

UNIVERSITE KASDI MERBAH OUARGLA

Faculté des Sciences Appliquées
Département de Génie des Procédés



Mémoire

MASTER ACADEMIQUE

Domaine Sciences et Techniques

Filière : Génie des Procédés

Spécialité : Analyse et Contrôle Qualité

Présenté et par :

LAKEHAL Boualem

FADJI Aicha

Thème

synthèse de biocarburant à base d'huile végétale de chêne

Le 03/ 04 /2015 à 10:00

soutenu publiquement Devant le jury :

Président	MA(A) ZEGHMI Souad	UKM	Ouargla
Examinatrice	MA(A) BEN ABDESSLAM.S	UKM	Ouargla
Promoteur	Pr SEGNI Ladjel	UKM	Ouargla

ANNEE UNIVERSITAIRE : 2014/2015

Sommaire

Liste des figures et des tableaux	V
Introduction général	01
Chapitre I : les carburants dans le monde	
I. Introduction	02
I.1. Carburant pétrolier (Les énergies fossiles)	02
I.1.1 Pétrole	02
I.1.1.1. Histoire de pétrole	02
I.1.1.2. Origine du pétrole	03
I.1.1.3 Installation de pétrole	03
I.1.1.4. Produits de distillation de pétroles bruts partiels	03
I.2. Gaz pétrole liquéfié (GPL)	05
I.2.1. Définition des GPL	05
I.3. GNL (gaz naturel liquéfié)	05
I.4. Les énergies renouvelables	05
I.4.1. Caractéristiques de base des énergies renouvelables	06
I.4.1.1. L'énergie solaire	06
I.4.1.2. L'énergie éolienne	07
I.4.1.3. L'énergie géothermique	07
I.4.1.4. La puissance hydraulique	08
I.4.1.5. La biomasse	08
I.5. Conclusion	09
Chapitre II : biodiesel	
II.1. Introduction	10
II.2. Le biodiesel	10

II.3. Généralité sur les huiles végétales	11
II.3.1. Définition	11
II.3.2. Composition et caractéristiques chimiques des huiles	11
II.4. Le processus de fabrication du biodiesel	12
II.4.1. Production de l'huile	12
II.4.1.1. Par pressage	12
II.4.1.2. Par extraction	13
II.4.2. Transformation de l'huile (transestérification)	13
II.4.2.1. La transestérification	13
II.4.2.1.1. Equation chimique de la réaction de transestérification	13
II.4.2.2. Réaction	14
II.4.2.3. Séparation	14
II.4.2.4. Récupération de l'alcool	14
II.4.2.5. Le glycérol	14
II.4.2.6. Lavage du biodiesel (ester)	15
II.4.3. Les coproduits générés.	15
II.5. L'utilisation du biodiesel	16
II.5.1. Le biodiesel dans les véhicules	16
II.5.2. Les usages énergétiques des huiles végétales pures	17
II.5.2.1. La carburation automobile	17
II.5.2.2. Les moteurs à poste fixe (pompage, irrigation...)	17
II.5.2.3. La combustion directe	18
II.5.2.3.1. Combustion de l'huile	18
II.5.2.3.2. Combustion des tourteaux	18
II.6. Conclusion	20

Chapitre III : chêne vert

III.1. Introduction	21
III.2. Caractères généraux du chêne vert	21
III.2.1. Caractères botaniques du chêne vert	21
III.2.1.1. Taxonomie du chêne vert	21
III.2.1.2. Description botanique du chêne vert	22
III.2.1.3. Origines	25
III.2.2. Caractères climatiques	26
III.3. Utilise médical de chêne	27

Chapitre IV : experimentation

IV.1. Introduction	28
IV.2. matériels et produits utilisé	28
IV.3. Extraction liquide-solide	30
IV.3.1. Extraction au Soxhlet	30
IV.3.2. L'extraction huile de chêne	31
IV.3.2.1. Mode pératoire	31
IV.4. Caractéristique physico-chimiques de produit obtenue	33
IV.4.1. Huile	33
IV.4.1.1. l'indice de réfraction	33
IV.4.1.1.1. Matériels et méthodes	33
IV.4.1.1.2. Mode d'opérateur	34
IV.4.1.2. La densité	35
IV.4.1.2.1. Le densimètre DMA 35N	35
IV.4.1.2.2. Mode opératoire	35
IV.4.1.3. Le pH	36

IV.4.1.4. L'indice d'acide	37
IV.4.1.4.1. Matériel	37
IV.4.1.4.2. Réactifs chimiques nécessaires	37
IV.4.1.4.3. Mode opératoires	37
IV.4.1.5. Analyses par spectroscopie UV-VISIBLE	38
IV.5. La transestérification	40
IV .5.1. Synthèse de biodiesel	40
IV.5.2. Caractéristiques de biodiesel	41
IV.5.2.1. Calcul de rendement de la réaction	41
IV.5.2.2. l'indice de réfraction.	41
IV.5.2.3. La densité	42
IV.5.2.4. Le pH.	42
IV.5.2.5. Analyses par spectroscopie UV-VISIBLE	43
IV.5.2.6. Caractéristiques par IR	43
IV.6. tableau récapitulatif des résultats	46
Conclusion général	47
Références	
Annexe	

II.1. Introduction

La diminution des ressources en énergie fossile et la prise de conscience de l'impact des émissions de gaz à effet de serre sur l'environnement ont créé la nécessité de trouver des sources d'énergies alternatives aux sources d'énergies traditionnelles. Ainsi, depuis quelques années, on assiste au développement de plusieurs filières de production d'énergie renouvelable sous l'impulsion notamment de mesures incitatives des pouvoirs publics. La production de biodiesel, un substitut renouvelable au pétrodiesel, en est à ses balbutiements au Québec et au Canada, mais elle est déjà bien implantée en Europe et, de plus en plus, aux États-Unis. À l'instar de la production d'éthanol, la production de biodiesel soulève plusieurs enjeux de nature environnementale et socio-économique. Elle suscite également la curiosité dans le monde agricole alors que les producteurs sont directement interpellés en tant que fournisseurs potentiels de la matière première utilisée dans sa fabrication. Qu'est ce que le biodiesel et qu'en est-il de sa production et de son utilisation aujourd'hui? Qu'en sera-t-il demain? Cette fiche vise à fournir un ensemble d'informations sur la production de biodiesel, ses perspectives, ses débouchés et les enjeux qu'elle soulève, afin d'éclairer les conseillers agricoles qui doivent appuyer des producteurs dans des décisions touchant la production d'énergie.

