



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



MEMOIRE DE MASTER

Présenté par : KACEM Karima

Filière : PHYSIQUES

Spécialité : Nanostructures Semiconductrices

Intitulé

***Modélisation des propriétés structurales et mécaniques du
carbure de silicium (SiC)***

Devant le jury composé de :

Président	M^r.MOKHTARI Mohamed	MAA. C. Universitaire de Tissemsilt
Directeur de thèse	M^r. MISSOUM Adda	MCB. C. Universitaire de Tissemsilt
Examineur	M^r. DJOUDI lakhdar	MCA. C. Universitaire de Tissemsilt

Année universitaire : 2015/2016

Table des matières

Remerciements.....	
Dédicace.....	
Sommaire.....	iii
Liste des figures.....	vii
Liste des Tableaux.....	ix
INTRODUCTION GENERALE.....	1

CHAPITRE I: GENERALITES SUR LE CARBURE DE SILICIUM

I-1. Introduction.....	3
I-2. Définition d'un semiconducteur	3
I-2.1. Propriétés Structurale.....	3
I-2.2. Structure de bandes d'énergie.....	6
I-3. Le composé binaire.....	8
I-3.1. Définition d'un semiconducteur binaire.....	8
I-3.2. Les groupes des semiconducteurs binaires.....	8
I-4. Le carbure de silicium.....	8
I-4.1. Historique.....	9
I-4.2. La cristallographie du matériau.....	10
I-4.2.1. La liaison SiC.....	10
I-4.2.2. Polytypes de SiC.....	11
I-5. Les propriétés des carbures de silicium.....	13
I-5.1. Les propriétés mécaniques.....	13
I-6. Les applications de SiC.....	14
I-7. Conclusion.....	14
Références.....	15

CHAPITRE II: THEORIE DE LA FONCTIONNELLE DE LA DENSITE (DFT)

II-1. Théorie de la fonctionnelle de la densité (DFT).....	17
II-1-1. Introduction.....	17
II-1-2. La théorie de la fonctionnelle de la densité (DFT).....	18

II-1-3. L'approximation de la densité locale (LDA).....	19
II-1-3.1. Modèle de Ceperley et Alder.....	20
II-1-3.2. Modèle de Hedin et Lundqvist.....	21
II-1-4. L'énergie totale de Kohn et Sham.....	22
II-1-5. Les équations de Kohn et Sham.....	23
II-1-6. L'approximation du gradient généralisé (GGA).....	24
II-1-7. Domaine d'application.....	25
II-1-8. Les systèmes à spin polarisé.....	25
II-1-9. Les méthodes du premier principe.....	27
II-1-9.1. Introduction.....	27
II-1-9.2. La méthode du pseudo potentiel.....	28
II-1-9.3. La méthode des orbitales de types muffin tin linéaire (LMTO) et ses applications.....	32
II-1-9.4. La méthode de la combinaison linéaire des orbitales atomiques (LCAO).....	34
II-2-La méthode (LAPW).....	37
II-2-1. La méthode des ondes planes augmentées (APW).....	37
II-2-2. La méthode des ondes planes augmentées linéairement (LAPW).....	39
II-2-2.1. Les bases de LAPW.....	39
II-2-2.2. La linéarisation des énergies.....	40
II-2-3. Représentation de la densité de charge et le potentiel.....	40
II-2-3.1. Introduction.....	40
II-2-3.2. Construction des étoiles.....	41
II-2-3.3. Le développement en harmoniques de réseau.....	43
II-2-4. La solution de l'équation de poisson.....	44
II-2-5. Le potentiel d'échange et de corrélation.....	46
II-2-6. La construction des fonctions de Base de la méthode LAPW.....	48
II-2-6.1. Introduction.....	48
II-2-6.2. Construction des fonctions radiales.....	48
II-2-6.3. Les fonctions radiales relativistes.....	49
II-2-6.4. Les coefficients a_{lm} et b_{lm}	51
II-2-7. Calcul de la densité de charge.....	52
II-2-7.1. La densité interstitielle.....	52
II-2-7.2. La densité de charge sphérique.....	53

II-2-8. La construction de l'Hamiltonien et les matrices de chevauchement.....	54
II-2-9. Potentiel total et densité de charge.....	55
II-2-10. La méthode des ondes planes augmentées totalement linéarisées (FP-LAPW)...	55
II-2-11. Le Code WIEN2K.....	57
Références.....	59

CHAPITRE III: LES CONSTANTES ELASTIQUES

III-1. Introduction.....	62
III-2. Tenseur de déformation.....	62
III-3. Tenseur des contraintes.....	62
III-4. Coefficients élastiques.....	63
III-5. L'énergie potentielle.....	63
III-6. Relation contrainte déformation.....	63
III-7. Notation de Voigt.....	64
III-8. Expression de la contrainte sur la maille.....	65
III-9. Calculs des constantes élastiques.....	66
III-10. Module de compressibilité.....	67
III-10.1. Déformation isotrope, module de Voigt.....	67
III-10.2. Contrainte isotrope, Module de Reuss.....	67
III-10.3. Simplification des expressions par symétrie.....	68
III-10.4. Sens physique des modules de compressibilité.....	68
III-11. Expression du module de cisaillement isotrope.....	69
III-12. Le module de Young et le coefficient de Poisson.....	69
III-13. Stabilité mécanique du cristal.....	70
Références.....	71

CHAPITRE VI: RESULTATS ET DISCUSSIONS

IV-Résultats et discussion.....	72
IV-Introduction.....	72
IV-2. Détails des.....	72
VI-3. Propriétés structurales.....	75
VI-3.1. Détermination des paramètres d'équilibre.....	75
VI.4. propriétés mécaniques.....	77
VI.4.1. Introduction.....	77

VI-3.3. Les constantes élastiques.....	78
Références.....	81
CONCLUSION GENERALE.....	82
Résumé (Arabe-français).....	83

Liste des figures

Figure I.1 :(a) Structure cubique simple. (b) Structure cubique centrée. (c) Structure cubique à faces centrées.....	4
Figure I.2 : Schéma simplifié d'une structure diamant.....	4
Figure I.3: Mailles cristallographiques des structures diamant et zinc blende.....	5
Figure I.4: Structure zinc-blende du GaN (a), structure wurtzite du GaN (b).....	6
Figure I.5: Schéma simplifié de l'allure des bandes d'énergie des semiconducteurs à : (a) gap direct, (b) gap indirect.....	6
Figure I.6: Bandes d'énergies pour les matériaux (a, b), semiconducteur (c), isolateur(d).....	7
Figure I.7: Environnement tétraédrique d'un atome de carbone entouré de ses plus proches voisins.....	11
Figure I.8: Structures blende de zinc (cubique) et Wurtzite (hexagonale) du SiC.....	12
Figure I.9: Représentation dans le plan (1120) du motif de base des polytypes 3C, 4H et 6H-SiC.....	12
Figure II.1 : Illustration schématique du potentiel réel en Z/r et du pseudo potentiel V_{pseudo} , ainsi que de leurs fonctions d'onde associées, ψ_v et ψ_{pseudo} respectivement. Les grandeurs réelles sont représentées en traits pleins, les pseudo-grandeurs en pointillés. Le rayon de coupure r_c est matérialisé par la ligne verticale en pointillés.....	32
Figure II.2: La Représentation Duale des Méthodes (APW) et (LAPW).38	
Figure II.3 : La construction des étoiles.....	43
Figure II.4: Solution de l'équation de poisson en utilisant l'approche du pseudo charge.....	45
Figure II.6 : A^T et R sont utilisés pour la transformation de l'harmonique sphérique vers l'espace réel et vis versa.....	47
Figure II.5 : Le potentiel d'échange et de corrélation.....	47
Figure II.7 : Le système des coordonnées à l'intérieur des sphères équivalentes.....	52

Figure II.8: Calcul de la densité de charge interstitielle.....	53
Figure II.9: La détermination de la densité de charge de la sphère.....	54
Figure II.10: WIEN2k-Code.....	58
Figure IV.1 : Calcul de l'énergie totale en fonction du nombre de points spéciaux pour les matériaux SiC dans la structure cubique.....	86
Figure IV.2 : Calcul de l'énergie totale en fonction du nombre d'ondes planes (R. Kmax) pour les matériaux SiC dans la structure cubique.....	87
Figure IV.3 : Variation de l'énergie totale en fonction de G_{\max} pour le composé SiC.....	87
Figure IV.4: la variation de l'énergie totale en fonction du volume pour les structures 3C.....	89
Figure VI.5: la variation de l'énergie totale en fonction du volume pour les structures cubiques de phase zinc-blend.....	90

Liste des Tableaux

Tableau I.1: Caractéristiques des principaux polytypes.....	11
Tableau I.2: Dureté de divers matériaux suivant l'échelle de Mohs.....	13
Tableau IV.1: paramètres utilisés dans le calcul présent pour la structure cubique.....	88
Tableau VI .2: Paramètre de réseaux (a) et le module de compressions B et sa dérivée B' pour SiC dans la phase Zinc blende.....	90
Tableau VI.3: Illustration des résultats pour les constantes élastiques C_{ij} , le module de Young E, le module de cisaillement G en GPa et le coefficient de Poisson ν pour les approximations GGA et LDA.....	93
Tableau VI.4 : La vitesses du son longitudinale, transversale et moyenne (v_L, v_T, v_m en m/s) calculées à partir des modules élastiques isotropes, et la température de Debye (θ_D en °K) pour les composés SiC de la approximations GGA et LDA.....	93



République Algérienne Démocratique et Populaire
Ministère de l'Enseignement Supérieur
et de la Recherche Scientifique
Université de Tissemsilt



Faculté des Sciences et de la Technologie
Département des Sciences et de la Technologie

Mémoire de fin d'études pour l'obtention du diplôme
De Master académique en
Filière : **Industries Pétrochimiques**
Spécialité : **Génie du Raffinage**

Présenté par : **Boumahdia Houria**
Ghernou Houaria

Thème

**Synthèse de biocarburants par voie chimique et biologique à partir
de résidus organiques.**

Soutenu le, 21 /06/2022

Devant le Jury :

HAID Slimane	Président	MCB	U. Tissemsilt
AISSAT Miloud	Encadreur	MAA	U. Tissemsilt
CHELLALI Rachid	Examineur	MCA	U. Tissemsilt
BOUKANOUN Meriem	Examinatrice	MAA	U. Tissemsilt

Année Universitaire : 2021/2022

Remerciements

Nous remercions Allah nous a donné le courage et la patience jusqu' au bout de nos études.

Ce travail a été réalisé au laboratoire de Facultés de Tissemsilt.

Nous remercions vont à tous ceux qui ont contribué de près ou de loin à la réalisation de ce travail en particulier :

Nous remercions Mr. AISSAT MILOUD Enseignant à l'université de Tissemsilt pour avoir accepté de nous encadrer et de nous diriger, qu'il trouve ici l'expression de notre profonde gratitude.

Nous remercions également les membres du jury pour l'honneur qu'ils nous font d'avoir accepté d'examiner et de juger ce modeste travail.

Nous remercions tous les enseignants (es) et laborantins (es), et l'équipe de notre laboratoire de l'université de Tissemsilt.

Sans oublier, Je tiens à exprimer mes vifs remerciements à toutes les liseuses de Génie du raffinage « promotion 2022 »

Dédicace

Je dédie ce travail :

Aux deux êtres les plus chers, mon père et ma mère pour
Leur amour, leur soutien et leurs sacrifices, en témoignage
De mon profond respect et mon amour pour eux !

A mon mari : Ibrahim.

A ma grand- mère

A mes très chers frères : Mohamed, Abed Salama, takki , nadir .

**A mes très chères sœurs :khaira , Amina , Zahra , Aïcha , Yasmin , Nadia et
Naccira .**

A ma grande famille : Ghernou, chaleb, sir, Achouch et bouseta.

A mon binôme : Houria.

A tous mes amis (es) et mes collègues !

A tous ce qui m'ont enseigné tout au long de mon parcours scolaire !

HOUARIA

Dédicace

Je dédie ce travail :

A celui qui a lutté pour mon confort et ma réussite, à celui qui n'a rien épargné,

Au plus grand homme de l'univers : «**Mon cher papa** ».

A celle dont le sourire est mon but, et ce qui sous ses pieds est mon paradis, à la source d'amour et de tendresse et à la chose la plus précieuse que je possède :

« **Ma Chère Maman** ».

A mon très cher frère et mes Belles sœurs, chacun à son nom.

A toute la famille : **Boumahdia**

A tous mes enseignants surtout **Mr. AISSAT MILOUD** :

L'encadreur de ce Travail

A tous mes amis surtout : Nadia, Rania, Mériem, Chahinez, Asma, Sarra, Zoulikha,
Jamila.

A mon binôme dans ce travail : **GhernouHouria**

HOURIA

Table Des Matières

Sommaire

Liste D'abréviation

Liste des tableaux

Liste des Figures

Introduction Générale14

CHAPITRE 1. Généralités sur les biocarburants

1.1 Introduction17

1.2 Biocarburants.....17

1.2.1 Définition de biocarburant 17

1.2.1.1 Les biocarburants gazeux 18

1.2.1.2 Les biocarburants liquides..... 18

1.2.1.2.1 Biocarburant de première génération 18

1.2.1.2.2 Biocarburant de deuxième génération..... 18

1.2.1.2.3 Biocarburants de troisième génération 21

1.2.2 Les utilisations des biocarburants..... 21

1.2.3 Les avantages et les inconvénients des biocarburants 21

1.3 Le Biodiésel23

1.3.1 Définition et origine de biodiésel..... 23

1.3.2 Les caractéristiques du biodiesel..... 23

1.3.2.1 La viscosité 23

1.3.2.2 Densité 23

1.3.2.3 Pouvoir calorifique..... 23

1.3.2.4 Le point trouble et point découlement..... 24

1.3.2.5 Le point d'éclair 24

1.3.2.6 L'indice de cétane..... 24

1.3.2.7 L'indice d'acide..... 24

1.3.2.8 L'indice d'iode..... 24

1.3.2.9 Le pouvoir lubrifiant..... 24

1.3.2.10 Teneur en eau 25

1.3.2.11 Teneur en alcool 25

1.3.3 Les Sources pour la production de biodiesel 25

1.3.4 Les avantages et les inconvénients de biodiesel 26

Table Des Matières

1.4 Le Bioéthanol	26
1.4.1 Généralités sur bioéthanol	26
1.4.1.1 Définition	26
1.4.1.2 Caractéristique de bioéthanol	27
1.4.1.2.1 Détermination de Ph	27
1.4.1.2.2 Dosage de l'alcool	27
1.4.1.2.3 Dosage de l'acidité	27
1.4.1.2.4 La température	27
1.4.1.3 Utilisations	27
1.4.1.4 Procédés de production de bioéthanol	28
1.4.1.5 Les avantages et les inconvénients	28
1.5 Conclusion	29
CHAPITRE 2. Synthèses des biocarburants à partir de résidus alimentaires	
2.1 Introduction	31
2.2 synthèse de biodiesel à partir des huiles de friture usées (HFU)	31
2.2.1 Généralité sur les huiles végétales	31
2.2.1.1 Définition	31
2.2.1.2 Les différentes sources d'huile	32
2.2.1.3 Les caractéristiques des huiles végétale	32
2.2.1.3.1 Caractéristiques chimiques	32
2.2.1.3.2 Caractéristiques physiques	33
2.2.1.3.4 La composition chimique des huiles alimentaires fabriquées en Algérie	34
2.2.2 Définition des huiles végétales de friture usées (HFU)	34
2.2.2.1 Les huiles usées de cuisson comme source de biodiesel	34
2.2.2.2 Composition des huiles végétales de friture	34
2.2.2.3 Dégradation des huiles de friture	35
2.2.3 Synthèse du biodiesel par transestérification	35
2.2.3.1 Définition	35
2.2.3.2 Equation de La réaction de transestérification	36
2.2.3.3 Facteurs influençant de la réaction de transesterification des huiles	36
2.2.3.4 L'agitation	39
2.2.3.5 Transformation de L'huile	39
2.2.3.6 Réaction	39
2.2.3.7 Décantation	39
2.2.3.8 Lavage de biodiesel (Ester)	40

Table Des Matières

2.2.3.9 Purification.....	40
2.2.3.10 Séchage	40
2.2.3.11 L'effet du biodiesel sur l'environnement et humaine	40
2.3 Synthèse de bioéthanol à partir de résidus de dattes.....	41
2.3.1 Généralité sur les dattes	41
2.3.1.1 Définition de dattes	41
2.3.1.2 Production des dattes mondial et en Algérie	41
2.3.1.3 Composition chimique des dattes	42
2.3.2 Productions de bioéthanol par la fomentation	43
2.3.2.1 Effets de la température et du pH sur la fermentation.....	44
2.4 Conclusion.....	44
Chapitre 3. Partie expérimentale	
3.1 Introduction	46
3.2 Synthèse du biodiesel au laboratoire.....	46
3.2.1 Matériels et produits chimiques utilisés.....	46
3.2.2 Matières premières	47
3.3 Protocole expérimental	47
3.3.1 Traitement de l'huile	47
3.3.2 Calcul de la quantité de réactifs.....	48
3.3.3 Réaction de transestérification.....	49
3.3.4 Décantation	50
3.3.5 Lavage.....	51
3.3.6 Filtration	52
3.3.7 Séchage.....	52
3.4 Les analyses effectuées sur l'huile et le biodiesel	53
3.4.1 La densité.....	53
3.4.2 La viscosité.....	55
3.4.3 Analyse spectroscopique d'absorption IR	56
3.4.4 La teneur en eau du biodiesel	56
3.4.5 Calcule du rendement de synthèse du biodiesel	56
3.5 Synthèse du bioéthanol au laboratoire	58
3.5.1 Matériel et produit chimiques utilisés.....	58
3.5.2 Matière végétale choisie :	58

Table Des Matières

3.5.3 Matière biologique.....	59
3.5.3.1 Méthodologie de travail	59
3.5.3.2 Techniques analytiques.....	62
3.6 Résultats et discussion.....	64
3.6.1 Biodiesel.....	64
3.6.1.1 Les résultats de densité et de viscosité	64
3.6.1.2 Les résultats d'analyses infrarouges (IR)	65
3.6.1.2.1 Discussion spectre d'IR obtenu par le biodiesel.....	66
3.6.1.3 La teneur en eau de biodiésel	66
3.6.1.4 Le rendement	68
3.6.2 Bioéthanol.....	69
3.6.2.1 Calcule du rendement.....	69
3.6.2.2 Détermination de pH	69
3.6.1.3 Détermination de densité.....	70
3.6.2.4 Les résultats d'analyses infrarouges (IR)	71
3.6.2.4.1 Discussion spectre d'IR obtenu par le bioéthanol.....	72
Conclusion Générale.....	74
Bibliographie.....	75
Résume.....	82
Abstract.....	82
المخلص.....	82

Liste D'abréviation

AGAcides Gras

ASTM	American Society For Testing and Materials
BTL	Biomasse To Liquide
DaE	Département américain de l'Energie
DCO	Demande chimique d'oxygène
EEHV	Esters éthyliques d'Huile Végétale
EMHV	Ester Méthylique d'Huile Végétale
ETBE	EthyleTertioButyle Ether
FAO	Food and Agriculture Organisation
HFU	Huiles de Friture Usées
IA	Indice d'Acide
II	Indice d'Iode
IR	Indice de Réfraction
IS	Indice de Saponification
GL	glycérine
GNV	Gaz Naturel Véhicule
MES	Esters méthyliques
MTBE	Méthyle Tertio Butyle Ether
PC	Pouvoir Calorifique
PCI	Pouvoir CalorifiqueInférieure
PCS	Pouvoir Calorifique Supérieure
PE	Polyéthylène
PE	point éclair
PE	point d'écoulement
PET	Polyéthylène Téréphtalate
Ph	Potentiel hydrogène
PLA	Acide Poly Lactique
PVC	Chlorure de Polyvinyle

