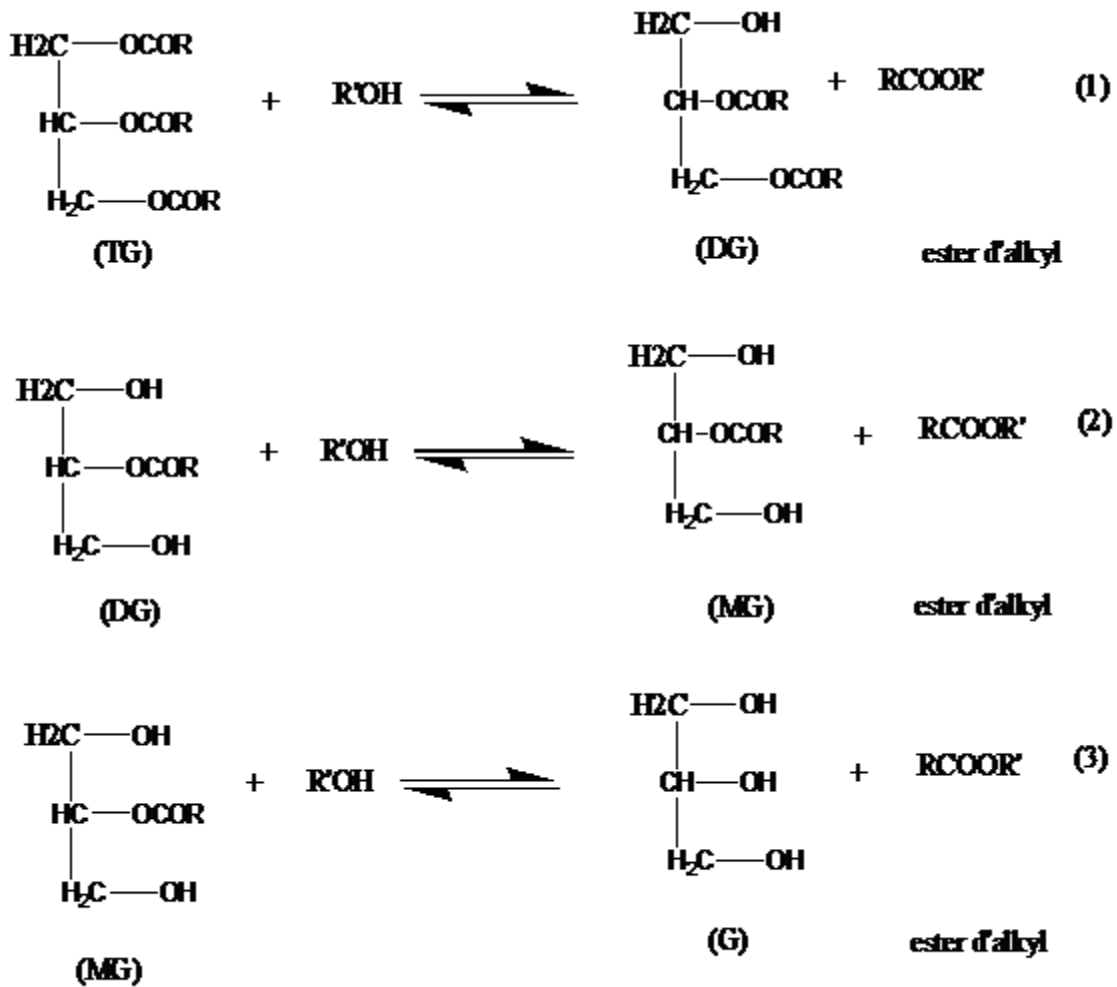


Figure II. 2 : Mécanisme de la réaction transestérification

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

Plus lente[34].

✚ En catalyse basique, le mécanisme est le suivant :

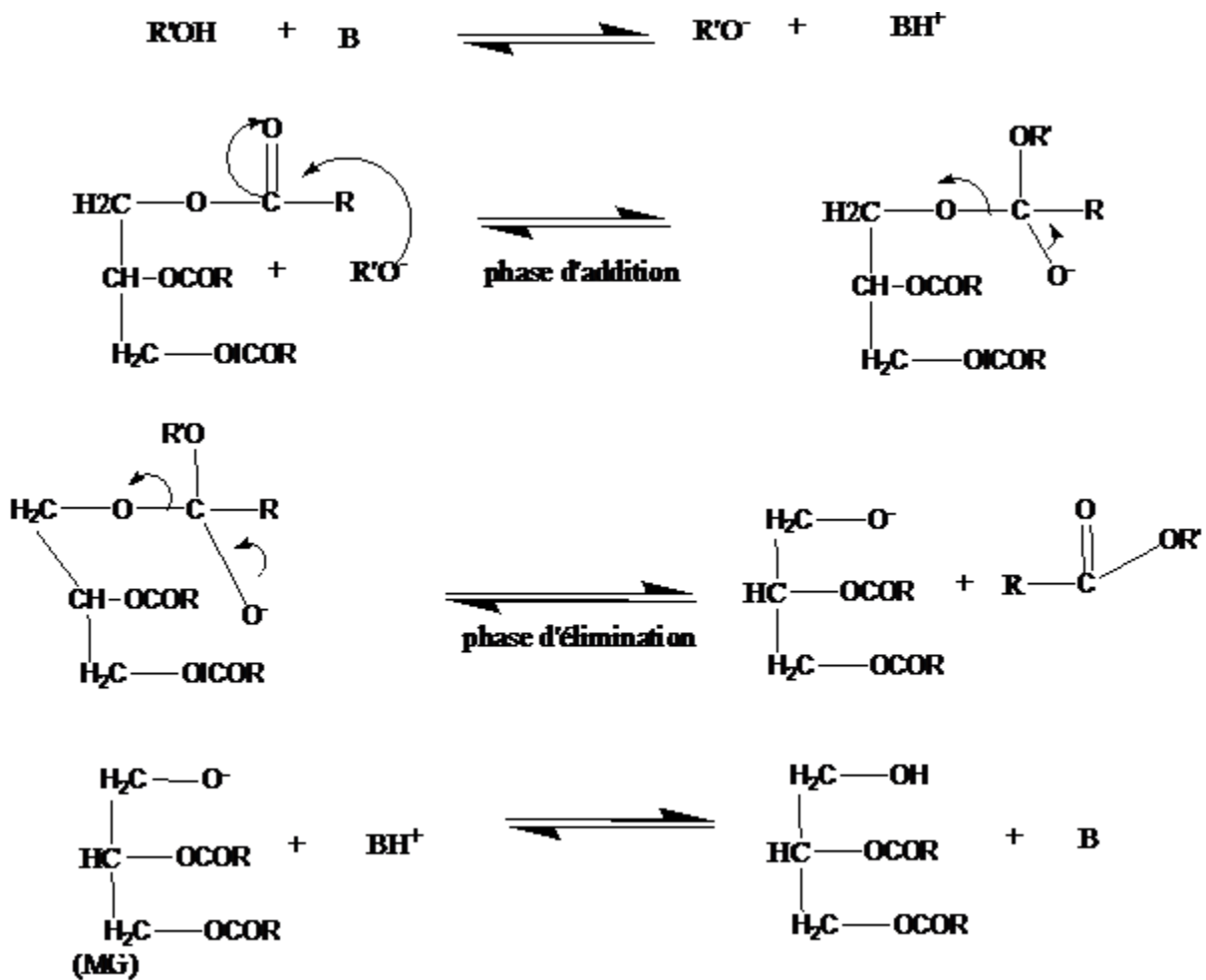


Figure II. 3 : La réaction de transestérification avec catalyseur

✚ Neutralisation du catalyseur

(Neutralisation de l'hydroxyde de sodium par l'acide phosphorique)

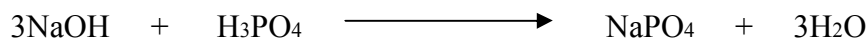


Figure II. 4 : La réaction de Neutralisation du catalyseur NaOH

II.5.Paramètres importants de la réaction de transestérification des huiles

Certains facteurs peuvent jouer sur la vitesse de la réaction et la composition du mélange à

L'équilibre. Il s'agit entre autre de la catalyse, de la température, de la composition initiale

Du milieu, de la nature des réactifs [35].