II.2. Le biodiesel

Le biodiesel est un mélange constitué d'esters éthyliques ou méthyliques d'huile végétale (EEHV ou EMHV) ou de gras animal. Contrairement au pétrodiesel, qui est formé de plusieurs hydrocarbures composés uniquement d'atomes de carbone et d'hydrogène, le biodiesel contient de l'oxygène. Le biodiesel est par ailleurs biodégradable, ce qui n'est pas le cas du pétrodiesel[10].

Le biodiesel est élaboré à partir de substrats riches en matières grasses tels que les huiles végétales, les huiles de cuisson usées et le gras animal. Les huiles végétales utilisées sont extraites de plantes oléagineuses cultivées spécifiquement pour leurs grains ou pour leurs fruits riches en matière grasse. Au Canada, ces plantes oléagineuses sont principalement le canola, le soya et le tournesol. Ces dernières contiennent typiquement entre 15 et 50 % d'huile.

Les huiles végétales peuvent également être utilisées directement dans les moteurs diesel comme substituant au pétro diesel. Alors que biodiesel résulte d'un procédé de

transestérification de la matière grasse, « l'huile végétale-carburant » est utilisée à l'état brut et provient simplement d'un procédé de filtration et de décantation permettant d'obtenir de l'huile végétale pure (HVP) [10]. L'huile végétale pure peut être produite en filière courte à petite échelle. Toutefois, son utilisation dans les moteurs diesel se fait au risque de voir les garanties des fabricants invalidées.

II.3. Généralité sur les huiles végétales

II.3.1. Définition

Les huiles végétales sont extraites des graines, des amandes et des fruits. Les oléagineux sont ceux qui servent à produire industriellement de l'huile et qui sont cultivés dans ce but.

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

Du point de vue structural, un triglycéride est une molécule de glycérol est constituée de trois molécules d'acides mono carboxyliques, à longue chaîne hydrocarbonée appelés acides gras dont la structure chimique suivante :

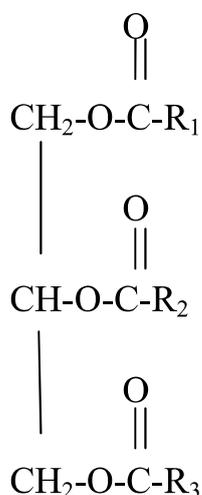


Fig. II.1. Structure générale d'une huile végétale. R₁, R₂, R₃ désignent des chaînes d'acides gras et diffèrent en longueur et nombre de double liaison

III.3. 2. Composition et caractéristiques chimiques des huiles

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

point de vue chimique, la composition des huiles est fonction des variations de conditions de culture (sol, amendement, climat, hygrométrie...) les huiles végétales sont constituées essentiellement de triglycérides, d'acide gras libres et de produits secondaires [26]

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

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

Les huiles végétales peuvent être utilisées directement comme carburants car leur pouvoir calorifique est important (environ 80% de celui du pétrole diesel). Mais elles ont des viscosités cinématiques importantes, au moins 10 fois supérieures à celles du diesel à 40°C, ce qui occasionne une mauvaise atomisation dans la chambre de combustion du moteur.

D'autre part, leurs combustions y provoquent la formation d'importants dépôts.

Pour les raisons citées ci-dessus, l'utilisation directe des huiles dans les moteurs est à éviter en général. Les huiles végétales sont transformées par transestérification en biodiesel dont les propriétés sont voisines de celles du pétrole diesel [27]

II.4. Processus de fabrication du biodiesel

La production de biodiesel à partir de grains oléagineux comprend deux phases importantes, la production de l'huile à partir des grains (trituration) et la transformation de cette huile en biodiesel.

II.4.1. Production de l'huile

Cette première phase est identique à celle requise pour produire de l'huile végétale destinée à la consommation humaine. Elle est réalisée par pressage, à froid ou à chaud, ou par extraction à l'aide d'un solvant.

II.4.1.1. Par pressage

Le pressage à froid, utilisé principalement pour les olives et les noix, permet d'extraire l'huile par pressages successifs à une température inférieure à 80 °C. Le rendement de cette

méthode est faible, le contenu en matière grasse du résidu de pressage (le tourteau) demeurant entre 6 et 12 %. Sous pressage à chaud, les graines sont préchauffées à 90 °C puis pressées par une vis sans fin où la température atteindra jusqu'à 120 °C. Le rendement est ainsi amélioré, la teneur en matière grasse dans le tourteau étant de l'ordre de 4 à 6 %.

II.4.1.2. Par extraction

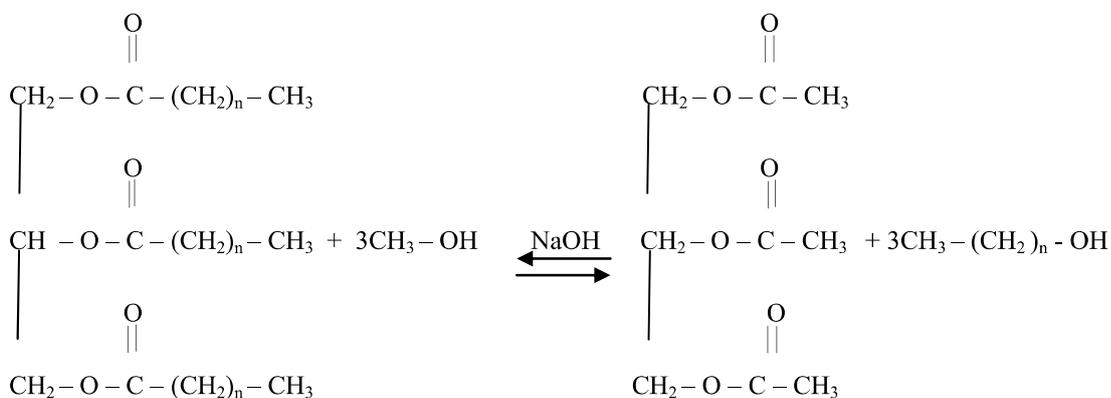
Le procédé d'extraction consiste à retirer l'huile du grain à l'aide d'un solvant. Les graines doivent être préalablement dépoussiérées et le plus souvent décortiquées ou dé pelliculées. Les lipides sont ensuite extraits par solubilisation dans un solvant organique (comme l'hexane) chauffé à 50-60 °C puis, par percolation à contre-courant du solvant pendant 4 à 5 heures. Le mélange d'huile et de solvant ainsi obtenu est distillé par chauffage (115-120 °C) sous aspiration et injection de vapeur. Le rendement de cette méthode est grandement supérieur au rendement obtenu par pressage, car elle produit des tourteaux déshuilés contenant de 0,5 à 2,5 % de matière grasse.