Liste D'abréviation

PT point de Trouble

TAG Triacylglycerols

Symboles grecques

ρ La masse volumique g/cm^3

D La densité

V volume en Cm^3

H % La teneur en eau

$\eta\%$ Le rendement

Indices

°C Degré Celsius

Exp Expérience

H heure

Liste des Tableaux

Tableau 1 : Tableau récapitulatif des trois générations des biocarburants	21
Tableau 2 : les principaux avantages et inconvénients des biocarburants.....	22
Tableau 3 : les principaux avantages et inconvénients des biodiesel.....	26
Tableau 4 : La composition chimique des huiles alimentaires fabriquées en Algérie.....	34
Tableau 5 : produits et matériels utilisés.....	46
Tableau 6 : Quantités des réactifs utilisés.....	53
Tableau 7 : Valeurs en M_L pour le biodiesel et HFU.....	54
Tableau 8 : produits et matériels utilisés.....	58
Tableau 9 : les différents échantillons utilisés pour la préparation du jus.....	60
Tableau 10 : la quantité et la qualité de la levure.....	61
Tableau 11 : Comparaison des caractéristiques du biodiésel préparé avec le pétrodiesel, HFU, les normes européennes en termes de densités et de viscosité.....	64
Tableau 12 : Groupements fonctionnels et vibration de spectre IR du biodiesel.....	66
Tableau 13 : La teneur en eau de biodiésel.....	67
Tableau 14 : Rendement de biodiesel dans chaque expérience.....	68
Tableau 15 : pourcentage du rendement de bioéthanol.....	69
Tableau 16 : La valeur de pH du jus de datte et du bioéthanol	69
Tableau 17 : Densité de bioéthanol a chaque expérience.....	70
Tableau 18 : Groupements fonctionnels et vibration de spectre IR du bioéthanol.....	72

Liste des figures

Figure.1 : Schéma de la production des biocarburants.....	18
Figure.2 : Différentes sources de production de biodiesel.....	25
Figure.3 : Structure générale d'une huile végétale. R1, R2, R3 désignent des chaînes D'acides gras et différent en longueur et nombre de double liaison.....	31
Figure.4 : Equation de transestérification.....	36
Figure.5 : Réaction de saponification des triglycérides.....	36
Figure.6 : Le mécanisme de La réaction de transestérification.....	38
Figure.7 : Production de la datte en Algérie.....	42
Figure.8 : Composition biochimique de la datte	42
Figure.9 : Réaction de Conversion de glucose en éthanol.....	43
Figure.10 : L'huile de friture après Traitement de filtration	47
Figure.11 :Produits utilisésMéthanol et KOH et NAOH.....	47
Figure.12 : chauffage et agitation d'huil.....	48
Figure.13 : Filtration sous vide de HFU.....	48
Figure.14 : Montage expérimentale de transestérification.....	50
Figure.15 : Décantation après 24h du produit préparé après trasesterification.....	51
Figure.16 : séparation du biodiesel	51
Figure.17 : lavage de biodiesel.....	52
Figure.18 : Mesure du pH de l'eau distillée.....	52
Figure.19 : Filtration du biodiesel.....	52
Figure. 20 : Séchage du biodiesel.....	53
Figure.21 : Produit final : le biodiesel.....	53
Figure.22 : Mesure de la densité à l'aide de Pycnomètre.....	54
Figure.23 : Mesure de la densité à l'aide Viscosimètre Fungilab.....	55

Liste des figures

Figure.24 : Analyse spectroscopique IR du biodiesel.....	56
Figure.25 : La farine des dattes.....	59
Figure.26 : Préparation du jus de dattes.....	59
Figure.27 : Procédé de la fermentation.....	61
Figure.28 : la procédure de distillation.....	62
Figure.29 : Mesure de la densité à l'aide de Pycnomètre.....	63
Figure.30 : Analyse spectroscopique IR du bioéthanol.....	63
Figure.31 : Spectre IR du biodiesel produit dans la 1 ^{er} Expérience en présence de KOH.....	65
Figure.32 : Spectre IR du biodiesel produit dans la 2 ^{em} Expérience en présence de NaOH.....	65
Figure.33 : Spectre IR du biodiesel produit dans la 3 ^{em} Expérience en présence de NaOH.....	65
Figure.34 : Spectre IR du biodiesel produit dans la 4 ^{em} Expérience en présence de KOH.....	65
Figure.35 : Spectre IR du biodiesel produit dans la 5 ^{em} Expérience en présence de KOH.....	65
Figure.36 : Spectre IR du biodiesel produit dans la 6 ^{em} Expérience en présence de NaOH.....	65
Figure.37 : Variations de pH en fonction du nombre de lavage.....	67
Figure.38 : Évolution du rendement en biodiesel dans chaque expérience.....	68
Figure.39 : Variations de pH dans le jus et le bioéthanol en fonction du nombre d'expérience....	70
Figure.40 : Spectre IR du bioéthanol produit dans la 1 ^{er} Expérience.....	71
Figure.41 : Spectre IR du bioéthanol produit dans la 2 ^{em} Expérience.....	71
Figure.42 : Spectre IR du bioéthanol produit dans La 3 ^{em} Expérience.....	71
Figure.43 : Spectre IR du bioéthanol produit dans la 1 ^{em} Expérience.....	71
Figure.44 : Spectre IR du bioéthanol produit dans la 5 ^{em} Expérience.....	71

Introduction Générale

Introduction Générale

Introduction Générale

En raison de l'augmentation de la population mondiale et de la croissance démographique rapide ainsi que du développement technologique ces dernières années, la demande d'énergie s'est imposée à un grand rythme. Il a également été considéré que l'utilisation permanente du pétrole et du gaz naturel et ce qui en résulte est la principale raison de la pollution et des turbulences dans l'atmosphère connaît actuellement le monde. En vertu du fait que l'extraction du pétrole du sol ne durera pas éternellement, et en plus de cela, les carburants pétroliers dérivés du pétrole ont de grands dommages pour l'homme et l'environnement, il était donc nécessaire de trouver des alternatives pour éviter ces dommages.

A la lumière de la crise mondiale (Covid19), qui a fait grand bruit dans le monde entier, en particulier en Algérie, car elle a provoqué de nombreuses crises, et le manque de budgets et la consommation massive de désinfectants et produits de nettoyage en général, avec des prix élevés. L'état doit penser à des alternatives énergétiques propres et peu coûteuses en valorisant les résidus organiques et en évitant de les jeter dans les déchets. Comme les résidus des dattes, qui servent de nourriture aux vaches dans de nombreux pays. L'huile de cuisine ; qui s'est largement consommée, notamment en friture. La plupart des gens jettent ces huiles après leur utilisation dans les rejets ou même dans la nature, en particulier dans les restaurants, ce qui provoque l'étouffement dans les voies navigables etc... La collecte et la valorisation de ces huiles usagées reste la solution la plus appropriée pour éviter ces problèmes.

Le biodiesel et le bioéthanol sont deux des nouvelles énergies alternatives utilisées.

Plusieurs méthodologies ont été développées pour la production de biodiesel. La transestérification est bien adaptée et est la méthode principale de production de biodiesel vu sa simplicité par rapport aux autres méthodes de production comme la microémulsion d'huile, la pyrolyse ou le craquage catalytique. La méthode de fermentation est le processus de base dans la production de bioéthanol.

A partir de là, nous soulevons plusieurs questions.

Que sont- que le biocarburant, le biodiesel et le bioéthanol ? Quelles sont les étapes de leur production ? Comment se déroule le processus d'estérification et de la fermentation et quels sont les matériaux primaires et les catalyseurs de base dans ces deux processus ? A toutes ces questions nous tenterons de répondre dans la présentation de ce mémoire qui comprendra trois chapitres, Le premier chapitre présente la définition des biocarburants, du biodiesel et du bioéthanol (définition,

Introduction Générale

propriétés, avantages, inconvénients. Méthodes de synthèse).

Puis, le deuxième chapitre présente la synthèse de biodiesel (Généralité sur les huiles végétales et HFU, définition, propriétés, et les étapes de synthèse de biodiesel à partir des HFU). La Synthèse de bioéthanol à partir de résidus de dattes (Généralité sur les dattes et méthode de Synthèse de bioéthanol).

Le troisième chapitre présentera l'étude expérimentale des étapes de production de biodiesel par réaction de transestérification avec HFU comme matière première en présence de catalyseur basique(KOH, NaOH) et les étapes de production de bioéthanol par fermentation a partir farine de datte en présence de levure comme catalyseur .

Enfin, Une conclusion générale.

CHAPITRE 1

Généralités sur les biocarburants

1.1 Introduction

La fourniture de sources d'énergie renouvelables reste l'un des défis les plus importants auxquels l'humanité est confrontée au XXI^e siècle, car les progrès scientifiques, technologiques et industriels ont suivi le rythme d'une forte augmentation de la demande pour toutes les sources d'énergie. Des études liées à l'énergie ont montré que le secteur des transports en particulier est l'un des plus importants consommateurs d'énergie et l'un des plus importants accusé de polluer l'environnement et de modifier l'équilibre écologique de la planète. Par conséquent, de nombreux pays industrialisés ont eu recours à soutenir la recherche scientifique dédiée à fournir du carburant pour les voitures et les bus comme alternative aux carburants fossiles traditionnels connus aujourd'hui, afin que le carburant du futur soit respectueux pour l'environnement en réduisant l'émission de gaz à effet de serre qui sont dangereux pour l'environnement. Ces expériences et recherches ont abouti au développement d'un type de carburant connu sous le nom de biodiesel, qui est très similaire au diesel fossile actuellement utilisé, et possède également de nombreuses qualités et caractéristiques importantes et distinctives, qui ont conduit à l'adoption de sa production par de nombreux pays industriels, notamment l'Allemagne et la France [1].

En plus de développer un autre biocarburant, le « bioéthanol » issu de la biomasse qui possède le potentiel de remplacer les carburants fossiles. Il est renouvelable, non toxique, biodégradable et plus respectueux pour l'environnement [2].

1.2 Biocarburants**1.2.1 Définition de biocarburant**

Le principal intérêt revendiqué par le biocarburant est de ne pas être une énergie fossile et de fournir une énergie renouvelable, contribuant très peu à l'augmentation du taux de CO₂ présent dans l'atmosphère. En effet, la plante durant sa croissance consomme par la photosynthèse une quantité de dioxyde de carbone qui sera dégagé lors la combustion du biocarburant. Plusieurs types de biocarburants sont utilisés, principalement GNV (gaz naturel véhicule), les alcools, et les huiles esters. Les biocarburants liquides sont classés en trois générations selon la matière première [3].

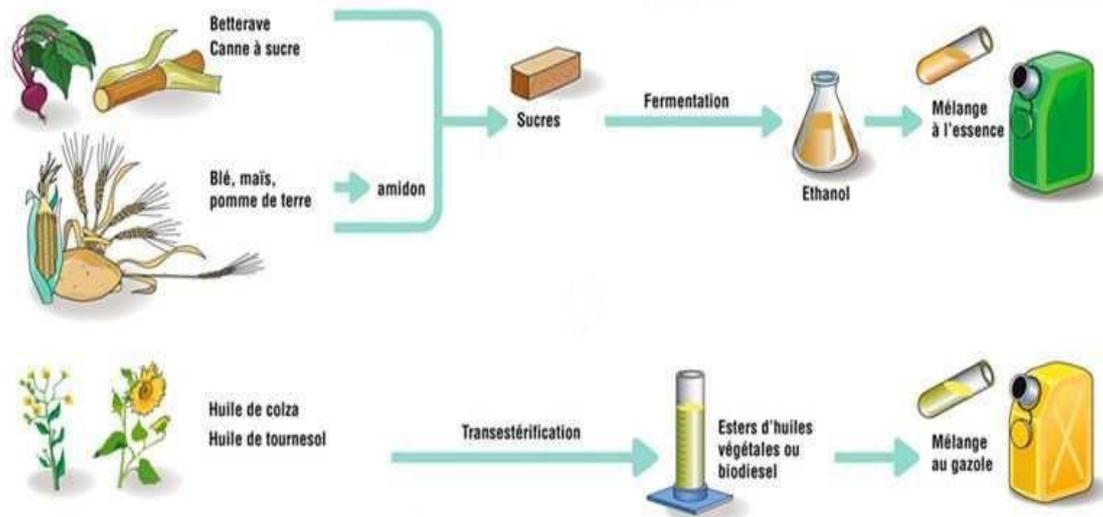


Fig. 1 – Schéma de la production des biocarburants. (Source : IFP énergies nouvelles)

1.2.1.1 Les biocarburants gazeux

Ce sont des combustibles obtenus à partir du méthane contenu dans le biogaz. Ce dernier résulte de la fermentation anaérobie, de n'importe quel matériau organique déchets alimentaires, déchets de bois, paille, et bien sûr produits des cultures. En pratique ce biogaz est obtenu en mettant des matériaux organiques dans une enceinte qui est à l'abri de l'air et en "laissant faire" les bactéries qui vont les décomposer. Les gaz issus de cette fermentation sont composés de 65 % de méthane, 34 % de CO, et 1 % d'autres gaz dont le sulfure d'hydrogène et le diazote [4].

1.2.1.2 Les biocarburants liquides

1.2.1.2.1 Biocarburants de première génération

Les biocarburants de première génération (agro-carburants), sont produits à partir de la biomasse agricole par exemple : la betterave sucrière, la canne à sucre, le tournesol, le colza, le soja, le blé, le maïs, etc.... [3].

Ils sont principalement de deux types :

- a. **Le bioéthanol** : il est produit à partir de canne à sucre, de céréales et de betterave sucrière. Il est utilisé dans les moteurs à essence.
- b. **Le biodiesel** : il est dérivé de différentes sources d'acides gras, notamment les huiles de soja, de colza, de palme et d'autres huiles végétales. Il est utilisé dans les moteurs diesel.

Il existe classiquement trois grandes filières de biocarburants de 1^{ere} génération l'huile, l'alcool, le gaz et le charbon de bois [5].

1. Filière huile

- L'huile pure ou huile végétale brute, c'est-à-dire le produit direct du pressurage de la graine (de colza ou de tournesol), lequel, après filtration, peut être utilisé directement comme carburant dans un moteur diesel, sans modification de ce dernier [5].
- L'Ester Méthylique d'Huile Végétale (EMHV) obtenu en faisant réagir de l'huile de colza ou de tournesol (qui sont en fait des acides gras) avec de l'alcool méthylique (Transestérification). Cette opération permet de fabriquer un sous-produit du glycérol, encore appelé glycérine. L'EMHV est rarement utilisé pur, mais le plus souvent par incorporation au diesel dans des proportions de 5 à 30%, pour donner ce qui est appelé en France le Diester [5].

2. Filière alcool

Les combustibles sont obtenus à partir d'alcools (méthanol, éthanol). Les cultures concernées sont des matières sucrées, cellulosiques ou amylacées peuvent fournir des matériaux capables de fermenter pour donner un alcool. Toutes les cultures sucrières sont donc éligibles (betterave, canne) mais aussi celles qui donnent de l'amidon (le blé par exemple), lequel par hydrolyse produit ensuite du sucre, dans cette catégorie entrent :

- Les alcools utilisés purs (comme au Brésil), mais cela nécessite de modifier le moteur des voitures.
- L'Ethyle Tertio Butyle Ether (ETBE) et le Méthyle Tertio Butyle Ether (MTBE) obtenus en faisant réagir les alcools avec un produit pétrolier obtenu en raffinerie, l'isobutane (encore appelé isobutylène), qui est un hydrocarbure de formule C_4H_8 . L'ETBE est utilisé comme additif à l'essence, à hauteur de 15 %, en remplacement du plomb [5].

3. Filière gaz

Les combustibles sont obtenus à partir du méthane contenu dans le biogaz (de 50% à 90%, le reste étant essentiellement du CO_2 et de la vapeur d'eau), Le biogaz est ce qui résulte de la fermentation anaérobie, de n'importe quel matériau organique : déchets alimentaires, déchets de bois, paille, produits des cultures...Ce méthane peut être utilisé pur dans des moteurs à allumage commande -technologie moteurs à essence- ou dans des moteurs dits dual-fuel. Il peut aussi alimenter un procédé industriel de fabrication de combustibles liquides à partir de gaz [5].

4. Filière charbon de bois (biocarburant solide)

Le charbon de bois peut être considéré comme un biocarburant solide, obtenu par pyrolyse du bois, de la paille ou d'autres matières organiques. Mais généralement, le charbon de bois n'est pas classé dans la catégorie des biocarburants qui renvoient souvent à des produits liquides [6].

1.2.1.2.2 Biocarburants de deuxième génération

La deuxième génération concerne le bioraffinage de la biomasse lignocellulosique qui valorise les molécules de structuration des plantes. Cette nouvelle génération permet de résoudre certains des problèmes soulevés avec l'éthanol et le biodiesel de première génération. Cette nouvelle génération de biocarburant a également pour objectif de réduire nettement les émissions de gaz à effet de serre et la concurrence avec les produits alimentaires causée par les biocarburants de première génération [7].

a. Filière biochimique (Voie biochimique)

Les 3 constituants majeurs de la biomasse lignocellulosique - cellulose, hémicelluloses et lignine - seule la cellulose est aujourd'hui facilement transformable en éthanol : l'hémicellulose fait l'objet de recherches intensives pour la rendre convertible. La filière biochimique de production d'éthanol cellulosique s'effectue en trois grandes étapes [8].

- Une première étape consiste donc à extraire la cellulose puis à la transformer en glucose par hydrolyse à l'aide d'enzymes.
- Deuxième étape Le glucose est ensuite fermenté par des levures en éthanol. A moyen terme, il pourra être fermenté en d'autres alcools ou en hydrocarbures par des microorganismes adaptés si les recherches en cours aboutissent.
- Enfin, Troisième étape l'éthanol est purifié par distillation et déshydratation.

b. Filière Thermochimique (Voie thermochimique)

- La filière thermochimique de production de gazole et de kérosène de synthèse appelé BTL (Biomasse to liquide), elle s'effectue en trois grandes étapes [8].

Première étape La biomasse est conditionnée par pyrolyse ou torréfaction.

- Deuxième étape la biomasse est gazéifiée en présence de vapeur d'eau ou d'oxygène. On obtient ainsi un gaz de synthèse, constitué de monoxyde de carbone (CO) et d'hydrogène (H₂).
- L'étape suivante est, en général, la synthèse Fischer-Tropsch, transformation chimique catalytique du gaz de synthèse en paraffines linéaires qui, hydro craquées et isomérisées, produiront un gazole et un bio kérosène de synthèse.

1.2.1.2.3 Biocarburants de troisième génération

La troisième génération de biocarburants est produite à partir de microalgues. En effet, certaines espèces d'algues sont naturellement riches en huile, l'idée est donc de cultiver des quantités massives d'algues pour produire du carburant. Pour y parvenir, il faut juste de l'énergie solaire, de l'eau et du CO₂. En couplant un centre de production d'algues avec une usine émettant du CO₂, il serait possible de trouver une utilité à ce gaz plutôt que de le rejeter dans

L'atmosphère [9].

Tableau 1 –Tableau récapitulatif des trois générations des biocarburants

1ère Génération	Issus de produits alimentaires (blé, maïs, betteraves, Colza) via des processus techniques simples : bilan environnemental médiocre et socio-économique dangereux.
2ème Génération	Issus de sources ligno-cellulosiques (bois, feuilles, paille, etc.) à partir de processus techniques avancés : meilleur bilan énergétique et environnementale.
3ème Génération	Produits par des micro-organismes, en s'affranchissant de la contrainte du sol : encore au stade de la recherche.

1.2.2 Les utilisations des biocarburants

Il existe de nombreuses utilisations des biocarburants dans de nombreux domaines, notamment les suivants [10] :

- Transport
- Aviation
- Chargement des appareils électronique
- Chauffage
- Nettoyer les déversements d'huile

1.2.3 Les avantages et les inconvénients des biocarburants

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

Tableau. 2 – les principaux avantages et inconvénients des biocarburants

Les avantages [10]	Les inconvénients [11]
Biocarburants font partie des énergies renouvelables	Sa stabilité est très influencée par les facteurs suivant : la présence d'aire, l'oxygène, les impuretés, les catalyseurs, les métaux, la chaleur, et la lumière, la sensibilité augmente avec le degré d'instauration des acides gras constituant le biodiesel
Réduit la production de dioxyde de carbone car il est absorbé par l'atmosphère lors de la production de bioénergie par le processus de photosynthèse, contrairement aux combustibles fossiles, qui nuisent à l'environnement en libérant du dioxyde de carbone	Ils sont gourmands en énergie, coûteux à cultiver, à collecter et à transformer.
Il est plus économique que les combustibles fossiles Réduit des émissions de gaz à effet de serre qui contribuent à augmenter les effets du réchauffement climatique	Risque de contamination par les micro-organismes, cela peut occasionner la formation de sédiments résultant en un colmatage de filtres de moteurs ou en leur accumulation dans le réservoir
Contribue à l'augmentation du développement économique du pays, et par conséquent à la mise en place de nombreux projets spécialisés dans l'énergie vitale, ce qui se reflète positivement sur l'augmentation des opportunités d'emploi et la réduction du chômage	L'augmentation de l'acidité peut provoquer une corrosion

1.3 Le Biodiésel

1.3.1 Définition et origine de biodiésel

Le biodiesel est défini par ASTM International comme un carburant composé d'esters monoalkyliques d'acides gras à longue chaîne dérivés d'huiles végétales renouvelables ou de graisses animales qui répondent aux exigences de la norme ASTM D6751[12],

Le biodiesel est un mélange constitué d'esters éthyliques ou méthyliques d'huile végétale (EEHV ou EMHV) ou de gras animal. Contrairement au pétro diesel, 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 [13].