Catalyse :

Dans le cas de la réaction de transestérification, la catalyse basique est beaucoup plus rapide que la catalyse acide. Ainsi, les temps de réaction varient de 3 à 48 heures avec un catalyseur acide. Les Catalyseurs basique les plus utilisés : NaOH, KOH et NaOMe, Les catalyseurs acides les plus utilisés sont les acides minéraux HCl, H₂SO₄, H₃PO₄ et les acides sulfoniques: l'acide para toluène sulfoniques [36].

Le rapport alcool/huile :

La stœchiométrie de la réaction de transestérification montre que le nombre de moles d'alcool soit le triple de celui des triglycérides. Donc au minimum il faut doubler le nombre de moles de l'un des réactifs.

Pour différentes raisons l'alcool est pris en excès; le rapport molaire alcool/huile est de 6 au minimum. La littérature montre que ce rapport est très variable selon la nature de l'huile et du catalyseur utilisé [36].

La nature des réactifs :

Le méthanol a une meilleure réactivité que l'éthanol mais sa solubilité est moindre d'où une limitation du rendement due au transfert de masse. L'éthanol est plus soluble mais moins réactif que le méthanol ce qui a un impact positif sur le rendement mais négatif sur la vitesse. Cet avantage sur le rendement se trouve par ailleurs affecté par le fait que le mélange obtenu après la réaction faite avec l'éthanol forme une forte émulsion et pose donc des difficultés lors de la séparation. Une technique suggère de mélanger éthanol et méthanol pour profiter des avantages de chacun des deux alcools [36].

La température et la pression :

La température montre que pratiquement toutes les études de transestérification catalysées des huiles végétales sont réalisées sous pression atmosphérique. Quant à la température elle varie de 40 à 300°C environ; selon la nature de l'huile, du type de catalyse de la réaction et du catalyseur. La limite supérieure de la température utilisée ne dépassant pas la température de dégradation de l'huile [36].

 L'agitation :

Il est connu dans les réactions chimiques que l'agitation a un effet positif sur la vitesse dans la mesure où elle favorise l'homogénéité du milieu et donc le contact entre les différents réactifs.

II.6.Matières premières utilisées pour la transestérification

Généralement, le méthanol ou l'éthanol sont les deux alcools les plus utilisés pour la transestérification. Pourtant, l'ester le plus employé est l'ester méthylique car le prix de méthanol est moins coûteux que les autres alcools sauf dans quelques pays. Les esters de l'huile végétale et de graisse animale ayant une masse moléculaire basse sont étudiés pour la production potentielle de biodiesel [37].

II.7.Type de catalyseurs utilisés pour la transestérification

Les catalyseurs utilisés dans la réaction de transestérification sont généralement les bases (NaOH, KOH) ou les acides (H_2SO_4).et enzymatique. En général dans la transestérification avec les catalyseurs basiques, la vitesse de réaction est plus rapide qu'avec le catalyseur acide. Le rendement d'esters méthyliques obtenu par la transestérification avec bases catalyseurs est également supérieur au rendement d'esters méthyliques obtenus par la réaction avec les catalyseurs acide [38].

II.7.1.Transestérification par catalyse basique :

La catalyse basique par voie homogène ou hétérogène est le procédé de production de biodiesel le plus utilisé. La catalyse homogène est préférable à la catalyse hétérogène, en raison du coût du catalyseur et du temps de réaction, plus court.

Le principal avantage de la transestérification basique par rapport à la catalyse acide ou enzymatique est le temps de réaction, la transestérification basique étant une réaction rapide (0.5 à 9h)(Tableau II.1).

Par exemple, la transestérification d'huile usée en présence de MeOH et de l'hydroxyde de sodium (NaOH) pour un temps de réaction de 0.5 h donne un rendement en esters méthyliques de 85 % (m/m) Par ailleurs, les catalyseurs tels le NaOH et KOH ont un faible coût (Tableau II.1) [39].

Tableau II.1: Transestérification en milieu basique de diverses huiles

Catalyseur basique	Huile	Alcool	Ratio molaire Alcool/huile	Conditions opératoires	Conversion d'AG (%)	Rendements En esters alkyliques (% m/m)
NaOH (Hydroxyde de sodium)	Tournesol	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. 1.5h	92	77
	Mahua	Méthanol	6 : 1	60°C. 2h		
	suif	Méthanol	2-10 : 1	98°C. 0.5h		90
KOH (Hydroxyde de potassium)	Huile de friture	Méthanol	6 : 1	65°C. 2h		94
	Pongamia pionnât	Méthanol	10 : 01	60°C. 1.5h	92	
	karanja	Méthanol	6 : 1	65°C. 3h		98
	Colza	Méthanol	6 : 1	65°C. 3h		95-96
KF/Al₂O₃ (Fluorure de potassium sur oxyde d'aluminium)	Palme	Méthanol	12 : 01	65°C.3h		90
KF/Eu₂O₃ (Fluorure de potassium sur oxyde d'euporium)	Colza	Méthanol	12 : 01	65°C.1h	92	

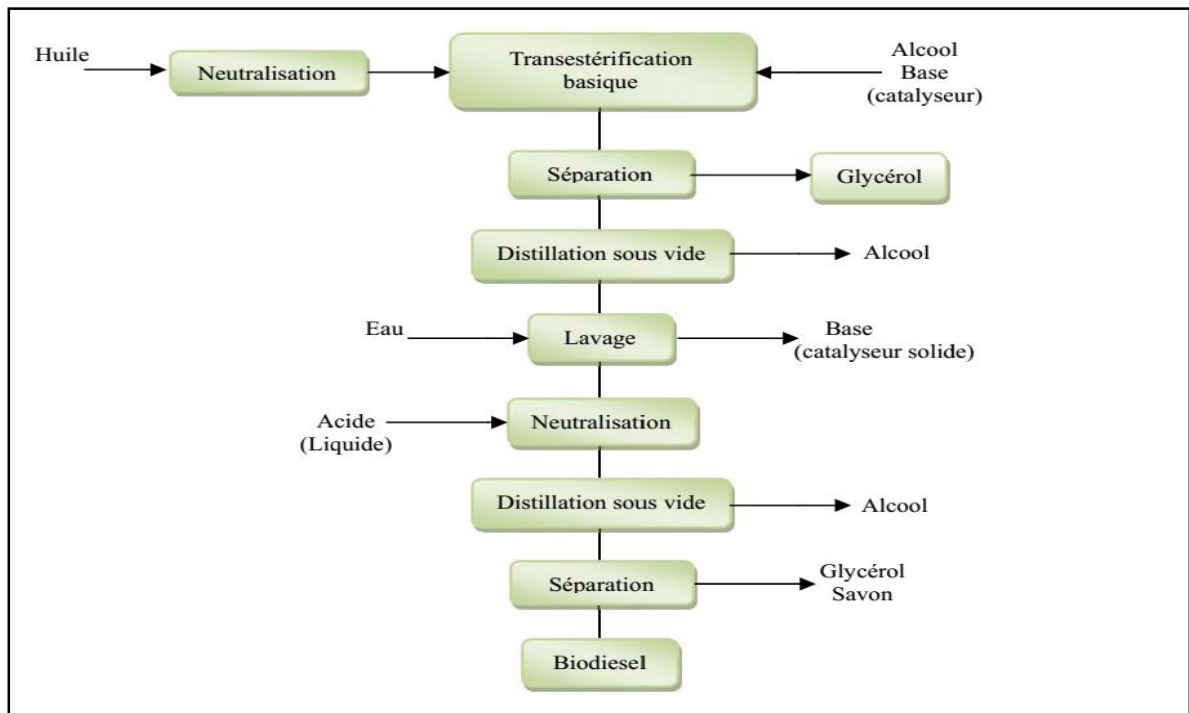


Figure II. 5: Procède de transestérification basique

II.7.2. Transestérification par catalyse acide

Les catalyseurs acides les plus utilisés sont les acides minéraux HCl , H_2SO_4 , H_3PO_4 et les acides sulfoniques : l'acide para toluène sulfoniques **Freedman** a remarqué que la transestérification en catalyse acide est **4000 fois** plus lente qu'en catalyse basique et que les temps de réaction sont beaucoup plus longs. Ainsi pour une conversion supérieure à **99 %**, la méthanolyse de l'huile de soja (à **65°C**) en présence de **1 %** molaire de H_2SO_4 , est complète après **50 heures** de réaction ; la butanolyse (à **117°C**) et , l'éthanolyse (à **78°C**), avec les mêmes quantités de catalyseur et d'alcool, s'effectuent après 3 à 18 heures respectivement .