II.4.2. Transformation de l'huile (transestérification)

II.4.2.1. La transestérification

La transestérification est la procède classique de production de biodiesel. Il s'agit d'un procédé dans lequel les huiles végétales, les graisses animales ou les huiles à base de micro algues sont mélangées à un alcool (éthanol ou méthanol) en présence d'un catalyseur (hydroxyde de sodium ou de potassium) [11].

II.4.2.1.1. Equation chimique de la réaction de transestérification



Equation II .2

La transformation des huiles ou des graisses en esters éthyliques ou méthyliques permet de réduire la masse moléculaire à un tiers de celle de l'huile, de réduire la viscosité d'un facteur huit, de réduire la densité et d'augmenter la volatilité[11].

Le biodiesel est produit à partir de l'huile 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, composante principale du biodiesel. Ce procédé comprend les étapes suivantes :

II.4.2.2. Réaction

La production de biodiesel nécessite un réactif de type alcool (méthanol ou éthanol) ainsi qu'un catalyseur (hydroxyde de potassium ou hydroxyde de 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 80 °C) afin d'en accélérer la vitesse. Le temps de réaction varie 2 heures[11].

II.4.2.3. Séparation

La réaction génère deux nouveaux produits, le glycérol et le biodiesel (ester) auxquels demeure mélangé l'alcool en excès utilisé lors de la réaction. Le glycérol étant plus dense que le biodiesel, les deux phases peuvent être séparées de façon gravitaire en soutirant le glycérol par le bas du réservoir de décantation. Un décanteur centrifuge peut aussi être utilisé pour accélérer cette séparation.

II.4.2.4. Récupération de l'alcool

Après séparation du glycérol et du biodiesel, l'excès d'alcool dans chacune des phases est enlevé par évaporation ou par distillation. L'alcool ainsi recueilli est par la suite réutilisé dans le procédé.

II.4.2.5. Le glycérol

Le catalyseur est neutralisé à l'aide d'un acide, ce qui produit du glycérol brut dont la pureté varie entre 80 et 88 %. Le glycérol à cette étape peut contenir de l'eau, des savons, de l'alcool et des traces de catalyseur non utilisé. Pour des besoins particuliers (marchés pharmaceutiques et cosmétiques), le glycérol est distillé afin d'obtenir un degré de pureté supérieur à 99 % [11].

II.4.2.6. Lavage du biodiesel (ester)

Selon le procédé et l'utilisation finale du biodiesel, il peut être purifié par lavage à l'eau chaude afin d'éliminer les résidus de catalyseur et les autres impuretés. Le biodiesel ainsi produit est un liquide ambre-jaune d'une viscosité similaire au pétrodiesel.

II.4.3. Les coproduits générés

Deux coproduits sont issus de la production de biodiesel à partir de grains oléagineux : le tourteau et le glycérol. Le tourteau est le résidu solide de la trituration des grains et représente entre 50 et 75 % de la masse des grains. Selon le type d'oléagineux, le tourteau contient de 30 à 45 % de protéines, ce qui en fait un ingrédient très prisé dans l'alimentation animale. Toutefois, plus le contenu en matière grasse résiduelle du tourteau est faible, moins sa valeur est grande en alimentation animale. Quant au glycérol, c'est un liquide transparent, visqueux, sirupeux et non toxique qui connaît plusieurs applications, notamment pour la fabrication de produits pharmaceutiques et cosmétiques ainsi que pour l'alimentation humaine.

Le rendement de la transformation de l'huile en biodiesel avoisine les 100 %. Ainsi, la fabrication de biodiesel à partir de 1000 kg de grains de soya contenant 18 % d'huile, générera typiquement 180 kg de biodiesel, 18 kg de glycérol et 820 kg de tourteau de soya. Le procédé consommera également 18 kg d'alcool (méthanol ou éthanol). La fabrication de biodiesel à partir de canola permettra d'obtenir un meilleur rendement en huile. En effet, à partir de 1000 kg de grains de canola (40 % d'huile), il est possible de produire 400 kg de biodiesel, 40 kg de glycérol et 60 % de tourteau. L'équivalent de 40 kg d'alcool est alors utilisé.

Basé sur les rendements moyens du Québec en soya (3 t/ha) et en canola (2,3 t/ha) [11], un hectare en culture permettrait théoriquement de produire respectivement 540 et 920 kg de biodiesel (soit 614 et 1045 l).

Dans les pays à climat chaud, l'huile de palme est la principale matière première utilisée pour produire du biodiesel puisqu'elle permet d'obtenir un rendement en biodiesel très élevé (5 800 l/ha selon le Département américain de l'énergie (DOE)). Parmi les sources de matière première à l'étude, les algues présenteraient le potentiel de rendement en huile le plus important (95 000 l/ha selon le DOE). La fabrication de biodiesel à partir d'algues est encore au stade de la recherche et développement et quelques projets d'usines de démonstration, tel que celui annoncé par l'entreprise Shell à Hawaï, sont actuellement en préparation [12].

II.5. L'utilisation du biodiesel

Bien qu'il puisse être employé à l'état pur, le biodiesel est généralement mélangé avec le diesel dérivé du pétrole (pétrodiesel). Les mélanges de biodiesel-pétrodiesel sont identifiés par l'abréviation « Bxx », où « xx » indique le pourcentage de biodiesel dans le mélange. Ainsi, un carburant B20 contient 20 % de biodiesel et 80 % de pétrodiesel alors qu'un carburant B100 correspond au biodiesel pur. Plusieurs types de mélange sont commercialisés dont les plus fréquents sont le B2, B5, B20 et B100.

La complexité et la diversité chimique du biodiesel (mélange d'esters) font en sorte qu'il doit être homologué selon plusieurs critères de qualité (par exemple, les normes ASTM D6751 en Amérique du Nord [13] ou EN 14214 en Europe [14]) avant d'être commercialisé. Tout biodiesel homologué à ces standards comporte une garantie de qualité minimale, entre autres pour l'indice de cétane, la viscosité et les teneurs en phosphore et en soufre. En Amérique du Nord, il existe également un programme de certification volontaire pour les producteurs et distributeurs de biodiesel, le BQ-9000. Ce programme, similaire aux programmes ISO, vise à assurer que le biodiesel produit respecte des normes de qualité préétablies au niveau de tous les maillons de la chaîne (pratiques d'entreposage, d'échantillonnage, d'évaluation, de mélange, de distribution et de gestion du biodiesel) et donc, jusqu'à ce qu'il soit rendu dans le réservoir du consommateur [15].