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 [13].

1.3.2 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[14].

1.3.2.1 La viscosité

Comme indice de cétane, la viscosité augmente avec le nombre de carbone et diminue avec le degré d'insaturation[15]. Une plus grande viscosité cinématique créerait des problèmes comme des dépôts dans le moteur [16]. La transestérification favorise donc une diminution de la viscosité de huile à des valeurs généralement comprises entre 4 à 6 mm²/s [17].

1.3.2.2 Densité

La densité est définie comme étant la masse du produit contenu dans un volume fixe, dans des conditions de pression et de température bien déterminées. La densité est une caractéristique importante entrant dans la valorisation de la matière première liquide, utilisée comme source de production d'un biocarburant [18].

1.3.2.3 Pouvoir calorifique

Le pouvoir calorifique indique si un biodiesel est adapté à brûler dans un moteur diesel. Le pouvoir calorifique augmente avec la longueur de la chaîne carbonée [16]. En utilisant des lipides extraits de microalgues hétérotrophes, en présence de H₂SO₄ dans le méthanol. [19] ont obtenu un biodiesel avec un pouvoir calorifique de 41MJ/kg, valeur se trouvant dans la gamme du carburant diesel (40-45 MJ/kg).

1.3.2.4 Le point trouble et point découlement

Le point d'écoulement représente la température la plus basse à laquelle le biodiesel commence à geler lorsqu'il est refroidi, sans agitation, dans des conditions normalisées.[20] La température du point trouble diminue avec la fraction molaire de composés non saturés et augmente légèrement avec la longueur de la chaîne carbonée[21]. Habituellement, les points de trouble et d'écoulement augmentent en fonction du rapport volumique de biodiesel dans le carburant pétro-diesel [17].

1.3.2.5 Le point d'éclair

Le point d'éclair est la température la plus basse à laquelle l'application d'une flamme provoque l'inflammation d'une partie de vapeur dans des conditions spécifiques de test [20].

1.3.2.6 L'indice de cétane

L'indice de cétane est un indicateur de qualité de rallumage d'un carburant qui augmente avec le nombre de carbone et diminue avec le nombre de liaisons de carbone insaturées [14]. L'indice de cétane permet d'apprécier l'aptitude à l'auto-inflammation d'un carburant diesel sur une échelle de 0 à 100. Il mesure l'aptitude à l'allumage d'un carburant sous l'effet de la pression. Habituellement, les huiles végétales présentent de faibles valeurs d'indice de cétane par rapport au diesel. En effet, plus la valeur de l'indice de cétane n'est élevée ; de plus le temps d'auto-inflammation du carburant est court. Dans cette condition, la combustion est facilement atteinte avec un pourcentage élevé de matières brûlées (hydrocarbures, monoxyde de carbone, etc.) [20].

1.3.2.7 L'indice d'acide

Est le nombre de milligrammes de soude (NaOH) nécessaires pour neutraliser les acides libres de 1 g de corps gras. C'est l'un des meilleurs moyens de déterminer son niveau d'altération par hydrolyse [21].

1.3.2.8 L'indice d'iode

L'indice d'iode est une mesure importante qui permet de déterminer le degré d'insaturation du carburant est le nombre de gramme d'iode fixés par 100 g de corps gras. Cet indice nous renseigne sur le degré d'insaturation globale des chaînes grasses analysé, plus une huile est insaturée, plus l'indice d'iode est élevé [21].

1.3.2.9 Le pouvoir lubrifiant

La définition de la lubricité du diesel est influencée par sa viscosité, son acidité, sa teneur en eau et les composés soufrés [23]. Même avec des additifs, le frottement mesuré (pas d'unité déclarée) du biodiesel (0,114 et 0,117) est inférieur à celui du diesel (0,238 et 0,210) pour les températures de 25 et 60°C [15]. Par conséquent, un avantage de l'ajout de biodiesel ayant une faible teneur en soufre dans du pétro-diesel conventionnel est d'améliorer sa lubrification.

1.3.2.10 Teneur en eau

Les carburants contaminés par l'eau peuvent provoquer la rouille du moteur ou réagir avec les triglycérides pour produire du savon ou de la glycérine [22].

1.3.2.11 Teneur en alcool

La présence d'alcool dans le biodiesel réduit son point d'auto-inflammation et risque de tomber sous les seuils recommandés par les normes [22].

1.3.3 Les Sources pour la production de biodiesel

Le biodiesel peut être obtenues à partir de différents matières premières, telles que les légumes, les algues, l'huile microbienne et les graisses animales, obtenant ainsi un biocarburant avec des pluralités et des compositions différentes [24]. L'étape principale pour la production de biodiesel est la sélection de matière première parce qu'elle influence sur plusieurs facteurs, tels que la pureté de biodiesel, le coût, la composition et la conversion. La disponibilité et le type de source de matière première sont les principaux paramètres pour classer le biodiesel comme comestible, non comestible et basé sur des origines résiduelles [25].

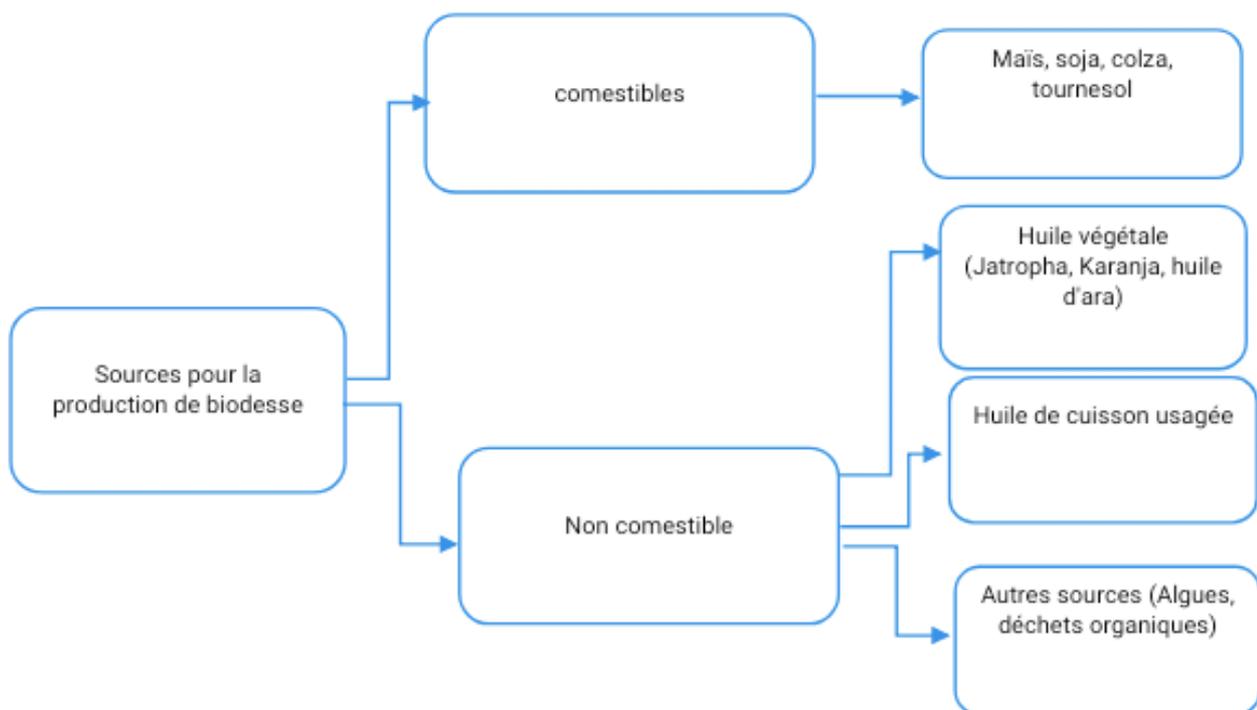


Fig.2 – Différentes sources de production de biodiesel [26]

1.3.4 Les avantages et les inconvénients de biodiesel

Le biodiesel présente de nombreux avantages par rapport au pétro diesel [27].

Le tableau suivant résume les principaux avantages et inconvénients des biodiesels :

Tableau 3 – les principaux avantages et inconvénients de biodiesel

Les avantages	les inconvénients
pouvoir lubrifiant intrinsèque, sa faible toxicité, sa dérivation à partir d'une matière première renouvelable et domestique, son point d'éclair et sa biodégradabilité, sa teneur négligeable en soufre et ses émissions d'échappement réduites.	le coût élevé de la matière première, un stockage inférieur et une stabilité à l'oxydation, une teneur en énergie volumétrique inférieure, une capacité de traitement inférieure à basse température et dans certains cas.

1.4 Le Bioéthanol

1.4.1 Généralités sur bioéthanol

1.4.1.1 Définition

Le bioéthanol est l'alcool éthylique, l'alcool de grain ou chimiquement C_2H_5OH . C'est un liquide inflammable et incolore avec une odeur caractéristique agréable. Dans une solution aqueuse diluée, il a une gout légèrement sucrée, mais dans un solutions plus concentrées, il a un gout piquant. Le bioéthanol est produit par fermentation microbienne, par opposition à l'éthanol synthétiquement produit à partir de sources pétrochimiques [28].

L'éthanol C_2H_5OH a été synthétisé par le biais de la biomasse. Il est obtenu à partir de sucres en présence de La levure. L'éthanol peut être produit à partir de :

- Canne à sucre, betteraves à sucre, etc.
- Amidon (maïs, Orge, blé, pommes de terre, etc...) ;
- Restes agricoles (paille ou canne), résidus forestiers, Micro-algue.

L'utilisation de l'éthanol biologique réduit la quantité de dioxyde de carbone de l'essence de 7%. De plus, son indice d'octane est très élevé [29].

1.4.1.2 Caractéristique de bioéthanol

Le bioéthanol se caractérise par la mesure de certains paramètres physiques-chimiques, notamment :

1.4.1.2.1 Détermination de pH

Un facteur très important pour la croissance de la levure (*saccharomyces cerevisiae*) qui Détermine l'activité métabolique de la cellule. *Saccharomyces cerevisiae* présente L'avantage de croître sur milieux acides pour lesquels la plus part des bactéries ne se Développent pas. La fermentation alcoolique se déroule à un pH acide (pH 4,5à5) [30].

1.4.1.2.2 Dosage de l'alcool

Le dosage de l'alcool au cours de la fermentation est effectué par aérométrie. il s'agit de connaître la quantité d'alcool contenue dans ce jus alcoolisé. La méthode consiste à distiller le jus alcoolisé, puis mesurer, à la température ambiante, le degré de distillat à l'aide d'un alcoomètre (gradué de 0 à 100°) [31].

1.4.1.2.3 Dosage de l'acidité

L'acidité sert essentiellement à limiter le développement bactérien ce qui est très important dans les milieux non stériles comme les produits sucrés, une acidité comprise entre 1,5-2,5 g.L⁻¹ serait un compromis entre l'effet bactériostatique et le développement optimal de la levure [32].

1.4.1.2.4 La température

La température affecte le taux de croissance. Plus la température est élevée, plus la croissance est rapide, jusqu'à ce qu'une température optimale soit atteinte, au-delà de laquelle la température de croissance optimale est de 30-32°.

L'augmentation de la température, jusqu'à la température optimale, permet de diminuer le temps de fermentation. La température optimale pour la production d'éthanol ne correspond pas forcément à la température optimale de la biomasse. En effet, plus la température est élevée plus la levure est soumise à un stress [33].

1.4.1.3 Utilisations

Aujourd'hui, les applications industrielles utilisant l'éthanol sont nombreuses. Au-delà du fait que l'éthanol serve à l'éclairage et au chauffage, il constitue le principe actif de base des boissons alcoolisées, il entre dans la synthèse de produits chimiques tels que les peintures, les encres, les matières plastiques, les adhésifs, les cosmétiques et les produits Pharmaceutiques.

Réputé pour ses qualités de solvant, il est également utilisé dans l'industrie du nettoyage contre les graisses et les matières plastiques.

L'éthanol est également utilisé comme matière première pour la synthèse de solutions d'insecticides. En pharmacologie, il est utilisé pour ses propriétés de désinfectant et d'agent antiseptique [34].

1.4.1.4 Procédés de production de bioéthanol

A l'instar d'autres pays comme le Brésil, le Canada, les Etats Unies, Qui ont développé des programmes industriels intégrés pour la production d'éthanol à partir de canne à sucre, de blé, de maïs,... l'Algérie, qui possède un potentiel considérable en déchets et sous-produits de dattes, pourrait lancer un pareil programme. La production d'éthanol à partir des déchets de dattes constitue une solution intéressante sur le plan économique, cet alcool peut remplacer avantageusement celui obtenu par voie chimique à partir des produits pétroliers et peut remplacer le pétrole léger comme carburant ou au moins permettre le coupage de l'essence (5 à 10 % d'éthanol).

En outre, l'intérêt de produire de l'éthanol vient du fait que c'est une substance énergétique stratégique et son utilisation couvre un champ étendu d'activités industrielles : fabrication de spiritueux, d'intermédiaires chimiques (produits de beauté, parfums, cosmétiques, produits pharmaceutiques), de solvants, de détergents, de désinfectants, d'acides organiques, etc.

Enfin, il est utile de signaler, selon la Régie des Alcools, que notre pays importe entre 30.000 et 50.000 hectolitres d'alcool éthylique par an afin de couvrir ses différents besoins[35].

1.4.1.5 Les avantages et les inconvénients

a. Les avantages

- Conservation des ressources de carburant fossile : chaque litre de bioéthanol produit à base de matières premières renouvelables signifie la préservation de sources d'énergie comme le pétrole.
- Assurer l'approvisionnement en carburant de qualité issu de ressources propres (biomasse) : à cause du développement des marchés, il est à prévoir que l'exploitation de pétrole brut va devenir de plus en plus difficile et onéreuse. Protection du climat : Les sources d'énergie renouvelable comme le bioéthanol impliquent moins de production de gaz à effet de serre (moins d'émission de dioxyde de carbone CO₂ fossile que les carburants conventionnels).
- Création d'un nouveau secteur industriel et soutien du développement rural Avantages en comparaison avec les carburants conventionnels : Le bioéthanol bat des records grâce à

ses propriétés chimiques. Son indice d'octane est plus élevé en permettant un fonctionnement plus efficace des moteurs à allumage par étincelle que celui du pétrole, ne contient pratiquement pas de soufre et il est biodégradable [36].

b. Les Inconvénients

- Un coût d'installation important.
- La non compatibilité de certains véhicules.
- Son indice d'octane étant moins élevé que celui de diesel, le bioéthanol ne convient pas comme carburant propre pour les moteurs diesels conventionnels, à moins qu'un accélérateur d'ignition ne soit ajouté.
- Emissions très élevées d'hydrocarbures par évaporation, ce qui requiert un réglage de la pression de vapeur de l'essence de basse à laquelle l'éthanol est ajouté [37].

1.5 Conclusion

Le biodiesel et le bioéthanol sont des biocarburants alternatifs respectueux de l'environnement aux carburants fossiles. Ils diffèrent en termes de caractéristiques, d'avantages et d'inconvénients.

CHAPITRE 2

**Synthèses des
biocarburants à partir
de résidus alimentaires**

2.1 Introduction

La transestérification est la méthode la plus courante et appropriée pour la production de biodiesel à partir d'huiles végétales en présence d'un catalyseur basique. Et le procédé de fermentation pour la production de bioéthanol par fermentation d'une substance sucrée en présence de levure.

2.2 synthèse de biodiesel à partir des huiles de friture usées (HFU)

2.2.1 Généralité sur les huiles végétales

2.2.1.1 Définition

Les huiles végétales sont des denrées alimentaires qui se composent essentiellement de glycérides d'acides gras exclusivement d'origine végétale. Elles peuvent contenir en faible quantité d'autres lipides comme les phosphatides, des constituants insaponifiables et les acides gras libres naturellement présents dans la graisse ou l'huile [38].

Les huiles végétales sont principalement constituées de triglycérides (> 95 %), encore appelés triacylglycerols (TAG). Elles peuvent également contenir des vitamines liposolubles et, lorsqu'elles ne sont pas raffinées, des phytosterols, des pigments naturels et des phospholipides. Les acides gras (AG) constitutifs des TAG diffèrent entre eux par la longueur de la chaîne carbonée et le nombre de doubles liaisons entre 2 atomes de carbone (C), ces liaisons se trouvant naturellement sous la forme cis (ou Z) [39].

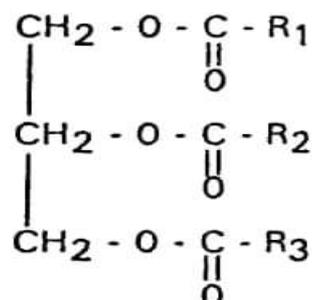


Fig. 3 – Structure générale d'une huile végétale. R1, R2, R3 désignent des chaînes

D'acides gras et différent en longueur et nombre de double liaison

2.2.1.2 Les différentes sources d'huile

Différents types d'huiles végétales comestibles et non comestibles sont utilisés pour la production de biodiesel et diffèrent dans de plusieurs pays.

En principe, toute source de corps gras peut être utilisée pour préparer du biodiesel. Cependant, certaines sources sont privilégiées plus que d'autres selon les pays. Ainsi, aux Etats- Unis, les Fabricants utilisent l'huile de soja. Ils sont les plus grands producteurs de l'huile de soja devant le

Brésil. Les brésiliens, quant à eux, utilisent différentes sources d'huile en raison de la biodiversité du pays. Par exemple dans le nord du pays c'est surtout l'huile de palme et de soja. Alors que le centre-ouest, c'est l'huile de soja, de coton, de ricin, et de tournesol. En France, les producteurs utilisent principalement l'huile de colza [40]. Les pays tropicaux, tels que la Malaisie, utilisent l'huile de palme ou l'huile de noix de coco, tandis que l'Inde utilise des huiles végétales inappris, telles que Jatropha, Simarouba et Karanja[41]. En Australie, l'huile de graine de papaye et l'huile de noyau de fruit sont des huiles végétales inutiles populaires pour la production de biodiesel [42]. En plus d'autres sources d'huiles telles que L'huile de pépins de raisin, L'huile d'olive, L'huile d'arachide....etc.

En raison de problèmes économiques et de pression sur la sécurité alimentaire, l'utilisation d'huiles non comestibles est préférable aux huiles végétales comestibles [43].

2.2.1.3 Les caractéristiques des huiles végétales

2.2.1.3.1 Caractéristiques chimiques

- a) **Masse volumique** : Les huiles végétales sont plus denses que le diesel (environ 10%). Mais cela n'a que peu ou pas d'effet sur le comportement du moteur ou du brûleur. Cependant, le réglage du débit de carburant doit tenir compte de cette différence de densité et du fait qu'elle varie avec la température [44].
- b) **Viscosité** : La viscosité des huiles végétales est liée à leurs structures et en particulier, à la longueur des chaînes (longueur de la chaîne et saturation). Elle augmente avec le poids moléculaire et diminue avec l'augmentation du nombre d'insaturation (doubles liaisons) et de la température [45].
- c) **Les points de trouble et d'écoulement** : Ces deux propriétés déterminent principalement les propriétés de refroidissement du carburant [46]. Le point de trouble est la température à laquelle un produit refroidi dans des conditions normalisées commence à apparaître cristallin. Sa valeur détermine la tendance du produit à colmater le filtre [47]. Quant au point d'écoulement, il représente la température la plus basse à laquelle un produit refroidi dans des conditions normalisées peut encore s'écouler. Il détermine les conditions de stockage, de transport, de "pompage" du carburant. Plus la saturation de l'huile végétale est élevée, plus les valeurs de ces deux propriétés ne sont élevées. En revanche, les huiles insaturées telles que l'huile de colza et l'huile de coton ont des points de trouble et d'écoulement relativement bas [47].