Il a remarqué que la réaction est plus rapide quand la chaîne de l'alcool est plus longue. Le fait que la butanolyse soit plus rapide que l'éthanolyse et la méthanolyse résulte non seulement d'une température plus élevée mais, d'une plus grande solubilité du butanol dans l'huile en début de réaction.

II.7.4. Comparaison des divers procédés de transestérification

Tableau II.2 : Transestérification en milieu acide de diverses huiles

Catalyseur acide	Huile	Alcool	Ratio molaire Alcool/huile	Conditions opératoires	Conversion d' AG (%)	Rendements En esters alkyliques (% m/m)
H₂SO₄	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-ZrO₂	Soja	MeOH	20 : 1	120°C; 1h		93
ZnO	<i>Pongamia pinnata</i>	MeOH	10 : 1	120°C; 24h	83	

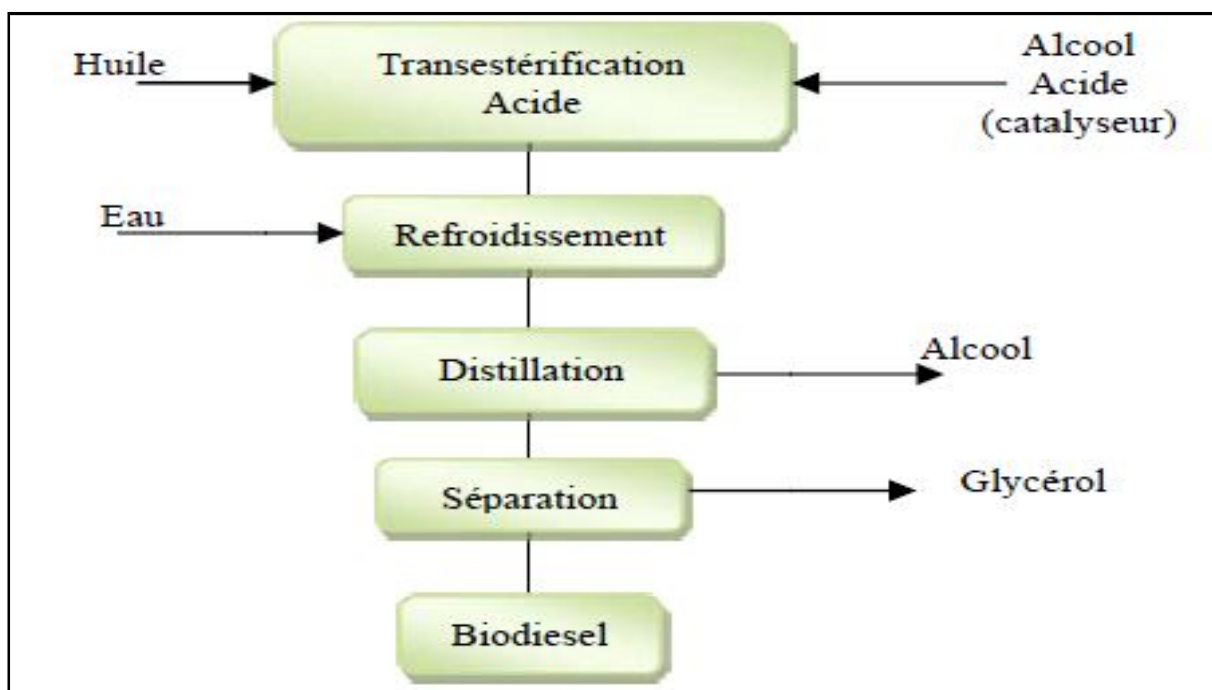


Figure II. 6: Procède de transestérification acide

II.7.3. Transestérification par catalyse enzymatique

La réaction de transestérification des huiles végétales par catalyse enzymatique a connu un grand essor ces dernières années. En effet, les enzymes possèdent plusieurs avantages .elles sont biodégradables, sélectives ce qui permet d'augmenter les rendements de la réaction tout en diminuant la production des sous-produits de la réaction. Les conditions de la réaction sont relativement douces (température et pression basses) ce qui diminue le prix en terme d'énergie et d'équipements et tend vers des coûts de gaspillage plus faibles. Dans le cas de la catalyse enzymatique on n'a ni le problème des acides libres ni la sensibilité à l'eau : on peut bien travailler dans un milieu aqueux ou non aqueux. Notons bien que l'enzyme peut être immobilisée sur un support [40].

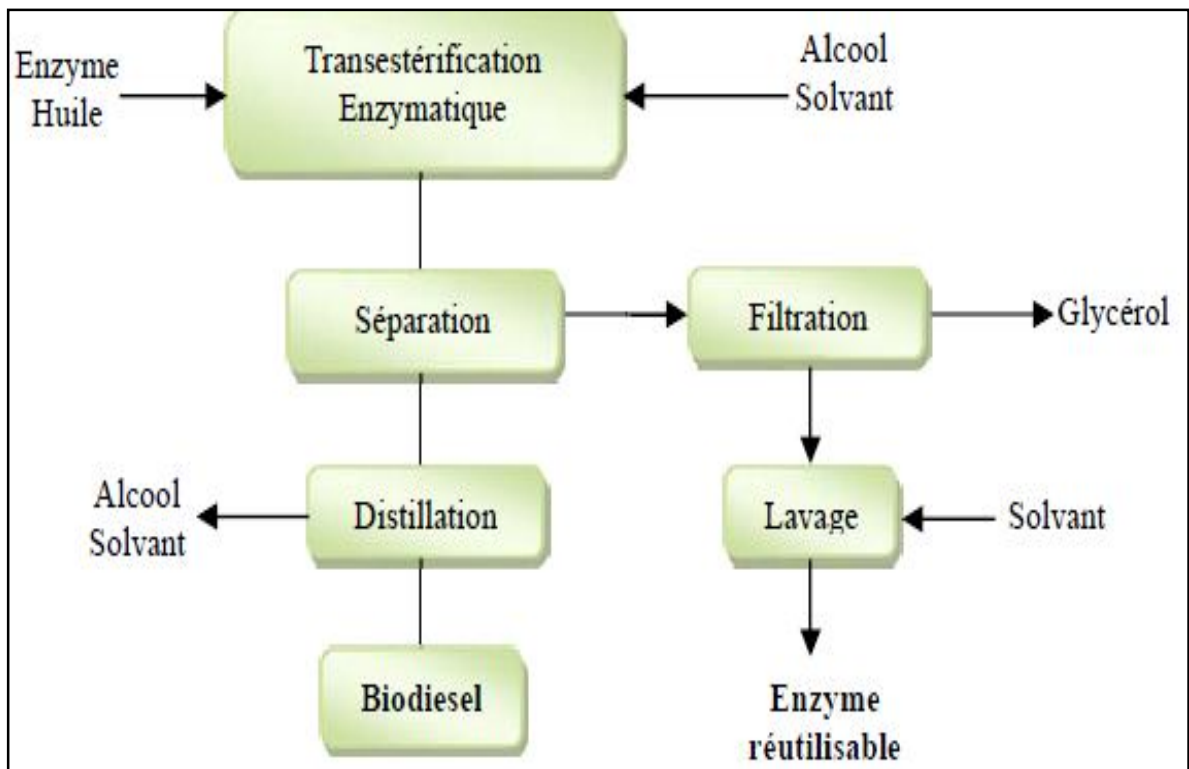


Figure II.7: Procède de transestérification enzymatique

II.7.4.Comparaison des divers procédés de transestérification

Tableau II.3: Comparaison des divers procédés de transestérification

Caractéristique du procédé	Transestérification Basique	Transestérification Acide	Transestérification Enzymatique
Rendement en esters alkyliques	Rendement élevé (> 94%)	Rendement élevé (> 94%)	Rendement élevé (> 90%)
Température	Température de réaction modérée (50 - 70 °C)	Températures de réaction élevées (60 - 120 °C)	Températures de réaction faibles (30 - 60 °C)
Ratio alcool huile	Excès d'alcool : ratio molaire (6-12:1)	Excès d'alcool élevé, ratio molaire (10- 166:1)	Excès d'alcool, ratio stœchiométrique (3- 4:1)
Temps de réaction	Rapide (4 h en moyenne)	Lente (12 h en moyenne)	Lente (28 h en moyenne)
Catalyseur	Catalyseur peu coûteux; faible quantité de catalyseur (1% m/m en moyenne)	Catalyseur peu coûteux; faible quantité de catalyseur (1% m/m en moyenne)	Quantité modérée de catalyseur (8 % m/m en moyenne); désactivation du catalyseur à cause de l'alcool; catalyseur coûteux

II.8. Les facteurs influençant sur de la réaction de transestérification

Le procédé de transestérification est influencé par les facteurs dépendant de la condition de la réaction utilisée. Quelques principaux facteurs sont discutés dans la partie suivante [40]. Ce sont :

-  Le taux molaire d'alcool et l'huile.
-  Le teneur en eau et l'acide gras libre dans l'huile.
-  Le type de catalyseurs, la concentration de catalyseur.
-  La température.
-  L'intensité de mélange.
-  La durée de réaction.