II.5.1. Le biodiesel dans les véhicules

L'utilisation du B5 dans les véhicules diesel n'occasionne en principe aucun dommage au moteur ni au système de carburation [16]. Par conséquent, la majorité des manufacturiers permettent l'usage du biodiesel dans les moteurs, du moins pour les moteurs récents. Le biodiesel utilisé doit toutefois être homologué selon les normes ASTM ou EN sans quoi la garantie du manufacturier peut être invalidée. L'usage de biodiesel dans les modèles de moteurs plus anciens, particulièrement ceux datant d'avant 1990, va généralement nécessiter le changement du système de carburation et des élastomères (remplacer le caoutchouc naturel par du caoutchouc synthétique). L'utilisation du B5 dans les véhicules permet par ailleurs de conserver le niveau de lubricité nécessaire pour maintenir la durée de vie des moteurs. À ce titre, le biodiesel peut jouer le rôle autrement assumé par le soufre et, par le fait même, faciliter le respect du règlement mis en place par le gouvernement canadien en 2006 visant à réduire le taux de soufre dans le diesel. À l'heure actuelle, quelques flottes de véhicules

s'alimentent en biodiesel, principalement en B5 et en B20. Parmi celles-ci, on compte les autobus urbains de la Société de transport de Montréal (STM).

Depuis 2007, plusieurs manufacturiers de tracteurs 9 garantissent la performance de leurs nouveaux modèles avec du B20. New Holland garantit même certains moteurs pour le B100, le biodiesel pur, si l'équipement adapté est acheté et si un programme d'entretien spécifique est suivi. Cependant, l'usage de B100 en hiver pose problème dans les équipements traditionnels (encore plus que le pétrodiesel) et doit être utilisé avec précaution en raison de sa viscosité élevée. Sous les conditions climatiques du Québec et du Canada, son usage est ainsi limité à l'été. En saison hivernale, il est plutôt recommandé d'utiliser un mélange de B2 à B5 pour éviter que le carburant ne gèle dans le réservoir. La concentration maximale hivernale de biodiesel dépend du type de matière grasse utilisée pour la fabrication du biodiesel, les sources végétales résistant plus au froid que les sources animales. La présence d'un système de préchauffage du réservoir de carburant et un démarrage du moteur au pétrodiesel peuvent permettre l'usage d'un mélange plus concentré en biodiesel en hiver [17].

II.5.2. Les usages énergétiques des huiles végétales pures

II.5.2.1. La carburation automobile

Cet usage n'est pas l'objet du rapport. Nous indiquerons uniquement ce qui est transposable pour des moteurs fixes en termes de recommandations pour des expérimentations susceptibles d'aboutir à un fonctionnement satisfaisant.

II.5.2.2. Les moteurs à poste fixe (pompage, irrigation...)

Des opérations menées par ARM-Oréade Brèche-Cirad d'utilisation d'huile de tournesol dans des moteurs de tracteurs agricoles ou de groupes électrogènes [18] ont démontré la possibilité, après modification, d'obtenir des performances équivalentes (puissance, rendement) et des résultats d'émissions atmosphériques meilleurs qu'avec le fioul. Cependant, les modifications des moteurs modernes utilisés en agriculture sont trop coûteuses pour les agriculteurs et il est préférable de s'associer aux constructeurs, dès lors que l'opération a un intérêt économique. En Allemagne, DEUTZ-FAHR propose des tracteurs de 50 ou 80 CV à injection indirecte pouvant fonctionner avec de l'HVP (consommant 30 % de carburant de plus que ceux fonctionnant au fioul). Cependant, ils ne respectent pas les réglementations d'octobre 1998 en matière d'émissions de polluants à l'échappement.

Les modifications à apporter aux moteurs diesel fixes sont a priori identiques à celles qui concernent les moteurs de tracteur. Toutefois, ces installations fonctionnent en continu et plutôt à leur puissance nominale (faible variation de charge et généralement $> 70\%$ du maximum), ce qui résout les problèmes d'encrassement. Un kit de bicarburation est suffisant pour les adapter.

II.5.2.3. La combustion directe

II.5.2.3.1. Combustion de l'huile

Pour utiliser l'huile végétale pure en tant que combustible, il est indispensable d'avoir un brûleur adapté à l'huile [19]. Trois marques semblent réellement adaptées : Gierch et Kroll (Allemagne) et AR-CO (Italie). Ces dernières proposent des brûleurs de petites et moyennes puissances pour le chauffage individuel ou le séchage de fourrage ou de céréales. Mais on n'en connaît pas encore les performances et la fiabilité.

Le séchage de grains (ou de fruits) ou de serres peut être effectué en utilisant des brûleurs adaptés [20] aux HVN. Ces brûleurs sont disponibles sur le marché depuis de nombreuses années mais actuellement, aucune application n'a été réalisée, sauf en utilisant des huiles alimentaires usagées.

En remplacement d'installations au fioul existantes, on pourrait également utiliser en complément des huiles alimentaires usagées. Certains agriculteurs envisagent de vendre leurs huiles alimentaires localement et d'organiser la collecte de ces huiles après usage pour pouvoir (après traitement adapté) les utiliser comme combustible. L'aspect réglementaire est alors à regarder avec beaucoup d'attention.

La combustion des huiles dans des brûleurs industriels de forte puissance ne semble pas soulever de difficulté particulière (cf. encart SAACKÉ partie 2). Cependant, on peut se demander s'il faut privilégier la combustion d'huile végétale pure dans une chaudière, s'il est possible de l'utiliser dans un moteur thermique fixe... avec une meilleure valorisation énergétique et économique.

II.5.2.3.2. Combustion des tourteaux

Lorsqu'il ne peut être totalement valorisé en alimentation animale (accords de Blair House obligeant à utiliser le soja américain), la combustion des tourteaux semble a priori plus judicieuse si l'on a bien l'utilisation de l'huile dans des moteurs fixes. (Sinon il vaut mieux la combustion directe de la graine)

Toutefois, on suggère une voie de recherche technologique : l'extraction préalable des protéines utilisables en alimentation animale, afin de ne brûler qu'un résidu cellulosique bas de gamme. Cette orientation nécessiterait de modifier le processus industriel pour ne pas « cuire » les protéines qui perdent alors leurs propriétés alimentaires.

Une étude comparative entre processus industriel actuel et chauffage des tourteaux à plus basse température en vue d'une valorisation des protéines en alimentation animale et de la cellulose en combustion devra permettre d'apporter des réponses techniques et économiques aux questions soulevées par le fractionnement des tourteaux en deux catégories de sous-produits :

- Protéines d'un côté,
- Résidus cellulosiques de l'autre.