2.2.1.3.2 Caractéristiques physiques

- a. **Indice d'iode (II) :** C'est la masse de diode (I₂) (exprimée en g) capable de se fixer sur les insaturations (double liaison le plus souvent) des chaînes grasses de 100 g de matière grasse. Il sert à mesurer le nombre d'insaturations. Une huile ayant un indice d'iode élevé est peu résistante à l'oxydation, ce qui peut causer des problèmes dans la combustion [48].
- b. **Indice d'acide(IA) :**L'indice d'acide s'effectue par un simple dosage acido-basique et s'exprime en (mg KOH/g) qui présente le nombre de mg d'hydroxyde de potassium nécessaire pour neutraliser les acides gras libres présents dans 1g de corps gras. Cet indice est déterminé à froid. Il donne une idée de la stabilité thermique de l'huile notamment le point de fumée et le point éclair qui baissent fortement lorsque l'acidité de l'huile augmente. Celle-ci peut aussi entraîner des problèmes de corrosion [48].
- c. **Le Pouvoir Calorifique (PC) :** Le pouvoir calorifique d'un combustible exprime l'énergie dégagée par unité de masse ou de volume de produit lors des réactions chimiques qui aboutissent à la formation de CO₂ et H₂O lors d'une combustion complète. Différence entre PCS à haut pouvoir calorifique et PCI à faible pouvoir calorifique, en PCS les fumées de carburant contiennent de l'eau liquide (combustion et humidité), en PCI les fumées de carburant contiennent toute cette eau à l'état de vapeur [49].
- d. **Indice de saponification (IS):**C'est la quantité de potasse, exprimée en milligrammes, nécessaire pour saponifier un gramme de corps gras [47].
- e. **Indice de réfraction (IR) :**L'indice de réfraction représente une mesure de pureté et est un paramètre qui détermine dans quelle mesure les acides gras entrants sont établis Composition grasse. Cela dépend de la composition chimique de l'huile et de la température. Nous pouvons dire que les indices de réfraction changent sensiblement d'une huile à l'autre et ces changements sont dus aux natures des huiles, durées de stockage et la température [50].
- f. **Indice de peroxyde :** Il permet d'évaluer le degré d'oxydation de l'huile. Plus l'huile est insaturée, plus elle est sensible à l'oxydation, elle augmente avec l'insaturation de l'huile. Des études ont montré que pour certaines huiles, il existe une plage d'indices de peroxyde où l'indice de cétane augmente avec l'indice de peroxyde [51].

2.2.1.4 La composition chimique des huiles alimentaires fabriquées en Algérie

Est donnée dans le tableau suivant :

Tableau 4 – La composition chimique des huiles alimentaires fabriquées en Algérie [52]

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

2.2.2 Définition des huiles végétales de friture usées (HFU)

On entend par huiles alimentaires usagées, les résidus de matières grasses, majoritairement d'origine végétale, utilisées lors de opérations de friture destinées à l'alimentation humaine, en industrie agroalimentaire et en restauration commerciale et collective, mais également par les particuliers. Plusieurs facteurs influencent le vieillissement d'huile, ce qui rend difficile de déterminer le moment précis pour changer l'huile. Une huile usée est d'apparence foncée, épaisse ou visqueuse, peut contenir des dépôts et peut avoir une saveur âcre [53].

2.2.2.1 Les huiles usées de cuisson comme source de biodiesel

La valorisation des huiles de cuisson usagées en biocarburant fait partie des alternatives proposées aux biocarburants de première génération. Méconnu du grand public, ce processus s'inscrit dans une logique d'économie circulaire. Les huiles de cuisson usagées, considérées comme un déchet, sont réinscrites dans un cycle de production. Elles deviennent alors une ressource, avec une valeur marchande pouvant même s'avérer (très !) lucrative [54].

2.2.2.2 Composition des huiles végétales de friture

Les huiles de friture supportent les fortes chaleurs de friture, en raison de leur teneur inférieur en acides gras insaturés, tels que l'acide linoléique qui les rendent instables au contact de la chaleur [55].

2.2.2.3 Dégradation des huiles de friture

À des températures élevées entre 160°C et 180°C en présence d'eau et d'oxygène Les triglycérides subissent un grand nombre de réactions complexes qui peuvent être divisées en trois grandes catégories : oxydation, polymérisation et hydrolyse [56].

a. Réactions d'oxydation

Au contact de l'oxygène de l'air, ils peuvent provoquer des changements d'arôme et de couleur dans les huiles de friture, souvent indésirables. Ces composés oxydants indésirables proviennent des hydroperoxydes, principaux composés d'oxydation. Les réactions en chaîne conduisant à leur formation sont autocatalytiques car elles sont initiées par l'apparition de composés radicalaires, eux-mêmes provoqués par l'oxydation des triglycérides dans le bain. Les cations métalliques tels que le fer ou le cuivre peuvent également initier et accélérer des réactions d'oxydation [57].

b. Réactions de polymérisation

Ils sont responsables des réarrangements intermoléculaires et intramoléculaires qui rendent l'huile de friture sensible à l'oxydation et conduisent à une augmentation de la viscosité apparente de l'huile [58].

c. Réactions d'hydrolyse

Elles sont les plus nombreuses dans les conditions normales de friture. Le contact avec la vapeur d'eau conduite à la formation d'acides gras libres, de monoglycérides, de diglycérides : dite la formation de glycérol. La présence de résidus de produits de Nettoyage caustique favorise les réactions d'hydrolyse [59].

2.2.3 Synthèse du biodiesel par transestérification

2.2.3.1 Définition

La transestérification est un processus catalysé par des échanges au groupe alcoxy d'un ester pour l'alcool tel que le méthanol ou l'éthanol (accepteur acyle), convertissant ainsi les triglycérides en esters méthyle ou éthylique et glycérol [60,61]. En plus d'être l'une des principales approches de la production de biodiesel car elle est simple par rapport à d'autres types de méthodes de production en tant que microémulsion d'huile, pyrolyse ou craquage catalytique.

Dans le processus de transestérification, une source de triglycérides, tels que l'huile ou la graisse, est utilisée pour réagir avec du méthanol ou de l'éthanol en présence d'un catalyseur. Comme mentionné précédemment, la conversion consiste à briser les glycérides en une forme plus simple, formant ainsi l'ester méthyle ou éthylique. En général, le glycérol produit est considéré comme un sous-produit toutefois, le glycérol peut être affiné à une plus grande pureté

Due à sa valeur commerciale dans l'industrie pharmaceutique, alimentaire et cosmétique [62].

2.2.3.2 Equation de La réaction de transestérification

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

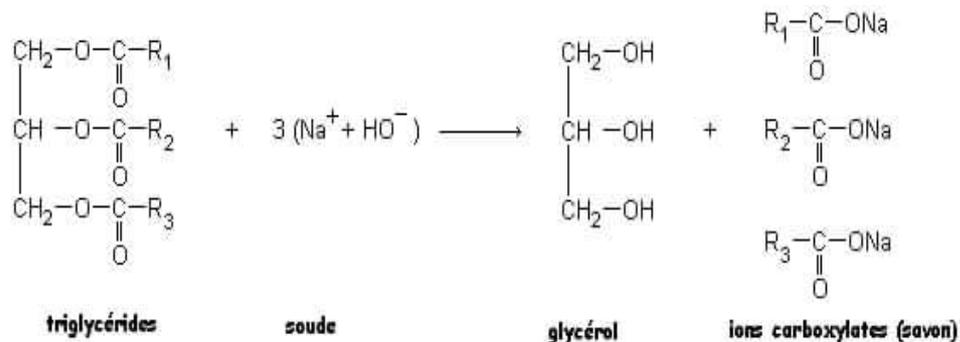


Fig. 4 – Equation de transestérification [63]

2.2.3.3 Facteurs influençant de la réaction de transesterification des huiles

Beaucoup de paramètres affectent le processus de la réaction de transestérification et sont : la condition de réaction, le ratio molaire alcool/huile, le type et la quantité de Catalyseur, le temps et la température de réaction, la pureté de réactifs des acides gras libres et de la teneur en eau des huiles, etc. [64].

1. Les acides gras libres et l'eau

Les acides gras libres et l'eau sont des paramètres clés dans le processus de transestérification. La teneur en acides gras libres d'huile entrave la transformation de cette dernière, par la réaction de saponification (formation de savon). C'est pourquoi, l'acidité de l'huile doit être inférieure à 3% [69]. En présence de soude ou la potasse une réaction parasite aura lieu avec la transestérification, c'est la saponification selon la réaction suivante :

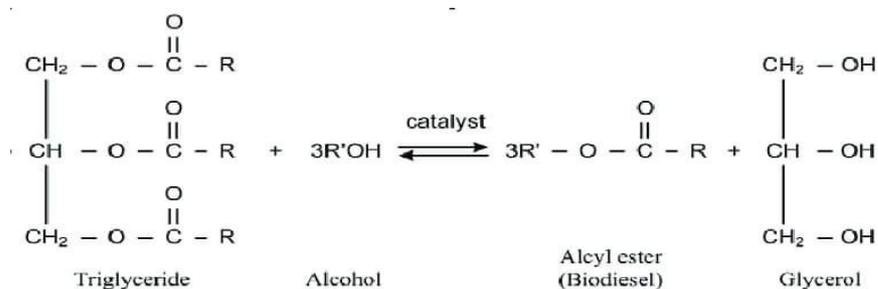


Fig. 5 – Réaction de saponification des triglycérides

Cette réaction est favorisée dans le cas d'une huile acide ou en présence d'eau. En effet, en présence d'eau les triglycérides s'hydrolysent facilement donnant lieu au glycérol et aux acides libres. Avec la soude ou la potasse, on obtient facilement les savons de ces acides.

2. Type et quantité de catalyseur

Il existe trois grandes classes de catalyseurs : catalyseurs basiques et catalyseurs acides et catalyseurs enzymatiques.

- a. Les catalyseurs basiques :** La catalyse basique est la plus utilisée grâce sa rapidité et son coût de production [65].

La catalyse basique par voie homogène ou hétérogène est le procédé de production de biodiesel le plus utilisé. Les catalyseurs basiques sont : Hydroxydes (NaOH, KOH), alcoolates ou savons de métaux ou Amines [66].

- b. Les catalyseurs acides :** Les catalyseurs acides il existe une voie homogène ou hétérogène.

Les catalyseurs acides sont : acides minéraux (HCl, H₂SO₄), acides sulfoniques, résines échangeuses d'ions (acide fort), zéolithes [67]. Une température élevée accélère la vitesse de la réaction de transestérification en utilisant un catalyseur acide.

Les catalyseurs acides sont rarement utilisés du fait de leur moindre réactivité et des risques élevés de corrosion des installations industrielles [67].

- c. Les catalyseurs enzymatiques :** Ce sont des enzymes généralement utilisées pour catalyser des réactions d'hydrolyse de triglycérides en milieu aqueux. Là où des catalyseurs enzymatiques tels que les lipases ont été étudiés dans les réactions de Méthanololyse et d'éthanololyse [66].

Le type de catalyseur utilisé dans les changements de transestérification est un élément critique qui affecte la production de biodiesel. Il peut s'agir de composés chimiques, tels que des bases et / ou des enzymes, selon la méthode utilisée pour la production de biodiesel [60]. Le processus général implique trois étapes consécutives et réversibles qui produisent des molécules de monoglycérides intermédiaires.

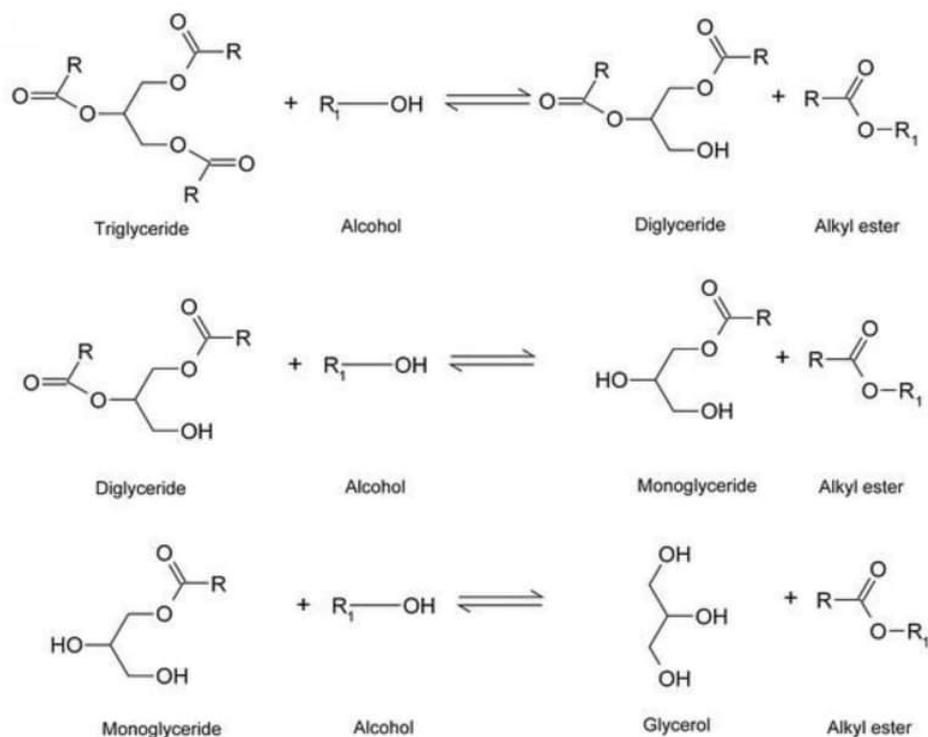


Fig. 6 – Le mécanisme de La réaction de transestérification [68]

3. Ratio molaire alcool/huile et type d'alcool

Le méthanol et l'éthanol sont les principaux alcools utilisés dans les réactions de transestérification. Le ratio molaire alcool/huile et type d'alcool, une autre variable importante affectant le rendement de conversion en ester est le ratio molaire alcool/huile végétale. La réaction étant dans les deux sens (transestérification et condensation) ; donc pour déplacer l'équilibre dans le sens de la formation des esters il faut un excès de l'un des deux réactifs. 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 ratio normal utilisé dans le processus industriel est 6. La littérature montre que ce rapport est très variable selon la nature de l'huile et du catalyseur utilisé [69].

4. La nature et la qualité de l'huile

Des réactions secondaires (parasites) peuvent avoir lieu si l'huile contient de l'eau et d'acides gras libres. Et par suite la cinétique de transestérification est affectée.

5. L'effet du temps de réaction

Le taux de conversion des huiles végétales en biodiesel augmente avec le temps de réaction[70].

6. L'effet de la température et pression de réaction

La transestérification peut se produire à différentes températures en fonction de l'huile végétale utilisée, en veillant à ne pas dépasser le point d'ébullition des alcools utilisés [71].

La littérature montre que pratiquement toutes les études de la transestérification catalysée des huiles végétales sont réalisées sous pression atmosphérique [72].

2.2.3.4 L'agitation

L'agitation favorise un bon contact entre les réactifs et homogénéise le milieu réactionnel. Ceci est d'autant plus nécessaire pour la transestérification pour la simple raison que les réactifs ne sont pas totalement miscibles : l'homogénéisation s'avère donc très intéressante pour cette réaction [73].est très important que l'huile et le catalyseur se mélange bien dans une réaction de transestérification [69].

2.2.3.5 Transformation de L'huile

L'huile est le principal composant de la production de biodiesel. Par transestérification. Ce procédé modifie chimiquement la structure du corps gras (huile) à l'aide d'un alcool afin de former des composés de type ester [74].

2.2.3.6 Réaction

La production de biodiesel nécessite un réactif de type alcool (méthanol ou éthanol) ainsi qu'un catalyseur (hydroxyde de potassiumouhydroxydede sodium) pour accélérer la réaction. Le catalyseur est dissous dans l'alcool à l'aide d'un agitateur. Le mélange alcool/catalyseur est ensuite placé dans un réacteur fermé dans lequel on ajoute l'huile. La réaction s'effectue à une température légèrement supérieure au point d'ébullition de l'alcool (environ 70 °C) afin d'en accélérer la vitesse. Le temps de réaction varie entre 1 et 8 heures [13].

2.2.3.7 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 qui se décante dans le bas du récipient. 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 [75].

2.2.3.8 Lavage de biodiesel (Ester)

Le biodiesel est lavé à l'eau chaude trois fois et plus pour éliminer les impuretés telles que le glycérol résiduel, l'excès d'alcool, les traces de catalyseurs, le savon et les sels résultant d'une catalyse homogène.

2.2.3.9 Purification

La purification des esters peut être accomplie par des colonnes de décroissance à la vapeur remplies de lits de résine absorbante sélective ou échangeuse d'ions. L'évaporation flash sous vide garantit également la pureté de l'ester [75].

2.2.3.10 Séchage

Le séchage permet de drainer l'eau présente. Elle est généralement réalisée en chauffant le biodiesel lavé à des températures de séchage élevées pouvant atteindre 140°C. La température dans le procédé catalytique continu est homogène [75].

2.2.3.11 L'effet du biodiesel sur l'environnement et humaine

Le biodiesel fournit toujours des réductions significatives des émissions de particules et de monoxyde de carbone par rapport à l'huile diesel pétrolière. Par conséquent, le biodiesel est un carburant écologique avec de faibles niveaux d'émissions indésirables et est donc considéré comme de manière environnementale. L'utilisation du biodiesel comme carburant alternatif est un moyen de minimiser la pollution de l'air globale et, en particulier, de réduire les niveaux de cancérigènes potentiels ou probables [76].

Les combustibles biodégradables tels que le biodiesel ont une application potentielle croissante et sont respectueuses de l'environnement. Le biodiesel est non toxique et se dégrade environ quatre fois plus rapide que le diesel pétrolier [77]. Le biodiesel possède également de bonnes propriétés de lubrification par rapport à l'huile diesel de pétrole. Ceci est très important pour réduire l'usure du moteur et du système d'injection [78]. D'autre part, il y a des inconvénients pour utiliser le biodiesel comme substitut du pétrole diesel. Le biodiesel est moins stable que l'huile diesel et donc le stockage à long terme (plus de six mois) de biodiesel n'est pas recommandé. Il convient de noter que ces inconvénients sont considérablement réduits lorsque le biodiesel est utilisé dans des mélanges avec de l'huile diesel [79].

2.3 Synthèse de bioéthanol à partir de résidus de dattes

2.3.1 Généralité sur les dattes

2.3.1.1 Définition de dattes

Le fruit des dattes foncées de couleur noire, brune ou jaune ressemble à des baies, de forme allongée et rectangulaire et composé de deux parties :

- Le noyau : est la partie dure et non comestible, qui est la graine de datte
- La pulpe ou chair de datte : La partie molle est la partie molle que nous mangeons et est recouverte d'une fine couche de cellulose appelée épicarpe, et à l'intérieur de la partie molle le noyau est recouvert d'un tissu mou appelé l'endocarpe [80].

La structure et les formes des dattes et leurs couleurs diffèrent selon la variété du climat, la période de maturité et la souche de ce palmier dattier [81].

Les dattes contiennent 65 sucres fermentescibles et convertissent ce sucre, et l'un des avantages des dattes est de conserver relativement leurs sucres [82].

Des matériaux précieux peuvent être produits en transformant ce sucre, qui est présent en grande partie dans les dattes, comme l'éthanol [83].

2.3.1.2 Production des dattes mondial et en Algérie

1) Production des dattes mondiales

La production mondiale de dattes est d'environ 7 millions de tonnes par année et a plus que doublé depuis les années 1980. Cela place la datte au 5^{ème} rang des fruits les plus produits dans les régions arides et semi-arides. D'après la F.A.O (Food and Agriculture Organization), la production mondiale de dattes est estimée à 7.62 millions de tonnes en 2010. Les principaux pays producteurs de dattes les plus importants sont : l'Égypte, l'Iran, l'Arabie Saoudite, les Emirats arabes, l'Irak, le Pakistan et l'Algérie et le Soudan. Selon les données de la FAO, l'Algérie serait le quatrième producteur mondial de dattes. Du point de vue quantitatif, la production algérienne représente 7% de la production mondiale, mais du point de vue qualitatif, elle occupe le Premier rang à la variété Deglet- Nour, la plus appréciée mondialement [84].

2) Production des dattes en Algérie

Le graphe suivant représente l'accroissement de la superficie destinée à la production des dattes entre 2010 et 2017.

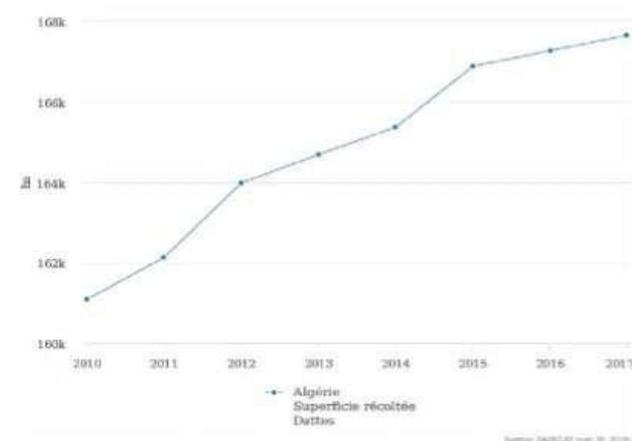


Fig.7 – Production de la datte en Algérie [85]

2.3.1.3 Composition chimique des dattes

La pulpe des fruits de dattes contient de l'eau et des sucres (glucose, fructose et saccharose) dans des proportions élevées entre 65% et 85% et également dans des proportions variables, ils contiennent des saccharides, des protéines et des vitamines.