II.9. Les coproduits de la réaction de transestérification et leurs applications

La production d'esters alkyliques par transestérification d'huile végétale génère un autre coproduit, le glycérol (propan- 1, 2, 3-triol) appelé aussi glycérine. Cette glycérine possède un marché très vaste (plus que 1500 utilisations connues) et est utilisée soit directement comme un additif soit comme une matière première [40].

Les principaux domaines de son utilisation sont:

-  La pharmacie.
-  La cosmétique.
-  L'alimentation: En Europe, il est utilisé comme additif alimentaire sous le numéro E422

III.1. Introduction

Dans ce chapitre, on va présenter initialement les équipements utilisés et la description de procédé, puis les résultats obtenus sont analysés. La nécessité de la réduction de la consommation énergétique et par conséquent le coût économique est l'objet de cette étude Aussi.

III.2. Matériels utilisés

Dans ce simulation utilise PC portable (Personal Computer) la caractéristique de PC dans tableau suivant :

Tableau III.1: caractéristique PC portable

L'utilisateur PC portable (Fujitsu)	
Édition Windows	Windows 7 professionnel service pack1
Presseur	Intel(R) core(TM) i3cpu M380 @ 2.53 GHz
Mémoire installé	4.00Go (3.80) Go utilisable)
Type de système	Système d'exploitation 64 Bits

III.2. 1.Matière première

III.2.1.1. Huiles végétales : En principe, toutes les huiles peuvent être utilisées dans ce projet, nous utilisons des cultures d'huile végétale ne pas alimentaires par exemple : algues, palmes, colza.

Tableau III.2: propriété physico-chimique des huiles végétales

Nom	Trioleine
Masse moléculaire	885.4321
Température critique (C)	1366.85
Pression critique (kPa)	470.0018
Point de fusion (C)	5.000007
La solubilité(J/m3)	17140.54 **0.5
Point d'ébullition (C)	846.85

III.2.1.2. Méthanol: est un alcool de formule semi-développée $\text{CH}_3\text{-CH}_2\text{-OH}$. C'est un liquide incolore :

Tableau III.3: propriété physico-chimique Méthanol [41].

Nom	Méthanol
Formule brute	CH_3OH
Température d'ébullition (°C)	65
Viscosité dynamique (mPa·s à 25 °C)	0,5513 à
Masse molaire (g/mol)	$32,0419 \pm 0,0014$
Débit utilise(kg/h)	117.2

III.2.1.3. Catalyseur : Dans le cas de la réaction de transestérification, la catalyse basique est beaucoup plus rapide que la catalyse acide, dans ce projet nous utilisons NaOH.

Tableau III.4: Propriétés physico-chimique Hydroxyde de sodium [41].

Nom	Hydroxyde de sodium
Formule brute	NaOH
Température d'ébullition(°C)	1 390
Masse molaire (g·cm⁻³)	2,13
Débit utilise(kg/h)	10

III.2.1.4. L'acide phosphorique : est un composé chimique de formule H_3PO_4 c'est un oxoacide trifonctionnel (triacide) important en chimie inorganique et fondamental en biochimie

Tableau III.5: propriétés physico-chimique l'acide phosphorique [41].

Nom	Acide phosphorique
Formule brute	H_3PO_4
Température d'ébullition(°C)	213
Masse molaire (g·cm⁻³)	$97,9952 \pm 0,0014$
Débit utilise(kg/h)	128

III.2.2. Simulation description

CHEMCAD version 7.1.2 combine une interface utilisateur graphique (GUI) à la fine pointe de la technologie, une base de données exhaustive sur les composants chimiques, une grande bibliothèque de données thermodynamiques et une bibliothèque des opérations de l'unité la plus commune pour donner aux utilisateurs la possibilité de fournir des retours significatifs et mesurables sur leur investissement. En outre, le programme est Personnalisable pour permettre les produits chimiques personnalisés, la thermodynamique, les opérations de l'unité. Les calculs et les rapports-tous les ingrédients pour une expérience utilisateur puissante.

CHEMCAD est capable de modéliser des processus continus, discontinus et semi-discontinus, Et il peut simuler à la fois des systèmes stables et dynamiques. Ce programme est utilisé Dans le monde entier pour la conception, l'exploitation et la maintenance de produits chimiques Processus dans une grande variété d'industries, y compris l'exploration pétrolière et gazière, Production et raffinage ; Traitement du gaz ; Produits chimiques spécialisés et ; médicaments; Biocarburants; Et fabrication de matériel de traitement.

III.2.3. Description du procédé

Dans notre cas, l'huile végétale pure comme matière première est utilisé. Les constituants principaux des huiles végétales pures sont les triglycérides avec une chaîne différente de sa structure. Les biocarburants peuvent être produits à partir de différents types de légumes huiles. Les matériaux végétaux utilisés déterminent le type des huiles végétales. Il existe des huiles végétales produites à partir de, colza, soja, etc. Prenant en considération son utilisation industrielle étendue, dans ce papier, le colza était choisi. Selon les données dans la littérature, le colza Contient principalement de la trioléine. Il s'agit de triglycérides avec le même chaîne ($C_{17}H_{33}$) dans sa structure.

Le biodiesel est produit par une réaction chimique connu sous le nom de transestérification. En transestérification – légumes L'huile (trioleine) réagit avec un alcool primaire (habituellement Méthanol) pour donner essentiellement deux produits : acide gras Méthyle Esters FALM - oléate de méthyle (biodiesel) et glycérol. Lorsque les triglycérides réagissent avec l'alcool (habituellement Méthanol), les trois cordes d'acide gras se séparent de le squelette du glycérol pour s'installer sur l'alcool, donc produire un ester d'huile (le biocarburant, par exemple, ci-après Noté FAME : Esters de méthyle à acides gras). Transestérification la réaction de la trioleine peut être représentée .

III.3. Fonctionnement et constituants :

Les constituants pris en considération dans les Fiches de simulation sont les suivants :

Tableau III.6 : Fonction et formule des matières

Nom	Formule chimique	Fonction de procédé
Méthanol	CH_3OH	Réactif
Huile : triacylglycérol	$\text{C}_{57}\text{H}_{104}\text{O}_6$	Matière première, réactif principal.
Méthyle oléate (biodiesel, FAME)	$\text{C}_{19}\text{H}_{36}\text{O}_2$	Produit principal.
Glycérol	$\text{C}_3\text{H}_8\text{O}_3$	Produit secondaire
Hydroxyde de Sodium	NaOH	Catalyseur alcalin.
Eau	H_2O	Permet la séparation du FAME des autres produits, par lavage.
Acide phosphorique	H_3PO_4	Permet de neutraliser le NaOH.

Tous les constituants utilisés dans ce procédé sont extraits de la base de données standard du logiciel CHEMCAD

III.3.1. Modèle thermodynamique

Le système contient des constituants polaires (tels que le méthanol et le glycérol), ce qui induit de fortes interactions en phase liquide. La pression opératoire étant faible (de 0,1 à 4 bars), le comportement de la phase vapeur peut être assimilé à celui d'un gaz parfait. D'après ces deux considérations, une approche de type hétérogène peut être retenue. Ne disposant pas des données d'équilibre pour les binaires du système, le choix s'est porté sur un modèle prédictif par contribution de groupe de type UNIFAC, le modèle UNIFAC modifié par Dortmund ayant finalement été choisi. Cependant, les décompositions UNIFAC n'étant pas disponibles pour tous les constituants, comme par exemple le trioléine et tous les inorganiques, les hypothèses suivantes ont été retenues:

- La décomposition UNIFAC des inorganiques est assimilée à celle de l'eau (cela revient principalement à négliger l'influence du pH sur l'équilibre, approximation raisonnable compte tenu de la faible teneur en inorganiques, ces derniers ne jouant qu'un rôle de catalyseur).