Le combustible solide résiduel pourrait être brûlé dans une chaudière adaptée (à grille ou lit fluidisé, selon la puissance à prévoir) pour produire la vapeur du processus de l'unité industrielle ou de l'eau chaude pour les besoins de l'huilerie ou, le cas échéant de consommateurs industriels voisins.

L'extraction des protéines présenterait un atout incontestable en matière d'émissions de soufre et d'azote. Les essais de combustion de tourteaux de colza effectués par l'Université Technologique de Compiègne dans le cadre d'un programme AGRICE montrent que les émissions polluantes (SO₂ et NO₂) sont très élevées et nettement au dessus des normes applicables (rubrique 2910 de ICPE pour les installations de plus de 2 MW soumises à déclaration- arrêté du 25 juillet 1997). Ces polluants émanent principalement de la combustion des protéines riches en soufre et en azote. La combustion de la fraction cellulosique seule devrait donner des émissions très inférieures aux normes comme c'est le cas pour le bois et les autres biomasses ligne cellulosiques [21].

II.6. Conclusion

Le biodiesel est une alternative au carburant pour les moteurs diesel classiques. Sa production est simple. De plus, tout est transformé il n'y a aucune perte (production de tourteau pour les animaux, photosynthèse, etc.). Le biodiesel influe pas sur environnement , réduit l'impact sur l'usure des moteurs et ne nécessite aucune modification sur les voitures. Par ailleurs, c'est une source d'emplois pour les pays producteurs et résulte à de nombreux débouchés pour l'agriculture. Enfin, ce carburant est biodégradable, non toxique et non polluant.

Cependant, le biodiesel n'est pas la seule alternative au recyclage des huiles alimentaires usagées. En effet, la revalorisation de ces huiles conduit aussi à la production de cosmétiques, de savons, de détergents grâce à la glycérine produite lors de la transestérification.

IV.1. introduction :

La transestérification est la méthode de notre choix pour transformer les huiles dans notre cas, car étant plus adaptée au contexte de carburant de remplacement. Tout les essais ont été réalisé avec un montage de chauffage à reflux. Le montage réactionnel fut très simple. Il s'agit d'un ballon de 1000 ml équipé d'un réfrigérant, l'agitation est assuré par un agitateur et barreau magnétique. Le ballon est plongé dans un bain d'eau.

En effet, les teste de caractérisation des huiles, ainsi que les matériels utilisés et les méthodes appliquées, dans ce travail sont présentés dans ce chapitre. [26]

IV.2. Matériels et produits utilisé :

(Le **tableau IV.1**) regroupe les produits et le matériel qu'on a utilisés dans notre étude.

Tableau IV.1 : les produits, matériels et appareillages utilisés

Produits	Matériels et appareillage
<ul style="list-style-type: none"> - Chêne - Ethanol C₂H₅OH - Hydroxyde de sodium NaOH - Chloroforme CHCl₃ - Phénol phtaléine - Acétone - Hydroxyde de potassium KOH 	<ul style="list-style-type: none"> - Extracteur par soxhlet - Bécher - Mortier et pilon - Cartouche - Pipette graduée et jaugée - Pompe à vide - Entonnoir - Fiole - Spatule - Pissette - Fiole jaugé de 100 ml - Verre de montre - Papier filtre - Burette+support - Eprouvette graduée - balance - Ballon 250 ml - Ballon 1000ml - Thermomètre - Evaporateur rotatif - Réfractomètre d'ABBE - Densimètre de type DAM 35_N - Matériel de protection : blouse - Agitateur + un barreau magnétique. - Un système de refroidissement. - Ballon bicolle de 1500 ml. - Système de chauffage au bain-marie. - des ampoules de décantation - Condenseur.

Tableau .IV.2. Matière première

Nom	Chêne
Qualité	Vert
Etat	Solide
Quantité	1kg

IV.3. Extraction liquide-solide :

L'extraction liquide-solide est l'opération fondamentale qui a pour but d'extraire, de séparer, de dissoudre soit par immersion soit par percolation d'un liquide, un ou plusieurs composants (liquide ou solide) mélangés à un solide. C'est une opération de transfert ou d'échange de matière entre une phase solide, qui contient la matière à extraire et une phase liquide, le solvant d'extraction [29].

Le but de cette extraction est de dissoudre sélectivement un ou plusieurs composés contenus dans une phase solide initiale par un solvant adéquat.

On peut utiliser successivement des liquides dont le pouvoir solvant vis-à-vis des constituants de la phase solide est différents = dissolution fractionnée

En pratique on ne peut pas dissoudre un seul composé, on entraîne nécessairement avec lui d'autres constituants de la phase solide, quelque soit le solvant utilisé.

IV.3.1. Extraction au Soxhlet

L'extracteur Soxhlet est représenté sur la figure (**Fig. IV.1**). Le solide est placé dans une cartouche poreuse. Le solvant, contenu dans le ballon, est porté à ébullition, ce qui le transfère dans la partie supérieure. Là, il est condensé grâce à un réfrigérant situé en haut de l'installation et s'accumule autour et à l'intérieur de la cartouche. Lorsque le solvant atteint le niveau supérieur du siphon, le mélange est renvoyé dans le ballon par différence de pression, où il est à nouveau évaporé. Plusieurs cycles d'extraction sont ainsi effectués, la durée de l'opération est laissée libre à l'utilisateur. On considère avoir alors atteint l'épuisement total en soluté du substrat solide et avoir concentré l'extrait [30].

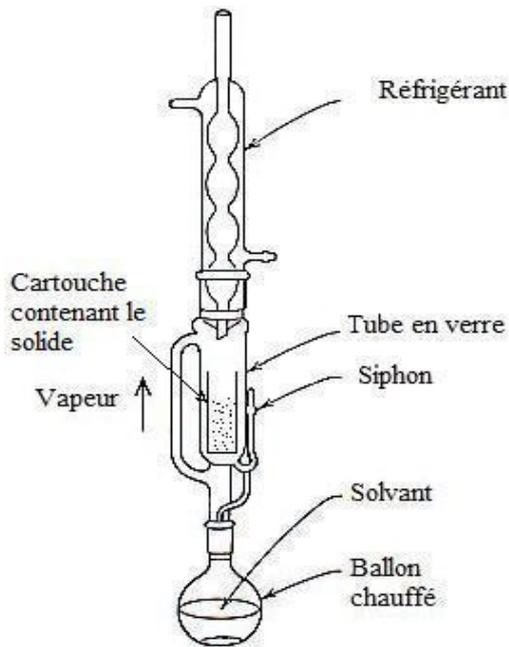


Fig. IV.1. Schéma et Montage d'un appareil de Soxhlet

IV.3.2. L'extraction huile de chêne

IV.3.2.1. Mode opératoire

1. Nettoyer tous les équipements par l'acétone.
2. Réaliser le montage d'extraction de Soxhlet.
3. Remplir la cartouche par une quantité des grains chêne de puis mettre la cartouche dans le support de l'appareil.
4. Ajouter 150 ml du solvant chloroforme dans le ballon et placer le dans le support.
5. Allumer le chauffage, le vapeur montant tomber sur la cartouche après le refroidissement avec le condenseur.
6. Laisser cette opération réalise cinq cycles pour bien extraction ;
7. Après l'opération de l'extraction on passe à l'étape d'évaporation pour obtenir l'huile extraire et récupérer le solvant.