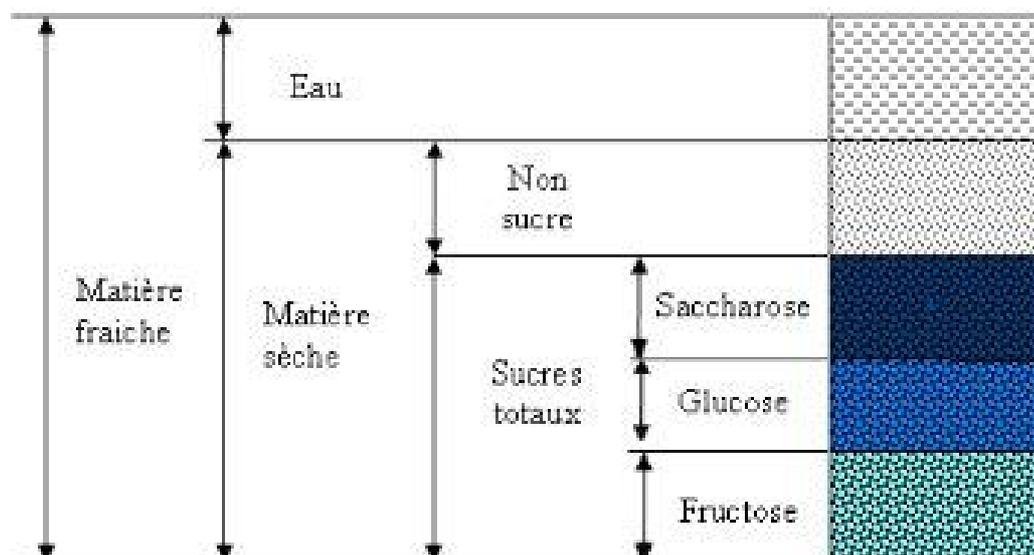


Fig.8 – Composition biochimique de la datte [80]

2.3.2 Productions de bioéthanol par la fomentation

Processus de fermentation à partir de tout matériau contenant le sucre pourrait dériver de l'éthanol [80].

Les matières premières utilisées dans la fabrication d'éthanol par fermentation sont généralement classées en trois principaux types :

- Les sucres par exemple la canne à sucre, betteraves à sucre, mélasse et fruits peuvent être convertis en l'éthanol directement [80].
- Amidons : de maïs, de pommes de terre et racines) doivent d'abord être hydrolysées en sucres fermentescibles par l'action des enzymes du malt ou des moisissures.
- Matières cellulosiques (Amidons Cellulose) : à partir de bois, résidus agricoles, déchets de pâte et les papeteries) doivent également être transformées en sucres, généralement par l'action d'acides minéraux.

Une fois des sucres simples se forment, les enzymes des micro-organismes peuvent facilement les fermenter en éthanol [86].

Au cours de la fermentation alcoolique, les sucres fermentescibles contenus dans le grain sont convertis en éthanol (alcool éthylique) et en gaz carbonique par l'action des microorganismes, principalement des levures [80].

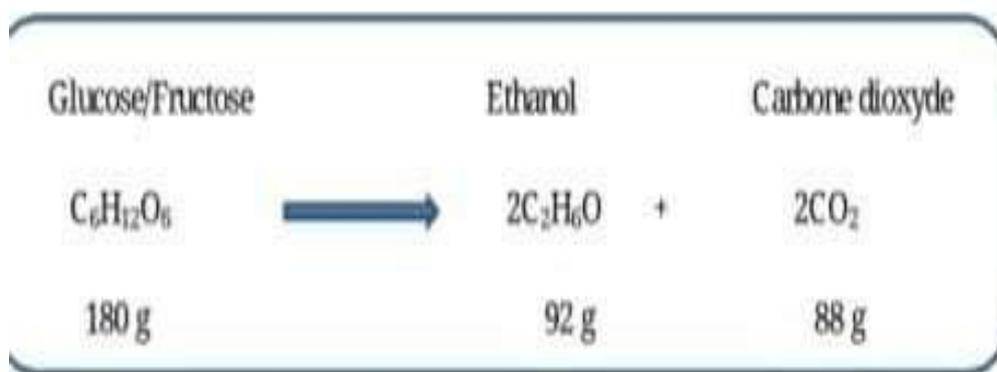


Fig.9 – Réaction de Conversion de glucose en éthanol [87]

a. Microorganismes utilisés dans la fermentation

Dans le processus de fermentation anaérobie de matières organiques pour produire de l'éthanol, nous utilisons des micro-organismes comme [80].

- Les levures.

b. La levure

La levure est un champignon ascomycète ubiquitaire. C'est une levure qui est retrouvée chez l'homme sous forme commensale. Elle est largement utilisée dans l'industrie agroalimentaire pour son rôle dans la fabrication de plusieurs aliments, notamment le pain et les boissons fermentées. Elle est aussi utilisée en tant que supplément nutritionnel et en tant que probiotique [88].

2.3.2.1 Effets de la température et du pH sur la fermentation

Conformément aux lois thermodynamiques la température influence les réactions biologiques. Néanmoins, comme tout organisme vivant, la levure ne peut fonctionner que dans une gamme de température « optimale » et jusqu'à une température critique au-delà de laquelle elle ne peut survivre [89]. Ont réalisé plusieurs cultures de *Saccharomyces cerevisiae* conditions de température contrôlée variant de 27°C à 39°C. Le taux de croissance maximal a été obtenu à une température de 30°C alors que la vitesse spécifique de production d'éthanol maximale a été obtenue à une température de 33°C. Pour des températures supérieures à 30°C, des diminutions de la capacité de croissance et de la quantité finale de biomasse sont observées [80].

Les limites de pH reportées dans la littérature pour maintenir une croissance de la levure *Saccharomyces cerevisiae* se situent entre 2,4 et 8,6, avec un pH optimal entre 4.5 et 5 [90].

Le maintien du pH cytoplasmique est indispensable à la survie de la levure. Ainsi [90] considèrent que le stress éthanolique provoque une chute du pH cytoplasmique, ce qui induit le décès cellulaire ; cette diminution du pH intracellulaire peut être due soit à un influx de protons [91].

2.4 Conclusion

Le biodiesel et le bioéthanol sont tous deux des biocarburants, qui diffèrent en termes de méthodes de production, de propriétés, d'avantages et d'inconvénient.

Chapitre 3

Partie expérimentale

3.1 Introduction

Nous allons essayer dans ce chapitre de porter une contribution expérimentale en la production du biodiesel à partir d'huile de friture usagée et la production de bioéthanol à partir du jus de résidus de datte.

L'huile utilisé dans cette partie est HFU, pour la synthèse du biodiesel il faut faire un mélange entre l'huile usagée (HFU) et l'alcool (méthanol) avec comme catalyseur (KOH ou NaOH) pour favoriser la réaction.

3.2 Synthèse du biodiesel au laboratoire

3.2.1 Matériels et produits chimiques utilisés

Tableau 5 – produits et matériels utilisés

Produits	Matériels
- Huile usagée (HFU)	- Ballon de 500 ml
- Méthanol	- Réfrigérant
- Hydroxyde de potassium (KOH)	- Ampoule a décanté 500 ml
- Hydroxyde de sodium (NAOH)	- Les bécher
- L'eau distillée	- Une balance
	- Une burette
	- Barro magnétique
	- Bain marie
	- Entonnoir
	- Plaque chauffante munie d'un système d'agitation
	- Réfrigérons à reflux ;
	- Spatule
	- Thermomètre
	- Viscosimètre
	- Papier filtre
	- Spectroscopie infrarouge
	- Etuve
	- pycnomètre

3.2.2 Matières premières

- L'HFU a été fournie par un restaurant de la ville de Tissemsilt (Huile Elio formée de 80% tournesol et 20% soja).
- MeOH avec une pureté de 99,8 % et température d'ébullition de 64- 65°C
- Pastilles d'hydroxyde de potassium (KOH) et d'hydroxyde de sodium (NAOH).



**Fig. 10 – L'huile de friture après
Traitement de filtration**



**Fig. 11 – Produits utilisés
Méthanol, KOH et NAOH**

3.3 Protocole expérimental

La synthèse du biodiesel se fait en plusieurs étapes :

3.3.1 Traitement de l'huile

Afin d'éliminer les impuretés et les solides contenus dans l'HFU, celle-ci a été chauffée, puis il a été filtré sous vide, cette étape se réalise à l'aide d'une pompe électrique sous – vide (**fig.13**). La filtration est faite à l'aide d'un papier filtre placé dans l'entonnoir. La filtration de cette huile sur papier filtre prend beaucoup de temps en raison de la viscosité de l'huile. L'opération de filtration est suivie d'un séchage à une température de 100°C afin d'éliminer d'éventuelles traces d'eau.

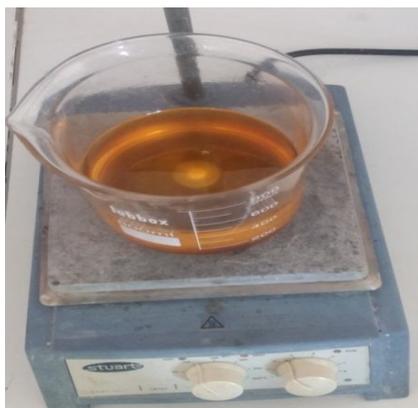


Fig. 12 – chauffage et agitation d'huile



Fig. 13 – Filtration sous vide de HFU

3.3.2 Calcul de la quantité de réactifs

Pour la quantité de l'huile de friture utilisée (280g), nous avons choisi la masse molaire des acides gras qui composent l'huile, et qui est la masse de l'acide linoléique avec une formule chimique $C_{18}H_{32}O_2$.

- Calculer la masse molaire de l'acide linoléique ($C_{18}H_{32}O_2$) où C= 12, H=1, O=16 :

$$M_{\text{acide linoléique}} = (18 \cdot 12 + 32 + 16 \cdot 2) = 280 \text{ g/mol}$$

- La masse molaire de méthanol (CH_3OH) :

$$M_M = 12 + 4 + 16 = 32 \text{ g/mol}$$

Catalyseur



Température

Notre équation (1) : Une mole des triglycérides (TG) réagit avec trois moles de Méthanol pour donner trois moles d'esters méthyliques (MES) et une mole de glycérine (GL)

$$n = m/M \quad (2) \quad \longrightarrow \quad m = n \times M \quad (3)$$

$$M_T = (18 \cdot 12 + 32 + 16 \cdot 2) \cdot 3 = 840 \text{ g/mole}$$

$$M_M = 32 \cdot 3 = 96 \text{ g/mole}$$

$$M_t = M_T + M_M = 96 + 840 = 936 \text{ g/mole}$$

- Calcule de la quantité de méthanol par rapport à la quantité d'huile à prélever :

La fraction massique de méthanol :

$$X_M = m_M / (m_T + m_M) \quad (4)$$

La fraction massique de triglycéride (l'acide linoléique) :

$$X_T = m_T / (m_T + m_M) \quad (5)$$

En diffusion et simplification de la relation (4) nous trouvons relation (6) :

$$m_M = m_T \times X_M / (1 - X_M) \quad (6)$$

Application numérique :

$$X_M = 96 / 936 = 0.102$$

$$X_T = 840 / 936 = 0.897$$

$$m_M = 174 \times 0.102 / (1 - 0.102) = 19.764 = 20\text{g}$$

La quantité de méthanol nécessaire est donc de 20g.

La masse d'huile choisie est 174g, pour le catalyseur (KOH) : 1% de la masse de l'huile.

Donc :

$$174\text{g d'huile} \longrightarrow 100 \%$$

$$m(\text{KOH}) \longrightarrow 1\%$$

$$m = (1\% \times 174 \text{ g}) / 100 \% = 1,74\text{g}$$

$$m(\text{KOH}) = 1,74\text{g}$$

3.3.3 Réaction de transestérification

Tout d'abord, nous avons préparé une solution de méthylate de potassium CH₃OK (MeOH +KOH), en dissolvant le catalyseur(KOH) dans un bécher sur un agitateur magnétique jusqu'à ce que la KOH soit complètement dissoute.

Après ; Dans un ballon tricol d'une capacité de 500 ml, auquel est adapté un réfrigérant, un thermomètre, La quantité nécessaire d'huile (HUF) est chauffée à la température désirée sous agitation magnétique. La température étant stabilisée, une solution de méthylate de potassium CH_3OK ($\text{MeOH} + \text{KOH}$) préalablement préparée est ajoutée à l'huile sous agitation.

La température de réaction est maintenue de $60\text{ }^\circ\text{C}$ pendant une durée d'une heure.

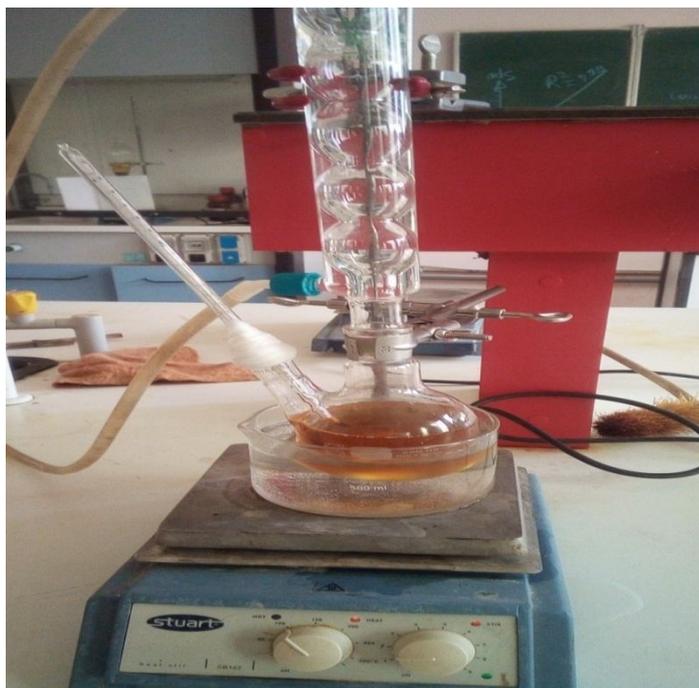


Fig. 14–Montage expérimentale de transestérification

3.3.4 Décantation

En fin de réaction, le produit de la réaction de transestérification est transféré dans une ampoule à décanter afin de séparer le glycérol du biodiesel, La décantation s'effectue au cours de 24 heures de temps afin d'atteindre l'équilibre.



Fig. 15– Décantation après 24h du produit préparé après trasterification



Fig. 16 – séparation du biodiesel

3.3.5 Lavage

Le biodiesel est lavé plusieurs fois avec de l'eau distillée préchauffer à moins de 60 °C afin de neutraliser le catalyseur (pH neutre) et d'éliminer le MeOH en excès.

La mesure de la valeur du pH de l'eau distillée est prise avant et après lavage du biodiesel.



Fig. 17 – lavage de biodiesel

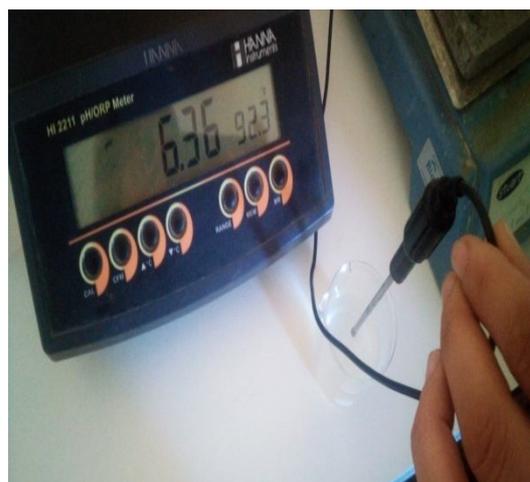


Fig. 18 – Mesure du pH de l'eau distillée

3.3.6 Filtration

A l'aide d'un entonnoir muni d'un papier filtre, l'opération de filtration du biodiesel est utile pour éliminer les résidus de glycérine en suspension.



Fig. 19 – Filtration du biodiesel

3.3.7 Séchage

Le biodiesel obtenu peut contenir des traces d'eau due à l'opération de lavage, il a été donc séché à une température de (105°C) pendant 1h et 30 min pour éliminer l'eau qu'il contient.



Fig. 20 – Séchage du biodiesel



Fig. 21 – Produit final : le biodiesel

La synthèse du biodiesel a été répétée pour différents pourcentage du catalyseur.

Les expériences réalisées sont résumées dans le tableau suivant :

Tableau 6 – Quantités des réactifs utilisés

Expérience	N°1	N°2	N°3	N°4	N°5	N°6
Type de catalyseur	KOH	NaOH	KOH	NaOH	KOH	NaOH
m(g) de catalyseur	1,74	0,5	3	1	4	1,5
m(g) de méthanol	20	20	50	50	75	75

3.4 Les analyses effectuées sur l'huile et le biodiesel

La densité, la viscosité et Spectroscopie infrarouge (IR) du biodiesel sont mesurées de la même manière que l'huile.

3.4.1 La densité

Principe

Le principe est basé sur la mesure de la masse, à température ambiante d'un volume de corps gras contenu dans le pycnomètre préalablement étalonné à la même température.

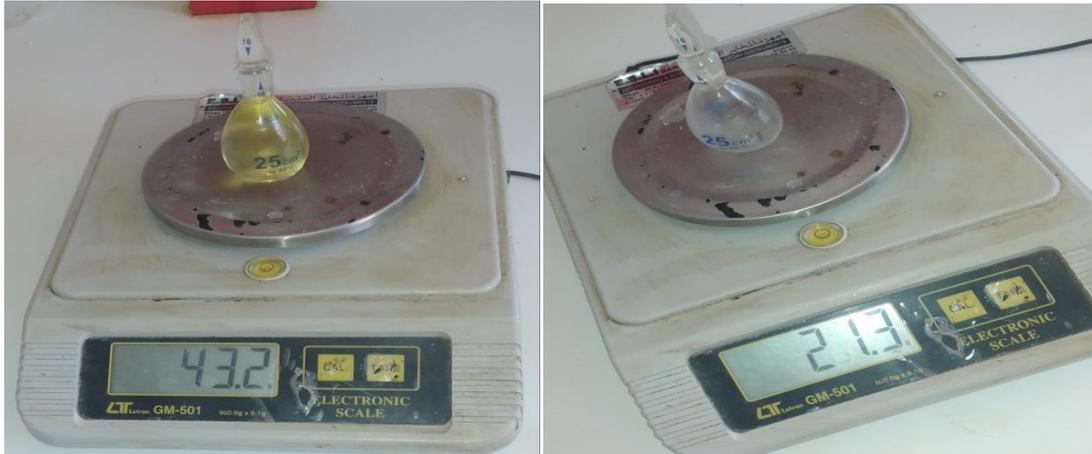


Fig.22– Mesure de la densité à l'aide de Pycnomètre

La densité de biodiesel produit est calculée selon la formule suivante :

$$D = \rho_{\text{biodiesel}} / \rho_{\text{eau}} \quad (7)$$

$$\rho_{\text{biodiesel}} = m / v \quad (8)$$

On a : $\rho_{\text{eau}} = 1 \text{ g/cm}^3$

$$m = M_L - M_v \quad (9)$$

Avec :

$\rho_{\text{biodiesel}}$: La masse volumique du biodiesel

ρ_{eau} : La masse volumique d'eau

D : La densité de biodiesel

M_v = poids en gramme du pycnomètre vide (22,3g).

M_L = poids en gramme du pycnomètre rempli de biodiesel.

v = volume en cm^3 du pycnomètre vide (25 cm^3).

Mode opératoire

-Peser le pycnomètre vide et noter le M_v .

Nous avons trouvé le M_L dans chaque expérience selon le tableau suivant :

Tableau 7– Valeurs en M_L pour le biodiesel et HFU

Expérience	N°1	N°2	N°3	N°4	N°5	N°6	HFU
$M_L(\text{g})$	43,2	43,7	43,1	43,2	43,2	43,1	43,3

-Peser le pycnomètre rempli de l'HFU ou de biodiesel puis noter la M_L , et calculer la différence de masse m .

-Calcule de la densité.

3.4.2 La viscosité

Principe

Elle est mesurée par le biais d'un viscosimètre rotatif modèle SMART, qui détermine la viscosité d'un fluide à un gradient de vitesse donné.