✚ La décomposition UNIFAC du trioleine est obtenue à partir de sa structure chimique :

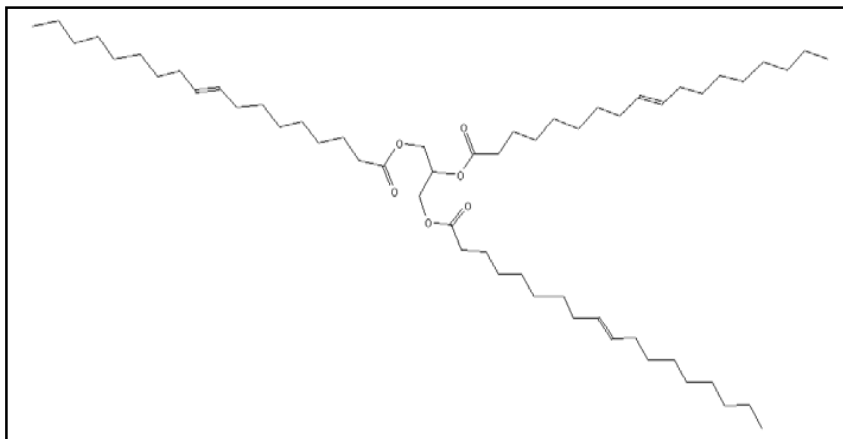


Figure III.1: Structure chimique du trioleine

III.3.2. Réactions chimiques

Deux réactions interviennent dans le procédé : une réaction de transestérification et une réaction de neutralisation.

✚ Transestérification (Réaction 1, jeu de réaction (R1)):

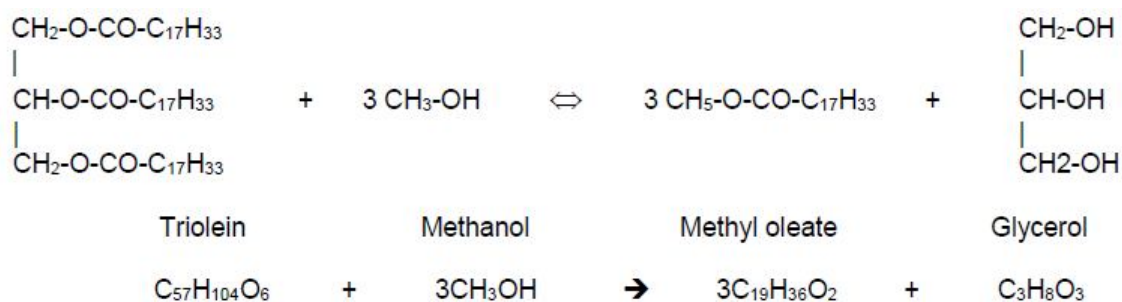


Figure III.2: Les réactions chimiques de transestérification

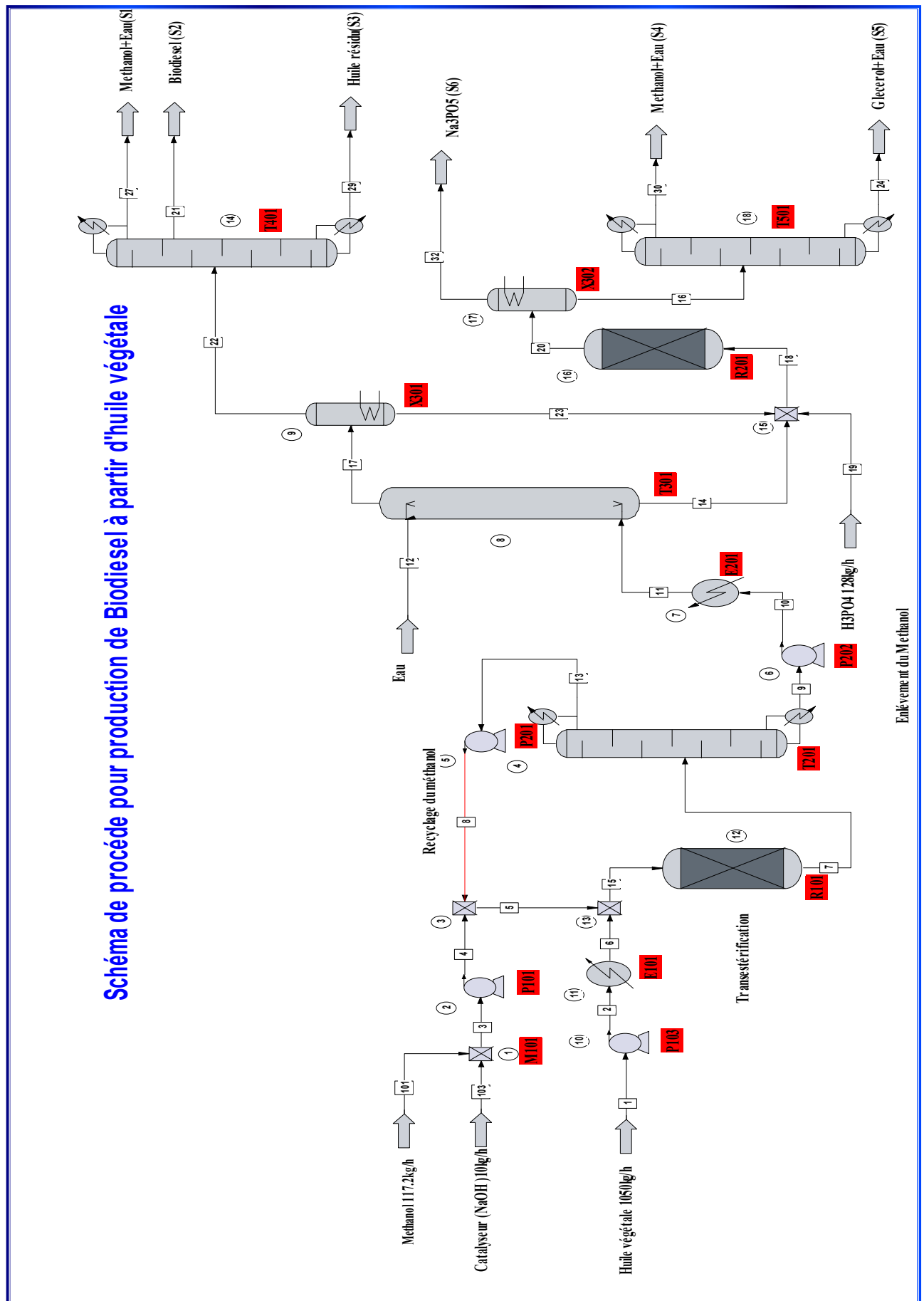
✚ Neutralisation du catalyseur (Réaction 2, jeu de réaction (R2)) :

(Neutralisation de l'hydroxyde de sodium par l'acide phosphorique)



Figure III.3: La réaction de Neutralisation du catalyseur NaOH

III.3.3. Schéma du procédé



III.4. Les équipements utilisés et Condition opératoires

Pendant la réaction transestérification nous définissons le pourcentage d'huile avec catalyseur et méthanol (89%huile ,1% catalyseur, 10%, méthanol).