Les images ci-dessous englobent les étapes de l'extraction

Méthodologie



Matière première



Pilage



Pesé



Extraction liq-liq



Soxhlet



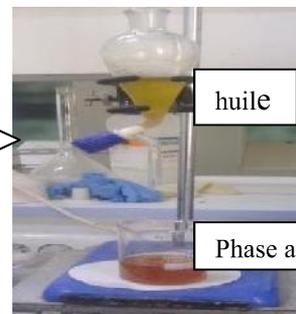
Dans cartouche



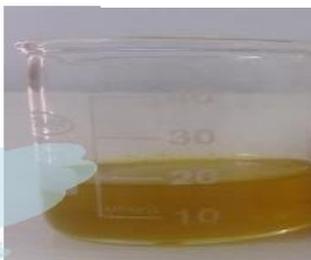
Filtrer



Décantation



Séparation



Après l'extraction nous avons calculé le rendement d'huile extraite à par la relation suivant :

$$\text{Le rendement} = \frac{\text{---}}{\text{é}} *$$

(Équation .IV.1.)

$$\text{Le rendement} = \text{---} * = 18.43\%$$

Selon les norme intentionnel lors que le rendement inferieur 10% est non rentable mais lors que la quantité supérieur à sa valeur le rendement est rentable

IV.4. Caractéristique physico-chimiques de produit obtenue

IV.4.1. Huile

IV.4.1.1. l'indice de réfraction

L'indice de réfraction d'une matière, est un nombre qui caractérise le pouvoir qu'a cette matière, à ralentir et à dévier la lumière (souvent noté n). Elle est le rapport entre la vitesse de la lumière dans le vide ($C = 299\,792\text{ km/s}$) et la vitesse de la lumière dans le corps transparent (V). L'indice de réfraction n'a pas d'unité car c'est le rapport de deux vitesses.

Plus la lumière n'est ralentie, plus la matière a un indice de réfraction élevé.

IV.4.1.1.1. Matériels et méthodes :

Le réfractomètre d'ABBE c'est un réfractomètre Permet de mesure l'indice de réfraction d'une substance, il a une plus grande plage de mesure et précision que d'autres types de réfractomètres. Ce réfractomètre peut déterminer toutes sortes de concentration et de substances.

On peut déterminer l'indice de réfraction par le réfractomètre d'ABBE.



Fig. IV.2. Le réfractomètre d'ABBE.

IV.4.1.1.2.Mode opératoire

1. Diriger l'appareil vers la lumière.
2. Ouvrir et orienter convenablement le volet d'éclairage de l'échelle des indices.
3. Régler le tirage des oculaires pour avoir une vision nette du réticule et de l'échelle de lecture.
4. Repérer la température à l'aide d'un thermomètre.
5. Relever le prisme mobile d'éclairage et nettoyer soigneusement les deux faces de verre apparentes avec l'acétone.
6. Déposer une quantité suffisante d'huile à l'aide d'une pipette.
7. Rabattre doucement le prisme mobile.
8. En regardant dans l'oculaire (bas) :
 - Agir sur le bouton moleté de droite de façon à amener dans le champ de vision la limite de séparation des deux zones (claire et obscure). Cette ligne de séparation est plus ou moins nette (irisation).
 - Agir sur le bouton moleté de gauche pour rendre nette cette ligne de séparation (suppression des irisations).

Une formule empirique permet d'évaluer l'indice de réfraction d'un liquide à 20°C quand on l'a mesuré à une température légèrement différente:

$$n^{20} = n^T + 0,00035(T-20)$$

$$n^{20} = 1.4774 + 0,00035(16-20)=1.4760$$

(Equation. IV.2.)

IV.4.1.2. La densité

La densité d'une substance est égale à la masse volumique de la substance divisée par la masse volumique du corps de référence à la même température. Pour les liquides et les solides, l'eau est utilisée comme référence, pour les gaz, la mesure s'effectue par rapport à l'air.

Les acides gras ont une densité inférieure à celle de l'eau ; nous avons mesuré la densité d'huile avec un densimètre de marque Anton Paar (Fig. IV.3.).

IV.4.1.2.1. Le densimètre DMA 35N

C'est un densimètre portable le plus vendu au monde. Le tube oscillant éprouvé d'Anton Paar, l'électronique innovante et la pompe à échantillon ergonomique garantissent de parfaits résultats d'analyse.

Ce densimètre robuste ne fait que 275g et il suffit d'une simple pression du pouce pour le faire fonctionner. Une fois rempli, il ne lui faut que quelques secondes pour afficher la masse volumique, la densité ou la concentration des échantillons, le tableau.4 qui représente quelque caractéristique de densimètre DNA 35N



Fig. IV.3. Densimètre de type DAM 35_N

IV.4.1.2.2. Mode opératoire :

- 1- nettoyer le tube de remplissage par l'acétone avant l'utilisation
- 2- Branchement du tube de remplissage: Visser le tube de remplissage à la main jusqu'à ce qu'une certaine résistance se fasse sentir.

- 3- Fixation de l'adaptateur de seringue: Retirer la vis d'obturation sur le côté de l'instrument. Visser l'adaptateur à la main jusqu'à ce qu'une certaine résistance se fasse sentir.
- 4- Mise en marche de l'instrument: appuyé sur la touche "Power On" l'appareil passe immédiatement à l'écran principal (mode de mesure). Puis appliquer une pression du pouce pour remplir une quantité d'huile, ensuite attendre quelques secondes pour stabiliser, et en fin noter le résultat.
- 5- Mise à l'arrêt de l'instrument: appuyer sur la touche "Power Off" jusqu'à ce que (Éteindre) s'affiche. A la fin nettoyer l'instrument.