Le principe de fonctionnement consiste à appliquer une force de mouvement exercé sur un axe central qui est un mobile de taille fixe à vitesse constante. La plage de mesure est déterminée par la vitesse de rotation du mobile, la taille, la forme et le couple torsion du ressort calibré.

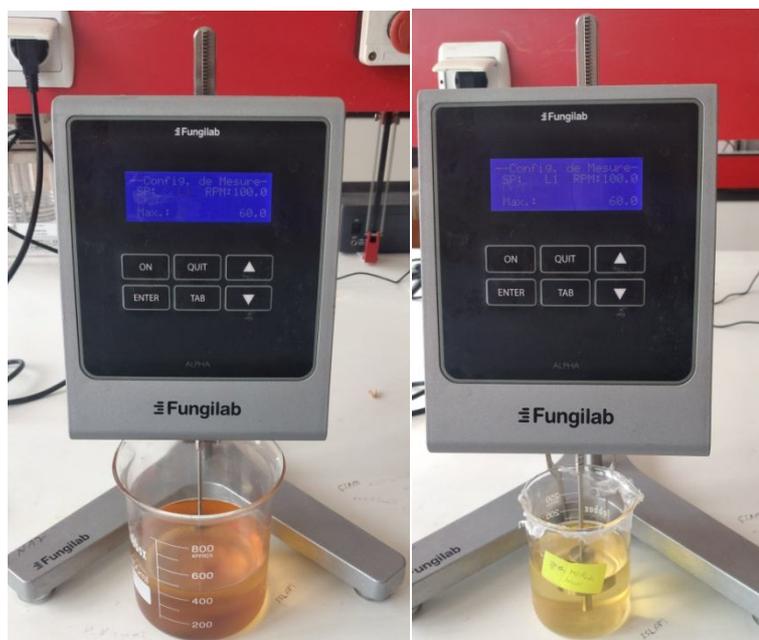


Fig.23 – Mesure de la densité à l'aide Viscosimètre Fungilab

Mode opératoire

L'analyse de la viscosité de l'échantillon s'effectue en plusieurs étapes énumérées comme suit :

- Placer le mobile ainsi que son protecteur sur la partie tournante ;
- Sélectionner le mobile idéal (L1, L2, L3 ou bien L4), la vitesse de rotation (de 100 jusqu'à 0.3 tour/minute) ainsi que la densité ;
- Mettre l'échantillon à tester (huiles, sucre liquide, ou vinaigrette) dans un bécher de 600ml ;

- Vérifier la température de l'échantillon à analyser (24 – 26°C) ;
- Insérer et centrer le mobile dans le produit à tester jusqu'à ce que le niveau de fluide atteigne le repère pratiqué sur la tige.
- Lire la valeur de viscosité affichée sur l'écran.

3.4.3 Analyse spectroscopique d'absorption IR

Principe

La spectroscopie IR est une analyse spectrale qui permet la détermination de type de liaison dans un échantillon donné, Cette analyse est basée sur l'absorption d'énergie dans le domaine spectral infrarouge qui s'étend de 4000 à 400 cm^{-1} .



Fig.24 – Analyse spectroscopique IR du biodiesel

3.4.4 La teneur en eau du biodiesel

La teneur en eau du biodiesel est déterminée par la détermination de la quantité de biodiesel avant et après séchage.

On a :

$$\begin{array}{l}
 \mathbf{m}_{\text{biodiesel av}} \longrightarrow \mathbf{m}_{\text{biodieselap}} \\
 100 \% \longrightarrow \text{biodiesel après évaporation de l'eau}
 \end{array}$$

$$\text{Matière sèche} = (\mathbf{m}_{\text{biodieselav}} \times \mathbf{m}_{\text{biodieselap}}) 100 \% \quad (10)$$

$$\mathbf{H} \% = 100 \% - \text{eau évaporée} \quad (11)$$

Avec :

m_{biodiesel av} : Masse de biodiesel avant évaporation.

m_{biodieselap} : Masse de biodiesel après évaporation.

H % : La teneur en eau.

Matière sèche : biodieselaprès évaporation

3.4.5 Calcule du rendement de synthèse du biodiesel

Le rendement de biodiesel produit est calculé selon la formule suivante :

$$\eta = (\mathbf{m}_{\text{biodiesel}} / \mathbf{m}_{\text{huile}}) \times 100 \% \quad (12)$$

Avec :

η : Le rendement.

m_{biodiesel} : Masse de biodiesel obtenue (g).

m_{huile} : Masse de l'huile (174 g).

3.5 Synthèse du bioéthanol au laboratoire

3.5.1 Matériel et produits chimiques utilisés

Tableau 8 – produits et matériels utilisés

Matériels	Produits
- Ballon de 500 ml	- Farine de dattes
- Entonnoir	- l'eau distillée
- thermomètre	- levure chimique
- Becher	- levure de boulanger
- pH métré	- sucre
- pycnomètre	
- colonne de distillation	
- une balance	
- une burette	
- Agitateur magnétique	
- Barreau magnétique	
- plaque chauffante munie d'un système d'agitation	
- spatule	
- papier filtre	
- spectroscopie infrarouge	
- verre de montre	
- bouteille	
- Erlenmeyer	

3.5.2 Matière végétale choisie :

Dans notre travail, nous avons choisi une variété de dattes communes et de faible valeur marchande pour faire la fermentation alcoolique, nous avons utilisé de la farine de dattes sèche pour faire le jus de datte ensuite l'utilisé pour la production du bioéthanol.



Fig.25 – La farine des dattes

3.5.3 Matière biologique

La levure de boulangerie et la levure chimique sont utilisées pour la fermentation. Elle est conservée dans un endroit frais et sec. Cette souche est utilisée pour la production d'éthanol.

3.5.3.1 Méthodologie de travail

a. Préparation du jus de dattes

Pour la préparation du jus de dattes, nous avons suivi la méthode suivante : une quantité de farine de datte dans une quantité d'eau a été mise en ébullition pendant deux heures avec agitation, le jus obtenu sera utilisé ultérieurement.



Fig.26 – Préparation du jus de dattes

Le processus de fabrication de jus de datte a été répété avec variation de la quantité de l'eau et de la quantité de farine de datte utilisée. Ce processus à de fabrication a été aussi fait avec un jus de datte prêt acheté du commerce (jus 01).

Le tableau représente les différentes variations utilisées :

Tableau 9 – les différents échantillons utilisés pour la préparation du jus

Expérience	N°1	N°2	N°3	N°4	N°5
quantité d'eau (ml)	3000	1800	1800	500	200
quantité de la farine de datte (g) et jus 01(ml)	500 (farine)	300 (farine)	280 (farine)	700 (jus 01)	300 (jus 01)

b. Procédé de la fermentation alcoolique

Après la préparation du jus de dattes, il est laissé refroidir pendant un certain temps, la quantité ainsi préparée a été mise dans un réacteur fermée avec l'ajout d'une certaine quantité de levure pour accélérer le processus de fermentation. Le réacteur est connecté à un tube connecté à une bouteille pleine d'eau, pour nous indiquer le déroulement du processus de fermentation et sa fin. Le processus de fermentation dure entre 10 à 15 jours à une température entre 34 et 36°C. Après 24 heures du lancement de l'opération, on remarque le commencement de dégagement des bulles de gaz carbonique. L'arrêt de dégagement de dioxyde de carbone indique la fin de l'opération de fermentation. L'opération de fermentation a été faite avec divers cinq quantité de levure différentes en changeant le type de levure utilisée.

Où le tableau suivant représente la quantité et la qualité de la levure utilisée dans chaque expérience :

Tableau 10 – la quantité et la qualité de la levure

Expérience	N°1	N°2	N°3	N°4	N°5
Qualité de levure	Boulangier	Boulangier	Chimique	chimique	Chimique
Quantité de levure (g)	20	15	20	15	20



Fig. 27 – Procédé de la fermentation

a. Distillation alcoolique

A la fin de la fermentation, le liquide de dattes fermenté obtenu est distillé afin d'extraire l'éthanol. La température de distillation est de l'ordre de 78C °.



Fig. 28 – la procédure de distillation

3.5.3.2 Techniques analytiques

a) Détermination du pH

La détermination du pH est essentielle, avant et au cours de la fermentation. La détermination du pH s'effectue par une lecture directe à l'aide d'un pH- mètre.

b) Détermination de la densité

La densité est le rapport entre la masse d'un corps et celle d'un même volume d'eau (densité de l'eau = référence = 1). La densité a été déterminée en utilisant un pycnomètre de capacité 25 cm³.

La densité de bioéthanol produit est calculée selon la formule suivant :

$$D = \rho_{\text{bioéthanol}} / \rho_{\text{eau}} \quad (13)$$

$$\rho_{\text{bioéthanol}} = m/v \quad (14)$$

$$\rho_{\text{eau}} = 1 \text{ g/cm}^3$$

$$m = ML - Mv \quad (15)$$

Avec :

$\rho_{\text{bioéthanol}}$ = la masse volumique de bioéthanol.

ρ_{eau} = la masse volumique d'eau.

ML = poids en gramme de pycnomètre rempli de bioéthanol.

Mv = poids en gramme de pycnomètre vide.

D = la densité de bioéthanol.

v = volume en cm^3 du pycnomètre vide (25cm^3).



Fig. 29–Mesure de la densité à l'aide de Pycnomètre

c) La spectroscopie (IR)

La spectroscopie (IR) est une analyse spectrale qui permet la détermination de type de liaison dans un échantillon donnée, cette analyse est basée sur l'absorption d'énergie dans le domaine spectral infrarouge qui s'étend de 4000 à 400 cm^{-1} .



Fig. 30–Analyse spectroscopique IR du bioéthanol

d) Le rendement

Le rendement de bioéthanol produit est calculé selon la formule suivant :

$$\eta = (m_{\text{bioéthanol}} / m_{\text{jus}}) * 100 \quad (16)$$

Avec :

η : rendement

$m_{\text{bioéthanol}}$: Masse de bioéthanol obtenu (g)

m_{jus} : Masse de jus (g)

3.6 Résultats et discussion

3.6.1 Biodiesel

Après avoir terminé la préparation du biodiesel à partir HFU, nous avons étudié ses caractéristiques en termes de densité, de viscosité, d'analyses infrarouges (IR), puis nous l'avons comparé aux caractéristiques de HFU, du pétrodiesel, et des normes européennes.

3.6.1.1 Les résultats de densité et de viscosité

Le tableau suivant résume les résultats de densité et de viscosité.

Tableau 11 – Comparaison des caractéristique du biodiésel préparé avec le pétrodiesel, HFU, les normes européennes en termes de densités et de viscosité

Composant	Viscosité (mm ² /s)	Densité	M _L (g)	
HFU	31,4	0,92	44,3	
Pétrodiesel	3,06	0,820-08,50	/	
EN 14214	3,5-5,0	0,860-0,900	/	
Biodiesel	ExpérienceN°1	4,3	0,876	44,2
	ExpérienceN°2	4,9	0,896	44,7
	ExpérienceN°3	3,37	0,872	44,1
	ExpérienceN°4	3,58	0,876	44,2
	ExpérienceN°5	3,34	0,876	44,2
	ExpérienceN°6	4,20	0,872	44,1

A travers les résultats obtenus (**Tableau 12**), nous avons constaté que le biodiesel produit à partir HFU en laboratoire a presque les mêmes caractéristiques que le pétrodiesel, en particulière en termes de densité et de viscosité, et On remarque que la densité, la viscosité se trouvent dans l'intervalle fixé par les normes Européennes ce qui prouve que le biodiesel produit est valable pour l'utiliser comme carburant.

3.6.1.2 Les résultats d'analyses infrarouges (IR)

Des analyses infrarouges ont été effectuées sur les échantillons de biodiesel obtenus dans un Analyseur de spectres (IR). Les résultats sont présentés sur les figures suivantes :

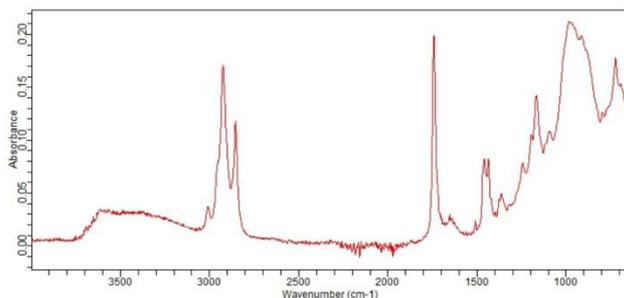


Fig. 31 – Spectre IR du biodiesel produit dans la 1^{er} Expérience en présence de KOH

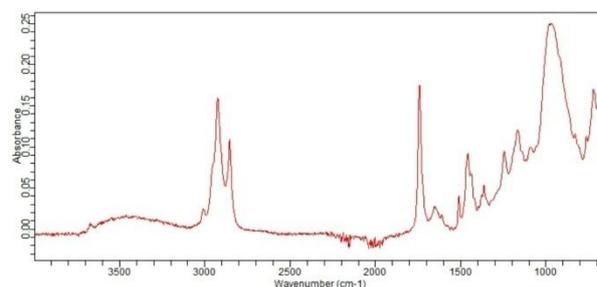


Fig. 32 – Spectre IR du biodiesel produit dans la 2^{em} Expérience en présence de NaOH

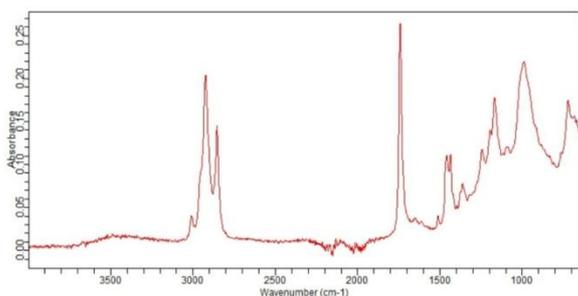


Fig. 33 – Spectre IR du biodiesel produit dans la 4^{em} Expérience en présence de KOH

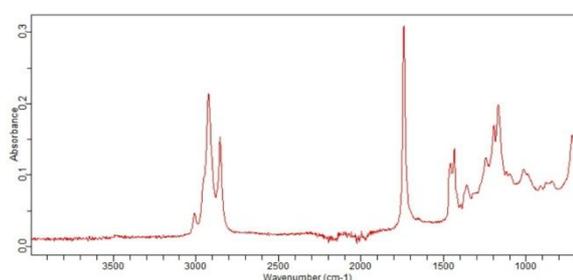


Fig. 34 – Spectre IR du biodiesel produit dans la 3^{em} Expérience en présence de NaOH

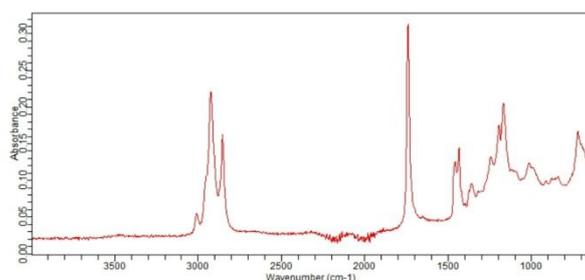


Fig. 35 – Spectre IR du biodiesel produit dans la 5^{em} Expérience en présence de KOH

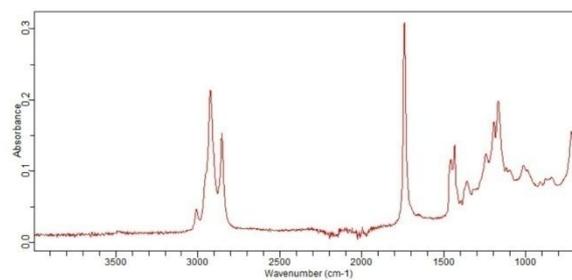


Fig. 36 – Spectre IR du biodiesel produit dans la 6^{em} Expérience en présence de NaOH

A travers ces figures, nous constatons que les vibrations des analyses du spectre de(IR) dans les 6 expériences sont à peu tous similaires, nous les résumons dans le tableau suivant :

Tableau 12 – Groupements fonctionnels et vibration de spectre IR du biodiesel

Biodiesel	
Groupement Fonctionnel	Vibration (Cm⁻¹)
CH	3000
CH₂	2950
CH₂	2850
C-O	100-1500
C=O	1750

3.6.1.2.1 Discussion spectre d'IR obtenu par le biodiesel

- Une vibration de valence entre 2800-3000 Cm⁻¹correspond au groupement C-H.
- Une vibration de valence à1750 Cm⁻¹correspond à l'élongation du groupement C=O preuve d'un ester.
- Une vibration de valence entre 1000-1300 Cm⁻¹correspond à l'élongation du groupement C-O.

3.6.1.3 La teneur en eau de biodiésel

Nous avons déterminé la teneur en eau du biodiésel par la détermination de la quantité de biodiesel avant et après séchage. Les résultats sont résumés dans le tableau suivant (**Tableau 13**) :

On a :

$$\text{Poids du Biodiesel après évaporation} = (\mathbf{m}_{\text{biodieselav}} \times \mathbf{m}_{\text{biodieselap}}) 100 \% \quad (10)$$

$$\mathbf{H} \% = 100 \% - \text{Poids du Biodiesel après évaporation (PBAE)} \quad (11)$$

Tableau 13 – La teneur en eau de biodiésel

Expérience	PBAE	$m_{\text{biodiesel av}}(\text{g})$	$m_{\text{biodieselap}}(\text{g})$	H %
N°1	96,48	65,4	63,1	3,52
N°2	97,93	72,4	70,9	2,07
N°3	98,82	110	108,7	1,18
N°4	98,50	113,1	111,4	1,5
N°5	98,48	145,2	143	1,52
N°6	97,95	161,2	157,9	2,05

Après la transestérification des huiles usagées et la décantation du mélange réactionnel pour éliminer la phase aqueuse ainsi que la glycérine, le produit obtenu on lave à l'aide d'eau distillée. Par conséquent ce lavage provoque une diminution de pH.

Le graphique suivant représente les différences de pH de l'eau de lavage du biodiésel obtenu dans chaque expérience en fonction du nombre de lavages.

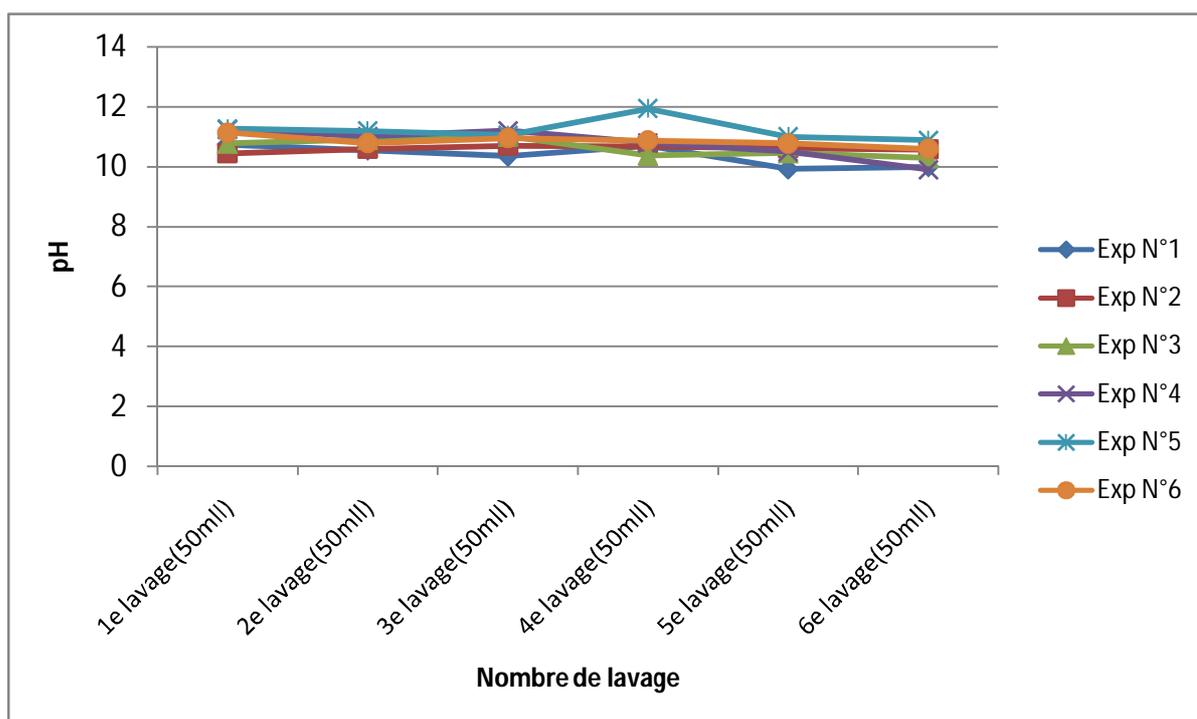


Fig. 37 – Variations de pH en fonction du nombre de lavage

Le graphique (Fig.37) montre une différence dans la diminution du pH de l'eau de lavage du biodiesel dans chaque expérience, où nous remarquons que la valeur la plus élevée pour le 1^{er} lavage dans l'expérience N°5 avec une valeur de 11,27. Et la valeur la plus basse pour le dernier lavage dans l'expérience N°4 avec une valeur de 9,91. Notez que nous avons mesuré le pH de l'eau distillée avant le lavage et quelle était de 5,52.