III.4.1. Alimentation du procédé

Dans montre ce tableau(III.7) alimentation du procédé

Tableau III.7 : Alimentation du procédé

	C101	C103	C 1
Débit total (kg/h)	117,2	10,0	1050,0
Composé pur	Méthanol	NaOH	Huile
Température (°C)	25	25	25
Pression (kPa)	100	100	100

III.4.2. Echangeur E101

Tableau III.8 : Paramètres de fonctionnement échangeur E101

Paramètres de fonctionnement	Valeur
Type d'échangeur	Consignateur de température
Température de sortie (°C)	60

III.4.3. Pompes P101, P103 et P201

Tableau III.9 : Paramètres de fonctionnement des Pompes P101, P103 et P201

Paramètres de fonctionnement	Valeur
Type de pompe	Pompe centrifuge
Efficacité volumétrique	1
Pression de sortie (kPa)	400

III.4.4. Réacteur R101 (transestérification, Réaction 1)

Tableau III.10 : Paramètres de fonctionnement Réacteur R101

Paramètres de fonctionnement	Valeur
Type de réacteur	Simple
Jeu de réactions	(R1)
Température de fonctionnement (°C)	60
Pression (kPa)	400
Taux de conversion de l'huile en biodiesel (%)	95
Rapport molaire méthanol - huile à l'entrée	6:1

III.4.5. Colonne de distillation T201 (récupération du méthanol)

Tableau III.11 : Paramètres de fonctionnement le Colonne de distillation T201

Paramètres de fonctionnement	Valeur
Type de colonne	Colonne à condenseur total
Nombre d'étages théoriques	5
Plateau d'alimentation	2
Pression de tête (kPa)	20
Pression de pied (kPa)	30
Taux de reflux	2

III.4.6. Échangeur E201

Tableau III.12 : Paramètres de fonctionnement échangeur E201

Paramètres de fonctionnement	Valeur
Type d'échangeur	Consignateur de température
Température de sortie (°C)	60

III.4.7. Pompe P202

Tableau III.13 : Paramètres de fonctionnement Pompe P202

Paramètres de fonctionnement	Valeur
Type de pompe	Pompe centrifuge
Efficacité volumétrique	1
Pression de sortie (kPa)	110

III.4.7. Colonne d'extraction T301 (lavage à l'eau) : Cette séparation est effectuée en ajoutant 11 kg/h d'eau, à 25°C

Tableau III.14 : Paramètres de fonctionnement Colonne d'extraction T301

Paramètres de fonctionnement	Valeur
Type de colonne	Colonne d'extraction
Nombre d'étages théoriques	4
Température de fonctionnement (°C)	60
Pression (kPa)	110

III.4.8. Colonne de distillation T401 (purification du FAME)

Tableau III.15 : Paramètres de fonctionnement Colonne d'extraction T401

Paramètres de fonctionnement	Valeur
Type de colonne	Colonne à condenseur partiel
Nombre d'étages théoriques	5
Plateau d'alimentation	2
Pression de tête (kPa)	10
Pression de pied (kPa)	22
Débit de distillat liquide (kg/h)	990
Taux de reflux	2

III.4.9. Réacteur R201 (neutralisation du catalyseur, Réaction 2)

Le débit de l'alimentation en H_3PO_4 est spécifié à 8,2 kg/h, à 60°C et 110 kPa (courant H_3PO_4).

Tableau III.16 : Paramètres de fonctionnement Réacteur R201

Paramètres de fonctionnement	Valeur
Type de réacteur	Simple
Jeu de réactions	(R1)
Température de fonctionnement (°C)	60
Pression (kPa)	110
Taux de conversion de NaOH (%)	100

III.4.10. Colonne de distillation T501 (purification du glycérol)

Tableau III.17 : Paramètres de fonctionnement Colonne de distillation T501

Paramètres de fonctionnement	Valeur
Type de colonne	Colonne à condenseur partiel
Nombre d'étages théoriques	4
Plateau d'alimentation	2
Pression de tête (kPa)	40
Pression de pied (kPa)	50
Débit de distillat liquide (kg/h)	9
Taux de reflux	2

IV.1. Introduction:

Dans ce chapitre, nous étudierons les résultats obtenus dans le processus de simulation avec un certain nombre de changements de nombre plateau pour obtenir une proportion plus élevée de la prise en compte de l'aspect économique.

IV.2. Résulta et discussion:

IV. 2.1 Courants de production (C401A, C401, C402, C501, C502, C306):

tableau (IV.1) résume le processus des résultats de la production du biodiesel

Tableau IV.1 : Résultat production d'unité industrielle.

Les sorties Les matières		Sortie(1)	Sortie(2)	Sortie(3)	Sortie(3)	Sortie(4)	Sortie(5)
Méthanol		0.75	0.33	0	0.12	0.001	0
triacylglycerol (huile)		0.003	7.06	44.68	0	0	0
méthyleoléate (FAME)		0.77	982	0.45	0	0	0
glycérol		2.70	0	0	0.012	103.74	0
sodium hydroïde		0	0	0	0	0	0
Eau		0.148	0	0	11.52	0.22	0
phosphorique acide		0	0	0	0	0	119.8
tri sodium phosphate		0	0	0	0	0	13.66
Débit total		1.99	989.39	45.13	11.65	103.96	133.46
fraction massique							
méthanol		0.171	0.333	0	0.250	0.003	0
triacylglycerol (huile)		0.003	0.0002	0.970	0	0	0
méthyle oléate (famé)		0.190	0.990	0.030	0	0	0
glycérol		0	0	0	0.001	0.985	0
sodium hydroxyde		0	0	0	0	0	0
Eau		0.620	0.0004	0	0.740	0.011	0
phosphorique acide		0	0	0	0	0	0.930
tri sodium phosphate		0	0	0	0	0	0.060
état physique		Vapeur	Liquide	Liquide	Liquide	Liquide	Liquide
Température	C	213.02	213.02	416.35	38.74	112	60
Pression	KPa/h	10	10	20	40	50	100
Fraction vapeur		1	0	0	0	0	0

IV.2.2. Réacteur R101 (Réacteur parfaitement mélangé).

Ce tableau (IV.2) montre la quantité de méthanol et huile dans réacteur

Tableau IV.2: Résultat au niveau du réacteur

Réacteur	Enter	Sortie
Méthanol (Kg/h)	221.529	113.234
Huile (Kg/h)	1050	52.50
Biodiesel (Kg/h)	0	1002.69
Paramètre (T, P)	(52.66°C ,400 KPa)	(60°C ,400KPa)
Taux conversion	0.95	

Observation au niveau R (101) :

Le flux chauffé rentre dans un réacteur(EREA), notez le début de la réaction transestérification au niveau de réacteur, le taux de conversion 95%.

IV .2.3.Colonne (T201):

Ce tableau (IV.3) montre la quantité récupération méthanol dans la colonne

Tableau IV.3: Résultat au niveau du colonne(T201)

Nombre de plateau	Récupération Méthanol	
	Enter (Kg/h)	Sortie (Kg/h)
5	117	110
7	108	100
9	110	98

Observation au niveau(T201)

La quantité de méthanol produite rentre dans une colonne de distillation à une température 60 °C, et pression 400 KPa, note de tableau (tableau IV.3.) pour augmenter pourcentage de récupération Méthanol nécessite augmenter nombre étage de colonne.

IV.2.4. Colonne distillation (T401):

La courbe (1.2.3) montre relation nombre plateau entre fraction mol

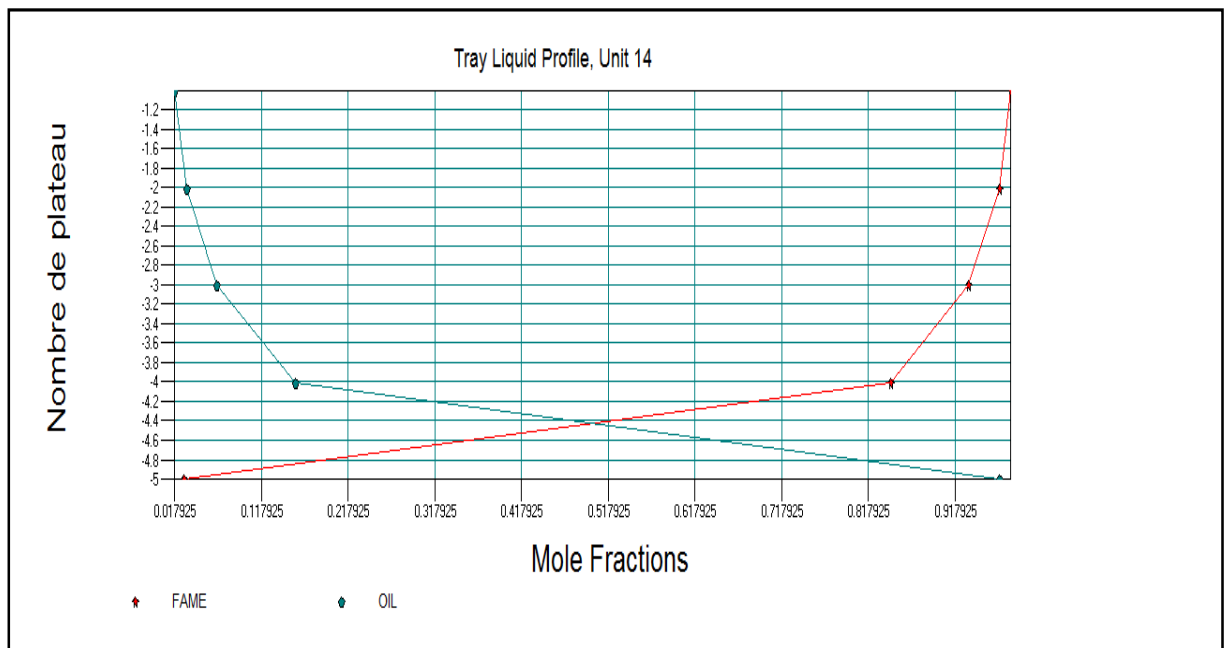


Figure IV .1: Courbe(1) nombre plateau en fonction fraction mol (kg/h) (**Etat1:5 Plateau**).