Nous avons corrigé la valeur mesurée par la relation suivante :

$$d^{20} = d^T + 0,00068 (T-20)$$

$$d^{20} = 0.917 + 0.00068(18.2-20)$$

$$= 0.9157 \mp 0.001 \text{ g/m}^3$$

(Équation IV.3.)

IV.4.1.3. pH

C'est une grandeur mesurant la concentration des ions hydrogènes dans une solution. C'est une mesure de l'acidité ou la basicité d'une solution. Nous avons mesuré le pH d'huile par papier pH

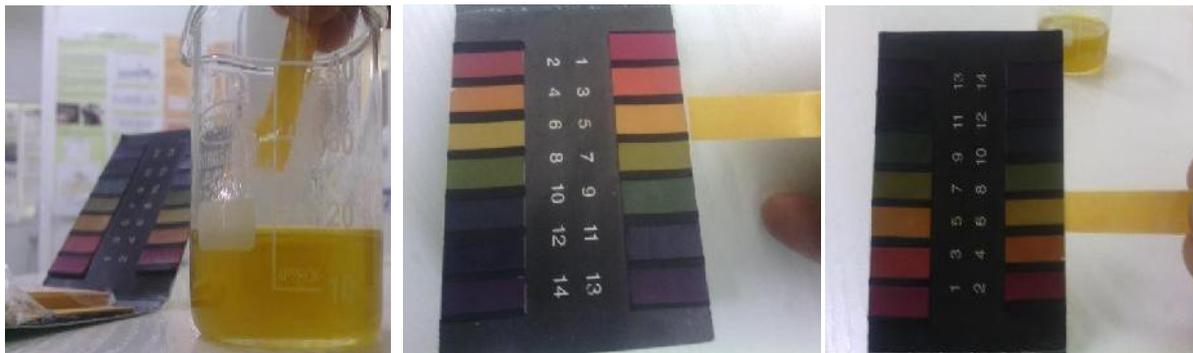


Fig. IV.4. Mesure par papier PH

pH=5.5

IV.4.1.4. L'indice d'acide

L'indice d'acide d'un corps gras est la quantité de potasse en mg nécessaire pour neutraliser son acidité libre. La teneur en acides libres des corps gras augmente avec le temps, l'indice d'acide permet donc de juger de leur état de détérioration.

Le principe de l'indice d'acide des huiles essentielles revient à neutraliser les acides libres de celles-ci par l'hydroxyde de potassium (KOH).

IV.4.1.4.1. Matériel

La (Fig. IV.5) montre le montage utilisé pour la mesure de l'indice d'acide. Ce montage est constitué d'une burette de 50 ml graduée en 0.1 ml avec son support, ce dernier est lié à un agitateur et une pipette de 5 ml et un erlenmeyer de 50 ml contenant un barreau assurant l'agitation.

IV.4.1.4.2. Réactifs chimiques nécessaires

- Ethanol à 9ml.
- Hydroxyde de potassium : on prépare une solution de 0.1 N dans l'éthanol.
- Phénolphtaléine.
- Huile de chêne 1g.

IV.4.1.4.3. Mode opératoire

Introduire 1g de l'échantillon d'huile de chêne dans l'erlenmeyer propre et sec, ajouter 9 ml de éthanol neutraliser avec la pipette et mettre 3 gouttes de phénolphtaléine puis neutraliser la solution obtenue avec l'hydroxyde de potassium à l'aide de la burette quelque secondes. Si la couleur de la solution est variée on arrête le titrage.

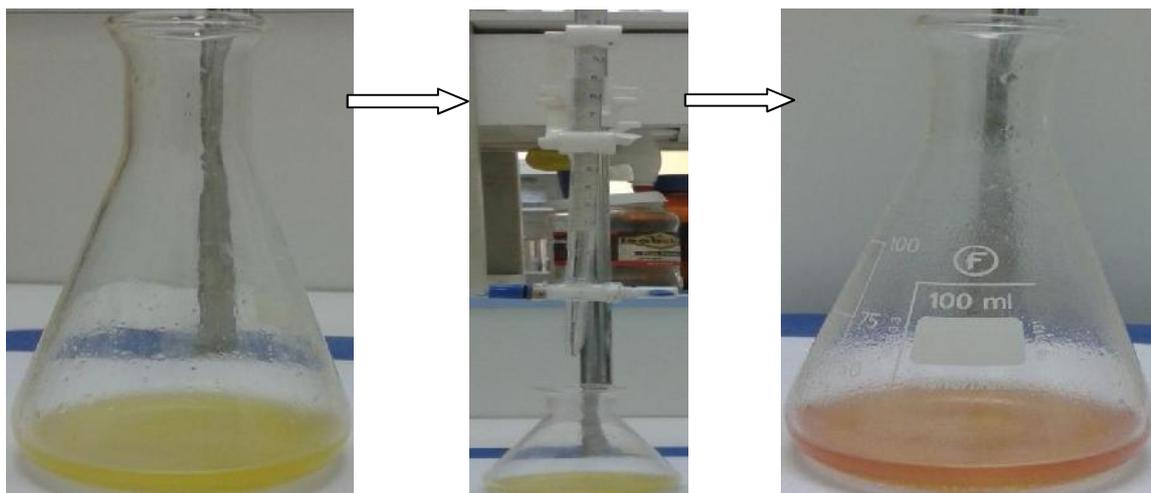


Fig. IV.5. Photo de titrage

En fin de titrage lire le volume de KOH consommé pour calcul l'indice d'acide à l'aide de la relation suivant:

$$IA = \frac{V^*}{V} \times 100$$

$$IA = \frac{0.415}{V} \times 100 = 0.415 \text{ ml}$$

(Équation IV.4.)

IV.4.1.5. Analyses par spectroscopie UV-VIS.

Les spectromètres UV-Visible permettent d'obtenir le spectre des composés examinés sous la forme d'un tracé de la transmittance, ou de l'absorbance, en fonction des longueurs d'onde repérés en abscisses.

Les mesures de spectromètre UV-Visible reposent sur la loi de Beer et Lambert qui relie dans certaines conditions, l'absorption de la lumière à la concentration d'un composé en solution.

Il en est résulté la loi de Beer et Lambert présentée ici sous sa forme actuelle :

$$A = \epsilon \lambda l c \quad (\text{équation IV.5.})$$

A désigne l'absorbance, paramètre optique sans dimension, accessible au moyen du spectrophotomètre, est l'épaisseur (en cm) de la solution traversée, C la concentration molaire

et le coefficient d'absorption molaire ($L \cdot mol^{-1} \cdot cm^{-1}$) à la longueur d'onde à laquelle on fait la mesure.