3.6.1.4 Le rendement

Tableau 14– Rendement de biodiesel dans chaque expérience

Expérience	N°1	N°2	N°3	N°4	N°5	N°6
R%	36	41	62	64	82	91

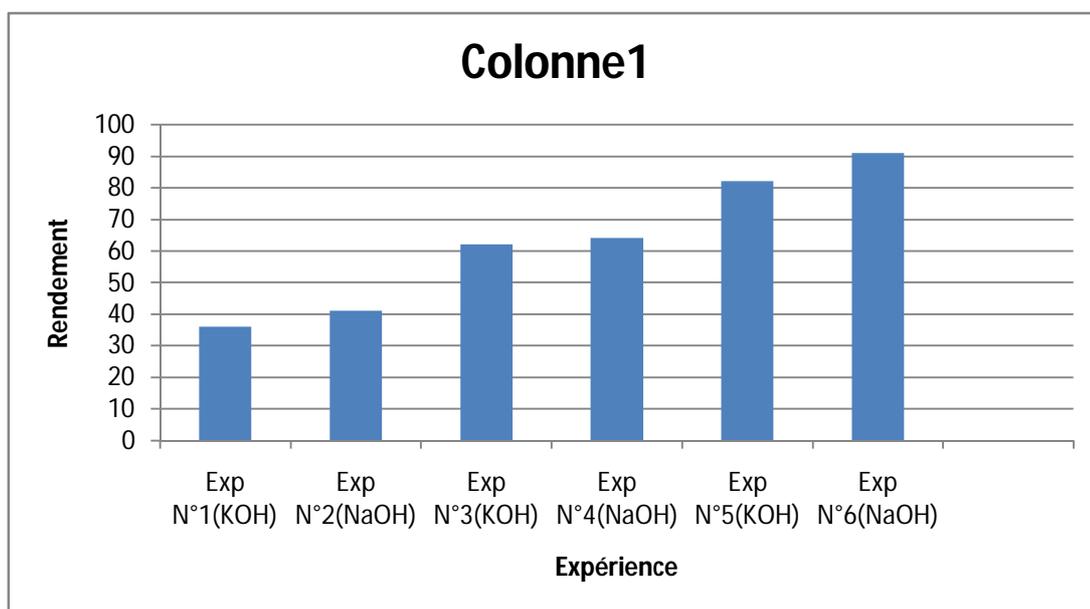


Fig. 38 –Évolution du rendement en biodiesel dans chaque expérience

A travers le (Tableau 14) et le graphique (Fig. 38), Le rendement du biodiesel obtenu à partir de l'expérience que nous avons réalisé est acceptable dans la première et la deuxième expérience. Bon pour la troisième et la quatrième, et très bon pour la cinquième et la sixième expérience.

On note également un écart dans les résultats du rendement du biodiesel en présence de NaOH sont meilleurs en comparaison avec les résultats obtenus en présence KOH, on notant aussi que la différence de rendement n'est pas assez grande.

En conclusion on peut dire que plus la quantité de méthanol et de catalyseur (Tableau 7) dans le processus d'estérification est élevée plus la quantité de biodiesel produite est élevée, et le rendement est meilleur.

3.6.2 Bioéthanol

3.6.2.1 Calcule du rendement

Tableau 15– pourcentage du rendement de bioéthanol

Expérience de	1	2	3	4	5
Bioéthanol					
Rendement (η) (%)	83	91	84	96	95

Les résultats obtenues dans le tableau 16 montre que pour chacune des expériences réalisées les rendements obtenus variés entre 83 à 96%, comme nous remarquons dans les trois premières expériences de production de bioéthanol avec le jus préparé par la farine de datte que le rendement est bon est assez proche du rendement du bioéthanol produit à partir du jus de datte du commerce et cela prouve qu'il est possible de s'appuyer sur la production de bioéthanol produit à partir de jus de farine de datte préparé et peu couteux, sans l'utilisation de jus de datte acheter du commerce.

3.6.2.2 Détermination de pH

Tableau 16 –L a valeur de pH du jus de datte et du bioéthanol

Expérience	1	2	3	4	5
pH de jus	4.34	4.47	5.21	5.35	4.96
pH de bioéthanol	5.60	5.03	5.27	6.21	6.26

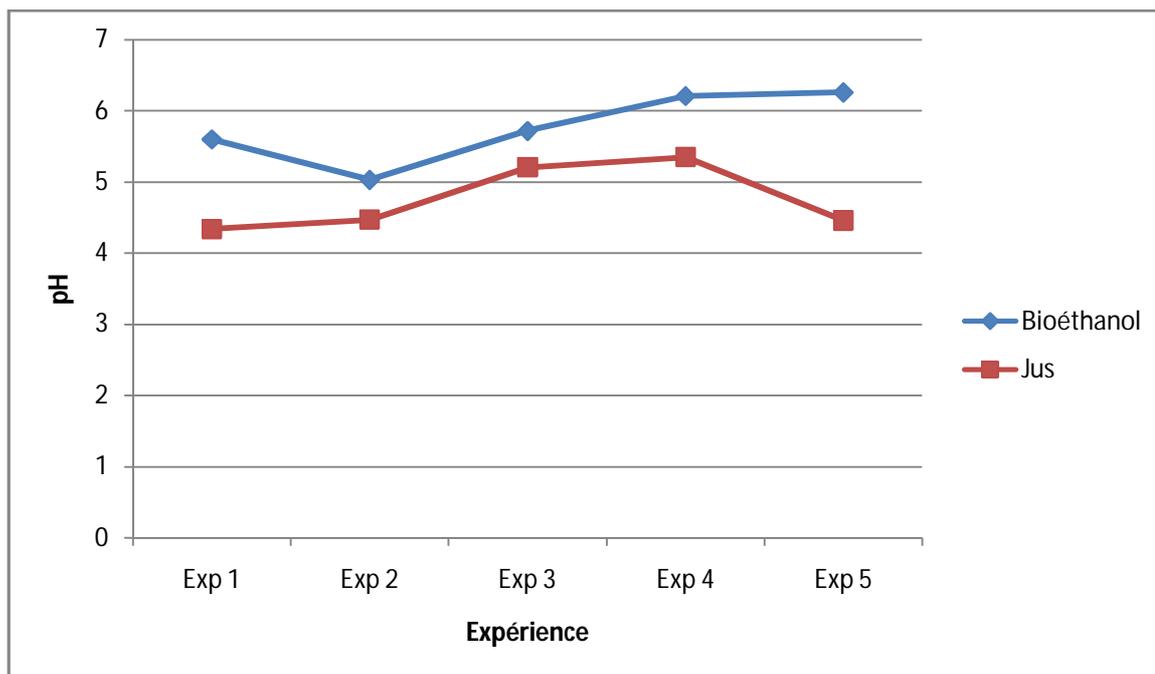


Fig. 39 –Variations de pH dans le jus et le bioéthanol en fonction du nombre de expérience

Le tableaux représente les changements de pH pour les jus de dattes avant fermentation dans les cinq expériences, où nous notons que dans chaque expérience, le pH était acide et avait une valeur qui varié entre 4.2 et 5.3, cette valeur de pH diminuait dans le produit d'éthanol correspondant après distillation.

3.6.2.3 Détermination de densité

Tableau 17 – Densité de bioéthanol a chaque expérience

Expérience	1	2	3	4	5	
						Jus 01
Densité	0,868	0,982	0,848	0,908	0,9884	1,0342

La courbe représente les changements de densité du bioéthanol obtenu après la fermentation dans les cinq expériences réalisées, où la valeur de la densité de jus de dattes était très proche de la densité du bioéthanol obtenu.

3.6.2.4 Les résultats d'analyses infrarouges (IR)

Les analyses infrarouges réalisées sur les échantillons de bioéthanol préparé sont représentés sur les figures suivantes :

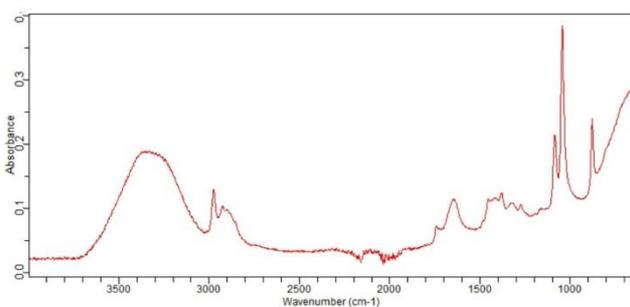


Fig. 40–Spectre IR du bioéthanol produit dans la
La 1^{er}Expérience

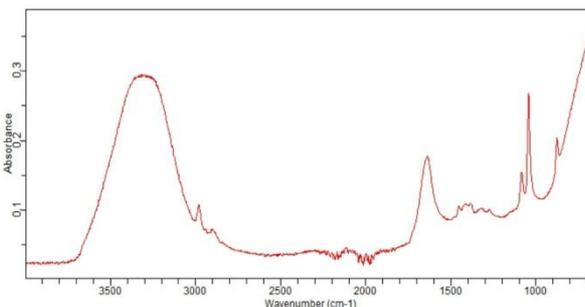


Fig. 41–Spectre IR du bioéthanol produit dans
La 2^{em} Expérience

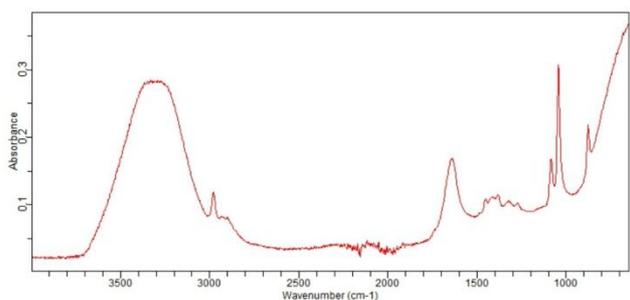


Fig. 42–Spectre IR du bioéthanol produit dans
La 3^{em} Expérience

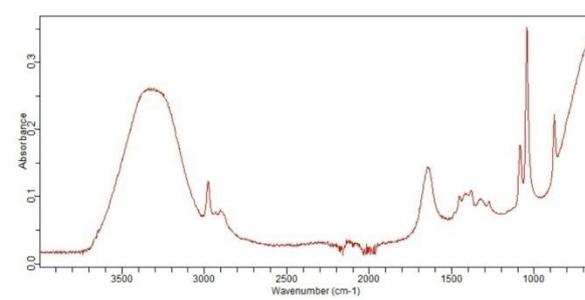


Fig. 43–Spectre IR du bioéthanol produit
dans la 1^{em} Expérience

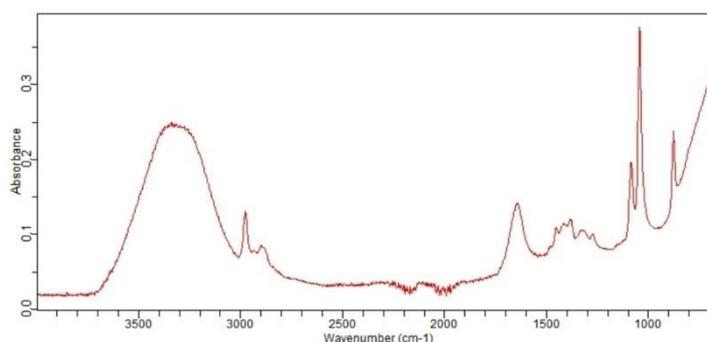


Fig. 44–Spectre IR du bioéthanol produit dans la 5^{em} Expérience

A travers ces figures, nous constatons que les vibrations des analyses du spectre de(IR) dans les 5 expériences sont similaires, et sont représentées dans le tableau suivant :

Tableau 18 – Groupements fonctionnels et vibration de spectre IR du bioéthanol

Bioéthanol	
Groupement fonctionnel	Vibration (Cm⁻¹)
O-H	2500-3800
C=C	1650
C-O	1000-1100

3.6.2.4.1 Discussion spectre d'IR obtenu par le bioéthanol

- Une vibration de valence entre 2500-3800 cm⁻¹ correspond à la présence d'un groupement O-H.
- Une vibration de valence à 1650 Cm⁻¹ correspond à l'élongation du groupement C=C.
- Une vibration de valence entre 1000-1100 Cm⁻¹ correspond à l'élongation du groupement C-O.

Conclusion Générale

Conclusion Générale

Conclusion Générale

Le biodiesel et le bioéthanol sont les deux types d'énergie alternative renouvelable promis après le pétrole.

L'utilisation des huiles de cuisson usées comme matière première présente des avantages économique et environnemental considérables. En effet, leur valorisation en biodiesel permet d'une part de diminuer le coût de production de ce biocombustible puisque le prix d'achat de l'huile usée est beaucoup moins élevé que celui de l'huile végétale et d'autre part d'éviter leur déversement dans le réseau d'assainissement

En ce qui concerne les dattes, c'est une riche richesse dont jouit le désert algérien. La valorisation de ce type de dattes dans la production de bioéthanol permet de réduire le coût de sa production.

Le biodiesel est un mélange d'esters d'acide gras obtenu par la réaction de transestérification des triglycérides. Cette réaction est réalisée par exemple avec du MeOH 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 ou NaOH) en présence du Méthanol (CH₃OH). Nous avons produit du biodiesel par trans-estérification avec de l'huile de friture (174 g) en présence de méthanol par un catalyseur basique.

Le processus a été répété plusieurs fois à chaque fois que nous avons changé le type et la quantité de catalyseur et la quantité de méthanol utilisée, et nous avons obtenu un rendement différent dans chaque expérience, où nous avons conclu que plus quantité de catalyseur et d'éthanol dans le procédé était élevée, Meilleur était le rendement. Dans la dernière expérience, nous avons obtenu un rendement de 91 % en présence de 75 g de méthanol Pour 1,5g de NaOH.

Nous avons produit du bioéthanol par le processus de fermentation en utilisant le jus de dattes que nous avons préparé à partir de farine de dattes en présence de levure. Chaque fois, nous avons changé le type de levure (chimique ou boulange) et la quantité de jus de farine de dattes, et à la fin, nous avons changé le jus préparé avec du jus prêt à l'emploi acheter du commerce pour faire une comparaison. Nous avons obtenu un bon rendement dans toutes les expériences réalisées, de 83% à 95%.

Cette étude ouvre des perspectives pour d'autres études futures, notamment :

- Valoriser les huiles de restauration en Algérie et les convertir en biodiesel.
- Exploitation des résidus de dattes en Algérie et leur conversion en bioéthanol

Bibliographie

- [1]HADJADJ, M.L., 2017. Production du biodiesel par transestérification de l'huile de graine de coton. Mémoire de Magister Académique en Chimie. Université KasdiMerbah d'Ouargla : Faculté de Mathématiques et Sciences des Matériaux;
- [2]CHIBI, S., EL-HADI, D., 2018. LA BIO- PRODUCTION DE L'ÉTHANOL Á PARTIR DE DECHETS DE DATTES : EFFET DE L'INCORPORATION DES CENDRES DU NOYAU DE DEGLET-NOUR SUR LE RENDEMENT. Laboratoire d'Analyse Fonctionnelle des Procédés Chimiques, Département de génie des Procédés, Faculté de Technologie, Université de SAAD DAHLAB Blida 1 BP 270 - 09000 Blida Algérie. 8(2), p 684_694;
- [3]Wertz, J-L., 2010. Une étude sur Le bioraffinage out valorisation optimale de la biomasse, ValBiom, Belgique;
- [4]HANTSON, A., THOMAS, D., 2010. Enjeux technologiques et écologique majeurs des biocarburants. Congrès français de thermique, Rue de l'épargne, 56-7000 Mons, Belgique;
- [5] VALLEE, J., BECHAGHEL, R., 2008. Biocarburants de deuxième génération, institut national de pétrole France. <http://eerig.efpg.fr/mémoire/2008/biocarburan.htm>;
- [6]Lettre de politique agricole de la CMA/AOC (LEPAC), 2007. Développement des biocarburants et formulation des politiques agricoles futures Afrique de l'ouest et du centre, http://www.unido.org/fileadmin/user_media/UNIDO_Header_Site/Subsites/Green_IndustryAsiaConference_Maanila/GC13/Africain_Ministères_Agriculture_FR.pdf;
- [7] LAURENT, P., ROIZ, J., WERTZ, J_L., 2011, .Biotechnol. Agron. Soc. Environ. 15(4), p 567_610;
- [8]PIERRE, P., 2011. Biocarburants de deuxième génération : ou en est la recherche? Institut français de pétrole;
- [9]BOZELL, J.J., PETERSEN, G.R., 2010. Technology development for the production of biobased product from biorefinery carbohydrates-the use department of Energy's « Top 10 » revisited. Green Chem., 12, 539-554 ;
- [10]BALLERINI, D., 2006. Les biocarburants état des lieux, perspective et enjeux du développement ; Edition technique, Paris. Imprime en France ; ISBN 2-7108-0869-2 ;
- [11]NIKIEMA, J., HEITZ, M., 2008. Le biodiesel ; caractéristique, a toutes et limites, Rev.Can.génie civ. 35 ; 95-106, CNRC Canada;
- [12] ASTM Standard specification for biodiesel fuel (B100) blende stock for distillatfuels., 2008. In: Annual Book of ASTM Standards, ASTM International, West Conshohocken, Méthode D6751-08;
- [13]La production de biodiesel à partir de cultures oléagineuses, 2008. Publication n° EVC 031 Centre de référence en agriculture et agroalimentaire du Québec, pp 26-28;
- [14]FEMANDO, S., KANA, P., HEMANDEZ, R et JHA, S.K., 2007. Effect of incompletely converted soybean oil on biodiesel quality.Energy, volume 32, p.844-851;

- [15]KNOTHE, G.; KRAHL, J., VAN GERPEN, J., 2005.Voyo biodiesel The biodiesel handbook AOCs Press, Champaign Illinois USA. pp.81-82;
- [16]KNOTHE, G.; VAN GERPEN, J.; KRAHL, J., 2005a.C tan numbhoombu on why vegetable oil and h derivativuitable as diel, thebiodiesel handbook, AOCs Press, Campaign Illinois USA.pp.72-80;
- [17]National renvereble Energy laboratory, 2009.Biodiesel handling and use guide. pp.1-56;
- [18]KHIARI, K., 2016. Contribution à l'étude des propriétés thermo-physiques des biocarburants de seconde génération et leur influence sur le comportement des moteurs. Génie des procédés. Ecole des Mines de Nantes, Français ;
- [19]MIAO, X., ET WU, Q., 2006. Biodiesel production from heterotrophic microalgaloil.Bioresource technology, volume 97, n° 6, p.841-846;
- [20]MbuyiKatshiatshia, H., Tumuinimo, Ch., Mbanza, H., SUMUNA, V., TUAKASHIKILA, Y., 2018. Physicochemical Characterization of a Biodiesel Produced from Oil Extract from the Pulp of Raffia Sese de Wild Collected in Democratic Republic of Congo.Journalaméricain de recherchescientifique pour l'ingénierie, la technologie et les sciences,volume 44. N° 1.pp.89_102;
- [21]ALLOUNE, R., LIAZID, A., ET TAZEROUT, M., 2012. Etudes comparatives de deux plantes oléagineuses locales pour la production du biodiesel en Algérie .Revue des Energies Renouvelables SIENR'12 Ghardaïa, p.19 – 22;
- [22]SARY, A., 2011. « THÈSE DE DOCTORAT: Contribution à l'étude de la valorisation Énergétique des résidus graisseux et de leur combustion dans les moteurs à combustion interne», Ecole polytechnique de l'Université de Nantes;
- [23]SEREGIN, E.P., BUGAI, V.T., MAKAROV, A.A., SARANTIDI, P.G., et SKOVORODIN, G.B., 1975. Lubricity of diesel fuels. Chemistry and Technology of Fuels and Oils, volume 11, numéro 5, p.360-363;
- [24]AMBAT, I., SRIVASTAVA, V., SILLANPAA, M., 2018. Renew Sustain Energy Rev. 90, 356- 369;
- [25]SINGH, D., SHARMA, D., SONI, S.L., SHARMA, S., SHARMA, P.K., JHALANI, A., 2020. Fuel 262, 116553;
- [26]REZANIA, S., ORYANI, B., PARK, J., HASHEMI, B., YADAV, K.K., E. E. Kwon, E.E., 2019. J. Hur, J. Cho, Energy ConverseManage. 201, 112155;
- [27]MOSER, B. R., 2009. Biodiesel production, properties, and feed stocks.The society for in vitro biology, p 229-266;
- [28]Walker, G. M., 2010. Bioethanol: Science and technology of fuel alcohol, Vents PublishingApS ISBN 978-87-7681-681-0.114. 114 p.