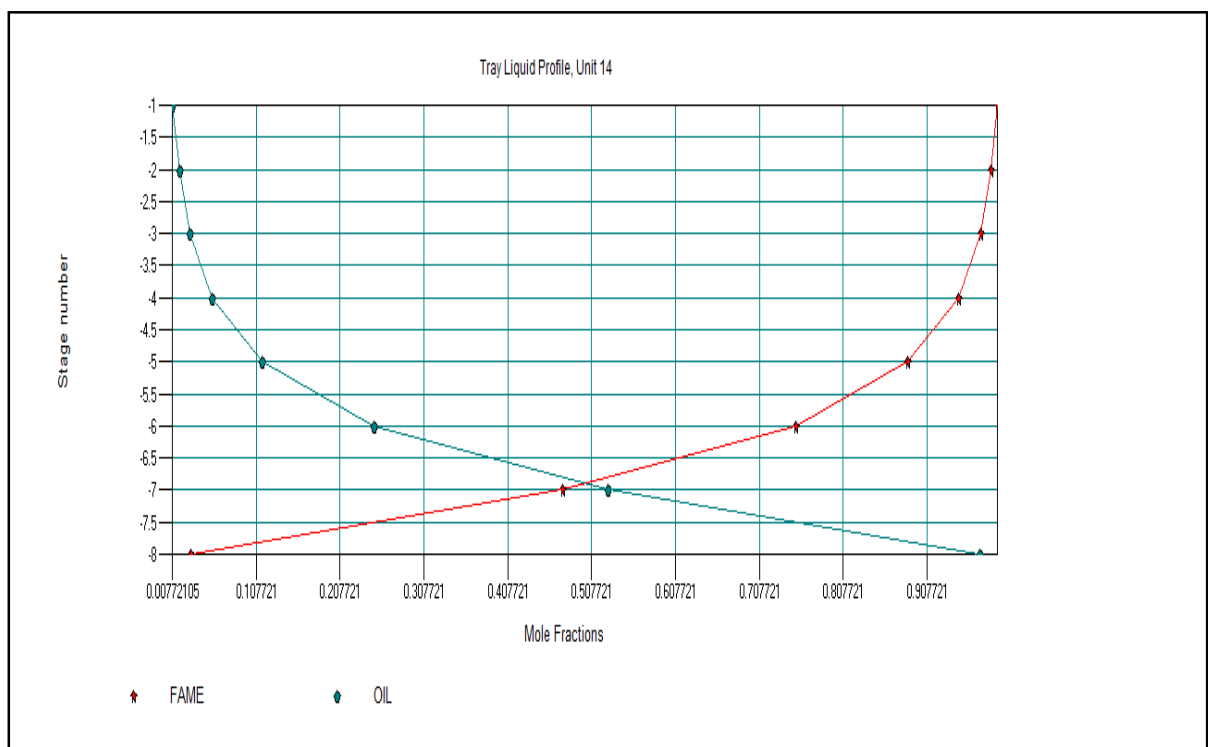


Figure IV.2 : Courbe(2) nombre plateau en fonction fraction mol (kg/h) (**Etat 1 : 8 Plateau**).

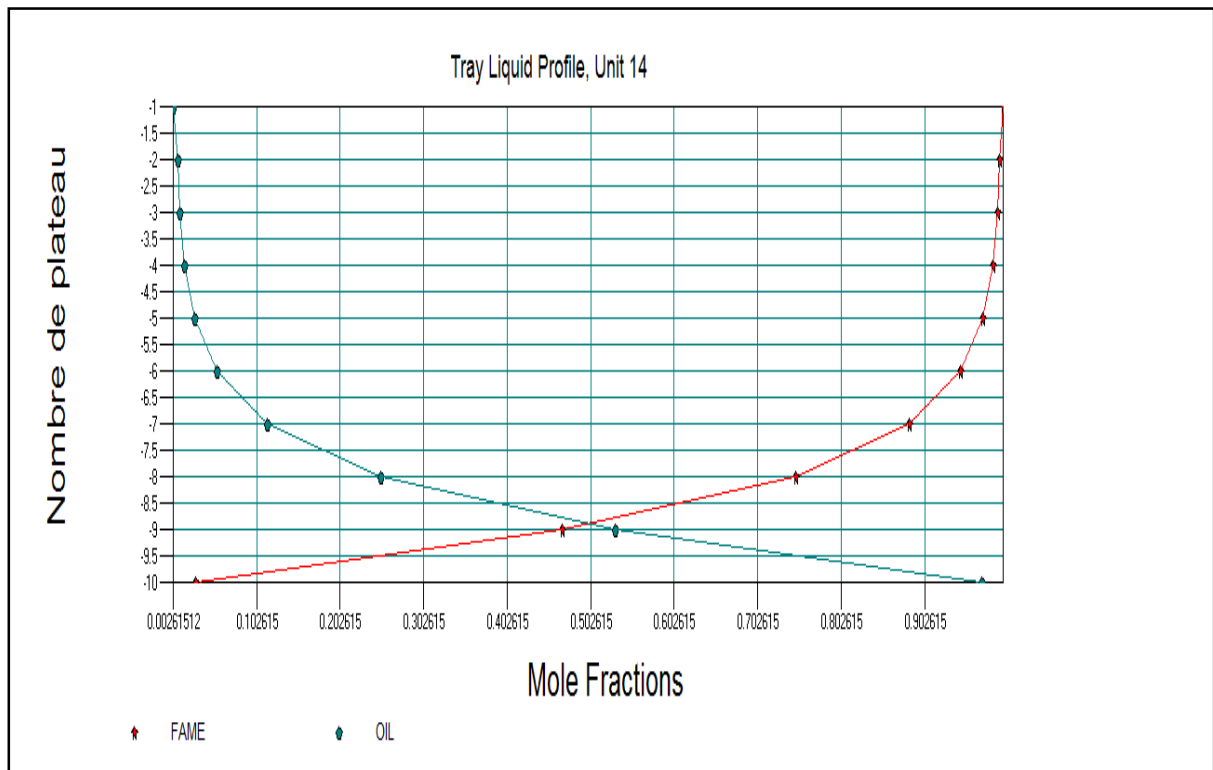


Figure IV .3: Courbe(3) nombre plateau en fonction fraction mol (kg/h) (Etat 1 :5Plateau).

IV.2.5. Colonne distillation (T401):

Ce tableau (IV.4) montre la quantité de méthanol et eau et huile résidu avec variation nombre plateau dans la colonne (T401).

Tableau IV.4: Résulta au niveau colonne(T401)

Nombre de plateau	Méthanol		Eau		Huile résidu		Biodiesel	
	Enter (Kg/h)	Sorte (Kg/h)	Enter (Kg/h)	Sorte (Kg/h)	Enter (Kg/h)	Sorte (Kg/h)	Enter (Kg/h)	Sorte (Kg/h)
5	1.926	1.907	3.748	0.05	52.480	34.902	1002.078	940.77
8	1.926	1.88	3.748	3.725	52.480	29.59	1002.078	967.45
10	1.926	1.80	3.748	3.720	52.480	25.36	1002.078	989.99

Observation au niveau (T401)

La courbe de variation de nombre plateau en fonction fraction mol, montre que la production biodiesel relation de nombre plateau. C'est à dire pour obtenir bon rendement nécessite augmenter à nombre plateau

Conclusion

Le schéma technologique pour la production de biodiesel à partir d'huile végétale purifiée a été conçu en utilisant ChemCAD 7.1.2 La réaction principale a été façonnée dans le processus de catalyse NaOH. En raison de la simulation des matières premières initiales : 1050 kg / h l'huile végétale, 10 sodium alcalin, 117.2 méthanol - 989.39kg / h biodiesel avec une pureté de 99,4% et le produit secondaire- 103.96kg / h de glycérol avec une pureté de 99,63% en masse sont obtenu. Le schéma technologique proposé offre une possibilité pour une utilisation optimale des environnements de travail.

Conclusion générale

Le biodiesel est l'une des sources d'énergie renouvelable les plus importantes. Biodégradable son pouvoir calorifique est important, sa teneur en soufre est faible et son utilisation réduit l'émission des imbrûlés et des suies. Il peut être aussi utilisé dans les moteurs diesel sans leur faire introduire de modifications. Par contre, il y a des problèmes techniques liés à ses propriétés d'écoulement à basse température, à l'émission des NOx, et sa stabilité lors du stockage.

Cependant, le biodiesel est synthétisé par transestérification, qui est la technique la plus utilisée pour la synthèse de biodiesel. Elle est une réaction chimique qui consiste à substituer l'alcool d'un ester pour le remplacer par un autre. Ce procédé est largement utilisé pour réduire la viscosité de triglycérides. La transestérification est une réaction réversible, qui consiste à mélanger les réactifs, la présence d'un catalyseur favorise largement cette réaction.

Le biodiesel présente certains avantages en tant que carburant, issu de produits d'agriculture, qui ont des propriétés proches de celle du gasoil, sont faciles à transporter, disponibles, renouvelables, biodégradables et qui présentent une efficacité à la combustion plus élevée. La faible teneur en soufre et en aromatiques dans le biodiesel a un effet positif sur les gaz à effet de serre.

Dans cette étude on a appliqué la simulation d'unité industrielle pour la production de biodiesel à partir d'huile végétale purifiée a été conçu en utilisant ChemCAD 7.1.2 La réaction principale a été façonnée dans le processus de catalyse NaOH. En raison de la simulation des matières premières initiales : 1050 kg / h l'huile végétale, 10 sodium alcalin, 117.2 méthanol - 989.39kg / h biodiesel avec une pureté de 99,4% et le produit secondaire- 103.96kg / h de glycérol avec une pureté de 99,63% en masse sont obtenus.

- [1]. Les huiles végétales pour votre santé
<http://www.editions-ngles.fr/bibliotheque/documents>.
- [2]. fr.wikipedia.org/wiki/Huile.
- [3]. [http://www.memoireonline.com/ Etude-bibliographique-sur-les-huiles-](http://www.memoireonline.com/Etude-bibliographique-sur-les-huiles-)
- [4]. Ministère de l'agriculture, de l'agroalimentaire et de la forêt www.agriculture.gouv.fr et en particulier le rapport : Les biocarburants, une chance pour notre pays
- [5]. production de biodiesel par transesterification alcoolique étude sur réacteur pilote
http://documentation.2ie-edu.org/cdi2ie/opac_css/doc_num.php?explnum_id=73
- [6]. http://documentation.2ie-edu.org/cdi2ie/opac_css/doc_num.php.
- [7]. Les propriétés nutritionnelles des huiles végétales. Les lipides.
- [8]. Classification des huiles végétales (accords de Bonn.2002).
- [9]. FAO. Avant-projet de norme pour les huiles végétales portant un nom spécifique, 1992
- [10]. Production et caractéristique physique chimique de biodiesel à partir huile végétale (école supérieur poly chimique)
<http://www.beep.ird.fr/collect/thies/index/assoc/HASH01bb/a310d6ec.dir/pfe.gm.0518.pdf>
- [11]. https://www.usherbrooke.ca/environnement/fileadmin/sites/environnement/documents/Essais_2013/memoires_2013/Sommaire_Memoire_Maitrise_Mostafa_Chamoumi_V_Finale.pdf
- [12]. (<http://www.les-huiles.com/cuisine/extraction-et-preparation.html>)
- [13]. (<http://tpehuilesessentiellesetsante.e-monsite.com/pages/i-les-huiles-essentielles-une-utilisation-millenaire/definition/b-les-differentes-techniques-d-extraction-des-huiles-essentielles.html>)
- [14]. Type huile essentiel (pages différents procédés extraction)
- [15]. http://plage-desinvolve.pagesperso-orange.fr/d_agora/d_biochimie/lipides.pdf
- [16]. Lipides : Acides gras, lipides simples et complexe (azouquar.com)
- [17]. Les biocarburants - Académie de Rouen
- [18]. Energie renouvelable biocarburant première génération.pdf
- [19]. Biocarburants.pdf
- [20]. Eur-Lex. (2009). Directive 2009/28/cedu parlement européen et du conseil du 23 avril 2009 relative .
- [22]. A.Corma ; H.Garcia, Lewis acids: From conventional homogeneous to green homogeneous and heterogeneous catalysis. Chem. Ver. **2003**, 103, 4307-4365
- [23]. J.Nikiema, M.Heitz, (2008). Biodiesel. I. Characteristics, assets and limitations - A synthesis, Canadian Journal of Civil Engineering, volume 35, n° 1, p. 95-106

- [24]. P. K.Sahoo, L.M.Das , M.K.G.Babu , S.N.Naik , (2007). Biodiesel develop- ment from high acid value polanga seed oil and performance evaluation in a CI engine. Fuel, volume 86, n° 3, p. 448-454.
- [25]. A.Demirbas, (2008). Relationships derived from physical properties of vegetable oil and biodiesel fuels. Fuel, volume 87, n° 8-9, p. 1743-1748.
- [26]. R.G.Pereira, C.D.Oliveira, J.L.Oliveira, P.C.P.Oliveira, C.E.Fellows, O.E.Piam-ba, , (2007). Exhaust emissions and electric energy generation in a stationary engine using blends of diesel and soybean biodiesel. Renewable Energy, volume 32, n° 14, p. 2453-2460
- [27]. Nationmaster . (2009). Oil Consumption.Million tonnes (most recent) by country. Energy Statistic .http://www.nationmaster.com/graph/ene_oil_con-energy-oilconsumption. [page consultée le 6 mai2011].
- [28]. Exxonmobil (2010). Annual report 2010, Taking on the world's toughest energy challenges <http://corporate.exxonmobil.com/search?search=Taking%20on%u2019s%20toughest%20energy> ² [page consultée le5 mai 2012].
- [29]. Eur-Lex. (2009). Directive 2009/28/cedu parlement européen et du conseil du 23 avril 2009 relative à la promotion de l'utilisation de l'énergie produite à partir de sources renouvelables et modifiantes puis abrogeant les directives 2001/77/CE et 2003/30/CE. Official Journal of the European Union . www.eur/lex.europa.eu/LexUriServ_exUriServ.do?uri=OJ:L:2009_140:0016:0062:fr:PDF [page consultée le 6 mai 2011]
- [30]. Biodiesel Magazine, 2010. Biodiesel Magazine - Global Biodiesel Production and Market Report [WWW Document]. Biodiesel Mag.URL <http://www.biodieselmagazine.com/articles/4447/global-biodieselproduction-and-market-report> [page
- [31]. Advantages And Disadvantages Of Biodiesel Fuel
- [32]. Synthèse du biodiesel par transestérification
- [33]. Étude des paramètres influençant la réactivité de bases inorganiques faibles. Application à la catalyse hétérogène de transestérification(25 septembre 2012).
- [34]. Furuta, S., Matsushashi, H., Arata, K., Appl. Catal. A, 2004. 269: p. 187–191.
- [36]. Transesterification de l'huile de jatropha
(<http://www.phpage.fr/bioenergies/doc/hvc-mq21766.pdf>
- [37]. Production de biodiesel à partir d'une huile modèle de microalgues par voie de catalyse enzymatique hétérogène (2014) <http://savoirs.usherbrooke.ca/handle/11143/111>.
- [38]. Kargı, F., Kapdan, L.K., Enz. Microb. Tech., 2006. 38(5): p. 569-582.
- [39]. Transestérification des huiles végétales par l'éthanol en conditions douces par catalyses hétérogènes acide et basique (Berna Hamad).