- [29]SADI, M.,2012. Le bioéthanol : une véritable alternative pour une énergie propre. Revue Recherche et Développement N° 25;
- [30]Benaouida, K., 2008. étude de l'alpha amylase de levures isolées d'un écosystème extrême (sol environnant des sources thermales) et cultivées dans un milieu à base de Lactosérum. Mémoire de magistère. Université mentouri Constantine. Algérie, 104p ;
- [31]Nadhim, D.J., 1982. 'Producyion d'éthanol à partir des Sucres de Dattes', Séminaire sur les Datte,pp.115-130, 4-5 Décembre, Bagdaf, Irak;
- [32]De Miniac, M., 1988. Conduit des atelier de fermentation alcoolique de produits sucriers (mélasse et égouts) .Ind. Aliment. Agric Juillet/Aout,p.675-688 ;
- [33]Aldigui, A.S., Alfenore, S., Sameleyre,S., Goma, G., Uribelarrea,J.L., Guillouet, S.E., Mollina-jouve, C., 2004. Synergistic temperature and ethanol effect on *Saccaromyces cervisiae* dynamic behavior un ethanol bio-fuel production ,*Bioprocess Bioys T.Eng* .26p. 217-222 ;
- [34] Kacimi , M.M., 2008. Analyse du secteur de l'éthanol Selon Les Principes du développement durable ,*MemImg . Envi .,Sherbooke, Canada, p76 ;*
- [35]TOUZI, A., AZBBES, Y.,1988. 'Avant-projet de Réalisation d'Unité de Production de Bioalcool dans les Wilayas de Biskra, Adrar et Ghardaia', Rapport Intern, Lab. Biotech;
- [36]<file:///C:/Users/Hp/Downloads/Documents/De-voordelen-van-bio-ethanol.pdf>;
- [37]<https://www.assurancesclavel.com/actualites/avantages-et-inconvenients-du-bioethanol/>;
- [38]CODEX ALIMENTARIUS, 1993. Avant-projet de norme pour les huiles végétales portant un nom scientifique. Compréhension des mécanismes des maladies et potentiel thérapeutique. Actualité en chimie, Annexe V ; N°270,pp108-115 ;
- [39]CUVELIER, ME., MAILLARD, MN., 2012. Stabilité des huiles alimentaires au cours de leur stockage. OCL Volume 19, Numéro 2, p. 125-132;
- [40]Berna, H., 2009. Transestification des huiles végétales par l'éthanol en conditions douces par catalyses hétérogènes acide et basique. Thèse de Doctorat. Université Claude Bernard - Lyon I, France;
- [41]Takase, M ., Zhao, T ., Zhang, M ., Chen, Y ., Liu H. ., Yang, L., Wu, X., 2015. An expatiated review of neem , jatropha, rubber and karanja as multipurpose non-edible biodiesel resource and comparison of their fuel , engine and emission properties. *Renew Sustain. Energy Rev.* 43, 495-520.
- [42]Anwar, M., Rasul, M.G., Ashwath, N., Nabi, M.N., 2019. *Energy Rep.* 5, 280-297;
- [43]Veljković, V.B., Biberdžić, M.O., Banković-Ilić, I.B., Djalović, I.G., Tasić, M.B., Nježić, Z.B., Stamenković, O. S., 2018. *Renew. Sustain. Energy Rev.* 91, 531-548;

- [44]PRYDE E.H. 1982 .Vegetable oil standards. In: Proceedings of the International Conference on Plant and Vegetables Oils as Fuels, Fargo, USA, , (ASAE Publication, 4-82), Saint-Joseph: ASAE . p.101-105;
- [45]DALLEMAGNE. G., 2003. Fluides hydrauliques méthodes d'analyses. Transmission de puissance hydraulique et pneumatique. Techniques de l'ingénieur ;
- [46]Stansell, G. R, Gray, V.M. et Sym, S.D. 2012. Microalgalfattyacid composition: implications for biodiesel quality. Journal of Applied Phycology, volume 24, numéro 4, p.791-801 ;
- [47]KOULIDIATI, J. VAITILINGOM, G., 2000. Contribution a l'étude des conditions optimales de combustion des huiles végétales dans les moteurs diesel et sur les brûleurs : cas de l'huile de coton.PP51-55 ;
- [48]BERNA, H., 2009. Thèse Diplôme de doctorat préparée à l'Institut de Recherche sur la Catalyse et l'environnement de Lyon, Université Claude Bernard Lyon. Transestérification des huiles végétales par l'éthanol en conditions douces par catalyses hétérogènes acide et basique. Autre. Université Claude Bernard - Lyon I, 2009. Français. NNT: 2009LYO10271.PP.23_24 ;
- [49]Denis J., Briant J., Hipeaux J-C. 1997. Physico-chimie des lubrifiants Analyses et essais, Ed Technip, Paris. 423 p ;
- [50]Cisse M.L, 2010. « Caractérisation d'huiles vegetales brutes issues d'oléagineux de l'Afrique de l'ouest comme carburant », Institut International d'Ingénierie l'Eau et de l'Environnement ;
- [51]SRIVASTAVA, A., PRASAD, R., 2000. Triglyceride-Based diesel fuels, Renewable and Sustainable Reviews, 4. P.111-133 ;
- [52]Guide de recommandations à l'usage des conseillers des entreprises. 2007, Gestion des eaux usées issues des métiers de bouche, CNIDEP (Centre National d'Innovation pour le Développement durable et l'Environnement dans les Petites entreprises) ;
- [53]DIAKITE, S., 2015. Demande de sortie du statut de déchet des huiles alimentaires usagées pour des usages en chaudière d'une puissance supérieure à 100 kW. Rapport d'étude. France. p21;
- [54]MOSSE,M.,et WILLEMOT,A.,2021.DE LA FRITURE À LA POMPE .Sous la direction de Denis STOKKINK .pour la solidarité Europeanthinktank& do tank.34p ;
- [55]Fillieres , R., 1995.Université Claude Bernard-Lyon1;
- [56]DOBARGANES, C., 1998. Formation and analysis of high molecular-weight compound in frying fats and oils. OCL, Vol. 5, n°1, p. 41-47;
- [57]Melton, S., Jafar, S., Sykes, D., Tigrano, M., 1994. Review of stability measurements for frying oils and fried food flavour. Oil Chemical Society, p1301-1308;
- [58]Blumenthal, M., 1997. The science and technology of frying. Food Technology International, p 69- 70;

- [59]Stevenson, S.G., VaiseyGenser,M., Eskin, N.A.M.,1984. Quality control in the use of deep frying oils. J. Am. Oil Chem. Soc., 61, p. 1102-1108;
- [60]Moazeni, F. Chen, Y. C. Zhang, G., 2019. Clean. Prod. 216, 117-128;
- [61]Cavonius, L.R., Carlsson, N.G., 2014. I. Undeland, Anal Bioanal. Chem. 406(28), 7313-7322;
- [62]Wong, K.Y., Jo-Han, N., Chong, C.T., 2019. Chong, Renew. Sustain. Energy Rev. 116, p.109399;
- [63]Curto, J.W., Giambrone, M.D., MacGrogan, A.S., Williamson, G.H., 2015. A comparative analysis of biodiesel and diesel emissions ;
<http://www.wpi.edu/academics/ugradstudies/project-learning.html>.
- [64]BALLERINI, D., ALAZARD-TOUX, N.,2006. les Biocarburants, Etats de lieux,Perspectives et enjeux du développement. Institut Français du Pétrole (IFP). France. Technip ,348p ;
- [65]Agarwal, A.K., 2007a. Biofuels (alcohols and biodiesel) applications as fuels for internal combustion engines. Prog.Energy Combust. Sci. 33, 233–271.
<https://doi:10.1016/j.pecs.2006.08.003> ;
- [66] TCHAKBLO, A.G., 2009. PRODUCTION DE BIODIESEL PAR TRANSESTERIFICATION ALCOOLIQUE : ETUDE SUR REACTEUR PILOTE;
- [67]EL HADJI IBRAHIMA, N., 2012. « Caractérisation thermophysique des biodiesels : vitesse du son, densité, compressibilité », thèse, Université de PAU et des pays de l'Adour;
- [68]BERNA, H., 2009. Transestification des huiles végétales par l'éthanol en conditions douces par catalyses hétérogènes acide et basique. Thèse de Doctorat. Université Claude Bernard- Lyon I, France ;
- [69]BALLERINI, D et ALAZARD-TOUX, N., 2006. les Biocarburants, Etats de lieux,Perspectives et enjeux du développement. InstitutFrançais du Pétrole (IFP). France. Technip, 348p;
- [70]Freedman, B., Pryde, E.H., & Mounts, T.L., 1984.Variables affecting the yield of fatty esters from transesterified vegetable oils. Journal of the American Oil Chemists Society, Vol. 61, pp.1638–1643, ISSN 1558-9331.
- [71]Ma, F., Clements, L.D. & Hanna, M.A., 1998. : Biodiesel fuel from animal fat. Ancillary studies on transesterification of beef tallow. Industrial Engineering Chemistry Research, Vol. 37, pp. 3768-3771, ISSN 1520-5045;
- [72] Mesbahi, D., 2012. La transestérification hétérogène de l'huile de tournesol sous alumine : Production du biodiesel EEHV. Mémoire de Magister. Université Abou BekrBelkaid, Tlemcen ;

- [73]Waïdjolbe, W., 2007. Caractérisation physico-chimique des huiles végétales pour application comme biocarburant. Mémoire de fin d'études du cycle d'ingénieur ;
- [74]Chaib, F., Khenfer, A., 2013. Synthèse de biodiesel par la transestérification des huiles commercialisées. Mémoire Master Académique, Université KasdiMarbah, Ouargla ,41p ;
- [75]Aboïna, G., 2009. Production de biodiesel par transesterification alcoolique. Mémoire pour l'obtention de master génie énergétique laboratoire biomasse, énergie et biocarburant (LBEB). Burkina Faso, Ouagadougou. p8-12, p16-17 ;
- [76]NNAN, Y.,S.K ,Kamarudin., Z ,Yaakub., 2011. Energ. Convers. Manag. 52(7), 2741–2751 ;
- [77]Demirbas, A., 2008. EnergyEduc. Sci. Technol. 21, 1–59 ;
- [78]Carraretto, C., Macor,A., Mirandola, A., Stoppato,A., Tonon,S., 2004.Energy 29, 2195–2211;
- [79]Romano, S.D., souchetti,P.A., 2010. Sorichetti Introduction to in Biodiesel Production and biodiesel production. In DielectricSpectroscopyCharacterization, Springer, London, pp. 7-27 ;
- [80]Chniti,S., 2015. Optimisation de la bio production d'éthanol par valorisation des refus de l'industrie de conditionnement des dattes, thèse de doctorat ;
- [81]KASEMETS, K., KAHRU, A., LAHT, T.M., PAALME, T., 2006. Study of the toxic effect of short-and medium- chain monocarboxylic acids on the growth of Saccharomyces cerevisiae using the CO2 auxoacceletostat fermentation system. International Journal of Food Microbiology; p111 ;
- [82] Boulal 1, A.,Khelafi, M., Messaadi, A.H., 2019.Production du bioéthanol à partir des déchets de dattes d'Adrar et Tolga (Biskra) : Etude comparative, Article ;
- [83]Boulal,A., Benali,B., Moulai, M., et Touzi,A., 2010.'Transformation des déchets de dattes de la région d'Adrar en bioéthanol', Revue des Energies Renouvelables Vol. 13 N°3,pp 455 – 463 ;
- [84]FAO.1993. Agricultural Services Bulletin N° 101, Date Palm Products. FAO, Rome, 39p ;
- [85]Gregory Cameron,Linda Le, Levine, J., Nagulapalli, N ., 2012. Process Design for the Production of Ethylene from Ethanol, Department of Chemical &BiomolecularEngineering;
- [86]Chaa,F.,2019. Production du bioéthanol. Analyse et modélisation par la loi de Mechaelis-Menten, Mémoire de master ;
- [87]Saoud, M.Z et al., 2020. Pan Afr Med J. Saccharomyces cerevisiae is a yeast cell more and more involved in urinary tract infections: about 3 cases. 35-63.18041;

- [88]Aldiguer, S.A., Alfenore, S., Cameleyre, X., Goma, G., Uribelarrea, J.L., Guillouet, S.E., Molina-Jouve, C., 2004.Synergistic temperature and ethanol effect on *Saccharomyces cerevisiae* dynamic behaviour in ethanol bio-fuel production. *Bioprocess and Biosystems Engineering*, p26 ;
- [89]JONES, R.P., PAMMENT, N., Greenfield, P.F., 1981.Alcohol fermentation by yeasts - the effect of environmental and other variables. *Process Biochemistry*, p16 (3) ;
- [90] BIRCH, R., WALKER, G., 2000. Influence of magnesium ions on heat shock and ethanol stress responses of *Saccharomyces cerevisiae*. *Enzyme and Microbial Technology*,p26 ;
- [91]FERREIRA, M.M., LOUREIRO-DIAS, M.C., LOUREIRO, V., 1997.Weak acid inhibition of fermentation by *Zygosaccharomycesbailii* and *Saccharomyces cerevisiae*.*International Journal of Food Microbiology*, 36(3) ;

Résumé

Dans cette étude, nous avons fait la synthèse du biodiesel à partir d'huile de friture expérimentalement par la méthode de transestérification basique en utilisant le méthanol et l'hydroxyde de potassium KOH ou l'hydroxyde de sodium NaOH. Nous avons répété l'expérience plusieurs fois en changeant à chaque fois la quantité de méthanol et la quantité et le type de catalyseur (KOH ou NaOH). Nous avons obtenu des résultats différents en rendement et similaires en (de viscosité et densité et d'analyse de spectre IR), il a été démontré que le biodiesel obtenu possède des caractéristiques similaires au pétrodiesel est conforme aux normes convenues au niveau international.

Nous avons également fait la synthèse du bioéthanol par fermentation puis par distillation à partir de jus de farine de dattes ou de jus de dattes de commerce prêt à l'emploi en présence de deux types de levures (chimique ou boulanger). Nous avons montré que le bioéthanol obtenu à partir de jus préparé en laboratoire des propriétés similaires à celles de jus prêt à l'emploi.

Mots clés : biodiesel, huile de friture, transestérification, bioéthanol, fermentation, farine de dattes

Abstract

In this study, biodiesel was produced from frying oil experimentally by transesterification basic method using methanol and potassium hydroxide KOH or sodium hydroxide NaOH. We repeated the experiment several times, each time changing the quantity of methanol and the quantity and type of catalyst (KOH or NaOH). We obtained different results in yield and similar in (viscosity and density and IR spectrum analysis), it has been demonstrated that the biodiesel obtained has characteristics similar to petrodiesel and complies with internationally agreed standards.

We have also produced several batches of bioethanol by fermentation then distillation from date flour juice or ready-to-use juice in the presence of two types of yeast (chemical or bread). We have shown that bioethanol obtained from juice prepared in the laboratory properties similar to those of ready-to-use juice.

Key words: biodiesel, frying oil, transesterification, bioethanol, fermentation, date flour

المخلص

في هذه الدراسة، قمنا بإنتاج وقود الديزل الحيوي من زيت القلي مخبرياً باستخدام طريقة الاسترة التبادلية الأساسية باستخدام الميثانول و هيدروكسيد البوتاسيوم أو هيدروكسيد الصوديوم

كررنا التجربة عدة مرات في كل مرة قمنا بتغيير كمية الميثانول وكمية ونوع المحفز لقد حصلنا على نتائج مختلفة في المردود ومنتشابهة في (اللزوجة والكثافة وتحليل طيف الأشعة تحت الحمراء)، وقد تبين لنا أن وقود الديزل الحيوي الذي تم الحصول عليه له خصائص مشابهة للديزل البترولي و يتوافق مع المعايير المتفق عليها دولياً.

كما قمنا بإنتاج الإيثانول الحيوي عدة مرات عن طريق التخمير ثم التقطير من عصير دقيق التمر أو عصير التمر الجاهز للاستخدام في وجود نوعين من الخميرة (كيميائية أو خميرة الخبز). لقد تبين لنا أن الإيثانول الحيوي الذي تم الحصول عليه من العصير المحضر في المختبر يشبه خصائص الإيثانول الحيوي المحضر من العصير الجاهز للاستخدام.

الكلمات المفتاحية: الديزل الحيوي - الانتقالات الاستيري - زيت القلي المستعمل - الإيثانول الحيوي - التخمير - دقيق التمر

CONCLUSION GENERALE

Dans ce travail, nous avons étudié les propriétés structurales, élastiques et mécaniques du composé binaire SiC à l'équilibre. Dans cette étude nous avons utilisé la méthode des ondes planes augmentées linéarisées (FP-LAPW) dans le cadre de la théorie de la fonctionnelle de la densité (DFT). Le potentiel d'échange-corrélation est traité par l'approximation de la densité locale (LDA) et l'approximation du gradient généralisé (GGA).

Notre démarche a été guidée par un objectif, qui est la détermination des propriétés physiques du composé SiC. Nous avons calculé le paramètre de maille a_0 , le module de rigidité B_0 et sa dérivée première B'_0 pour les composés IV-IV.

Le paramètre de maille pour les structures de cubique (3C) est en excellent accord avec les résultats obtenus expérimentalement et théoriquement, où la sous-estimation d'environ 1% est admise pour LDA et GGA. Nous avons déterminé les propriétés de l'état fondamental : paramètre de maille, module de compressibilité et son dérivé de pression. Pour 3C, les données disponibles sont compatibles à nos calculs.

Pour les composés considérés SiC ($Z = \text{Al, Ga}$), nous avons calculé les constantes élastiques, Le module de Young E , le module de cisaillement G , le coefficient de Poisson, la vitesse du son et la température de Debye.

Ces résultats sont d'un intérêt primordial à titre de confirmation et d'accord avec ce qui existe où à titre prédictoire restant à approuver expérimentalement pour confirmer leurs validités et la possibilité d'en créer de tels matériaux aux propriétés trouvées

Résumé

Dans ans cette thèse, nous avons étudié les propriétés structurales, élastiques et par conséquent, l'effet de l'anisotropie sur certains paramètres mécaniques de quelques semiconducteurs VI-VI à base de SiC en phase cubique. Dans tout l'étude, nous avons utilisé un calcul ab-initio basé sur la théorie de la fonctionnelle de densité DFT combinée avec la méthode de pseudopotentiel.

Les équations de Kohn-Shamont été résolues d'une manière self consistente en utilisant une base d'ondes planes augmentées linière (*FP-LAPW*) implémentée par le code **Wien2k**. Pour le traitement d'échange et de corrélation, nous avons utilisé l'approximation de la densité locale LDA et GGA.

Les propriétés structurales (Le paramètre de maille, le module de rigidité et sa dérivée), mécaniques (constantes élastiques, module de cisaillement, le coefficient de Poisson, et le module de Young, température de Debye). Une cohérence a été montrée entre nos résultats et ceux d'autres calculs théoriques et d'autres données expérimentales.

Motes clefs:

Mécanique, structure, FP LAPW, DFT, SiC, LDA, GGA

المخلص

في هذا العمل قدمنا دراسة عامة حول الخواص التركيبية, المر ونية و بالتالي تأثير عامل الاتجاه على الخواص الميكانيكية لبعض مركبات أصناف النواقل (VI-VI) : (sic) الذي تتبلور في النظام المكعب .

في كل دراسة قمنا باستعمال حساب المبدأ الأول المبني على نظرية (DFT) مركبة الكمون الكاذب معادلات كوهن وشام حلت بطريقة التناسق الذاتي باستعمال الأمواج المستوية المدخلة في الشفرة (PF-LAWP) المرفقة ببرنامج

(Wien2k) بخصوص معالجة التبادل و الارتباط, استعمالنا التقريب (GGA,LDA) لقد تمت دراسة الخصائص

البلورية (أساس الزمرة, ثابت المرونة والمشتقة).

الخصائص الميكانيكية (معاملات المرونة, معامل يونغ (gyoun), معامل بواسون (Poisson) درجة حرارة دباي (debye) و لوحظ تناسب بين نتائجنا و نتائج الحسابات النظرية و أخرى تجريبية.

الكلمات الأساسية:

الميكانيكية, بنيوي, GGA, LDA, FP-LAPW, DFT, SiC,