Cette loi, qui ne concerne que la fraction de la lumière absorbée, est vérifiée dans les conditions suivantes :

- ❖ La lumière utilisée doit être monochromatique ;
- ❖ Les concentrations doivent être faibles ;
- ❖ La solution ne doit être ni fluorescente ni hétérogène ;
- ❖ Le soluté ne doit pas donner lieu à des transformations photochimiques ;
- ❖ Le soluté ne doit pas donner des associations variables avec le solvant ;



Fig. IV.6 .spectre UV –Visible d’huile de chêne

L'étude de la spectroscopie UV-Visible a montré une bande d'absorption large de groupe transition ($\lambda_{max}=280 \text{ nm}$) dont l'absorbance est de $A=(0.625)$

IV.5. La Transestérification

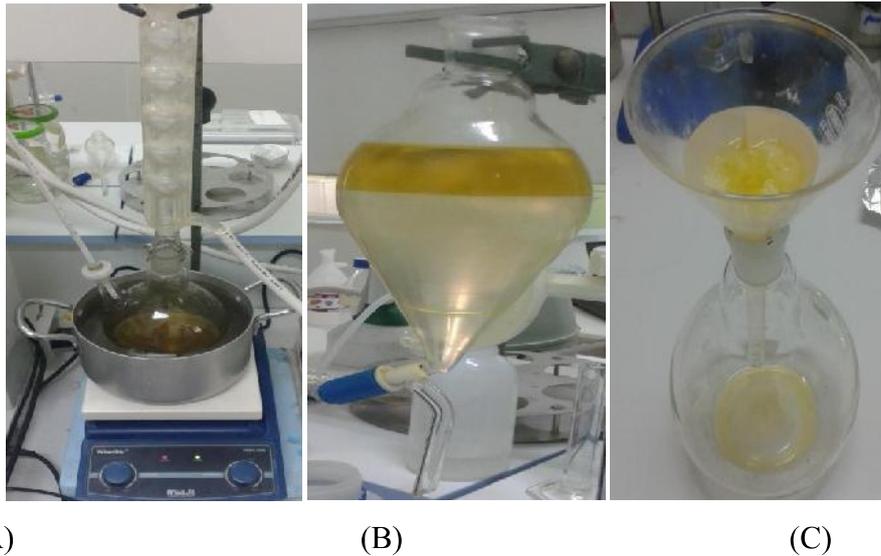
La transestérification est la technique classique la plus utilisée pour la production de biodiesel. Au cours de cette réaction les huiles végétales réagissent avec des molécules de éthanol pour former des mono esters éthyliques et du glycérol. Dans notre étude nous avons appliqué cette méthode sur l'huile de chêne vert extrait pour obtenir un biodiesel.

Dans cette étape nous avons réalisé la transestérification de l'huile de chêne vert. Le procédé a effectué comme suit :

IV .5.1. synthés de biodiesel

Le protocole de synthèse de biodiesel comporte les étapes suivantes (**fig. VI.7**) :

1. Dissoudre 0,23(10% de masse d'huile) g de d'hydroxyde de sodium avec 133.67 g d'éthanol avec agitation et chauffage.
2. Ajouter la solution obtenue à 24.50 g d'huile de chêne vert dans un ballon, ce mélange est posé sur un agitateur magnétique à température constante (80°C).
3. Introduire un thermomètre à partir du col du ballon, laisser la réaction pendant deux heures.
4. Laisser la glycérine et le biodiesel se séparer en deux phases pour une journée dans une ampoule à décanter.
5. Après verser la glycérine dans un flacon et laisser les esters dans l'ampoule.
6. Ajouter 10 ml de l'eau pour se débarrasser de l'alcool et du catalyseur qui sont restés (lavage).
7. Récupérer le biodiesel est ajouté 1 à 2% de sa masse de sulfate de magnésium pour absorber l'humidité
8. Enfin filtrer et récupérer le biodiesel.



(A)

(B)

(C)

Fig. VI. 7. (A) Synthèse, (B) Décantation et (C) Purification de biodiesel

IV.5.2. Caractéristiques de biodiesel

IV.5.2.1. Calcul de rendement de la réaction :

On doit calcul le rendement de biodiesel avec le réaction suivante :

$$\eta = \frac{\text{é}}{\text{é}} \quad (\text{equation IV.6.})$$

Théoriquement 1 kg de huile donne 1 kg de biodiesel par la réaction de transestérification alors la masse théorique de biodiesel est la masse d'huile que nous avons utilisée dans la réaction.

$$\text{Le rendement} = \frac{\text{é}}{\text{é}} \times 100 = 20.40\%$$

(Équation IV.7.)

Selon les norme intentionnel lors que le rendement inferieur 10% est non rentable mais lors que la quantité supérieur à sa valeur le rendement est rentable

IV.5.2.2. l'indice de réfraction

$$n^{20} = n^T + 0,00035(T-20)$$

$$n^{20} = 1.4042 + 0,00035(21-20) = 1.40455$$

(Equation. IV.8.)

IV.5.2.3. La densité



Fig. IV.8. Densimètre de type DAM 35 biodiesel

$$d^{20} = d^T + 0,00068 (T-20)$$

$$d^{20} = 0.843 + 0.00068 (27.7 - 20)$$

$$= 0.8482 \pm 0.001 \text{ g/m}^3$$

(Equation. IV.8)

IV.5.2.4. pH

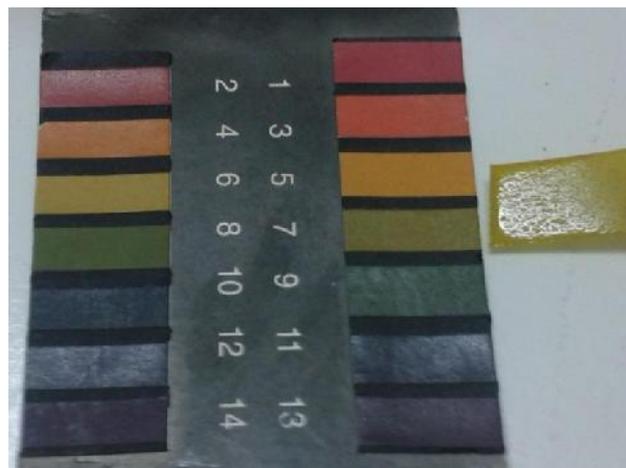


Fig. IV.9 : mesure par papier pH biodiesel

pH=7

IV.5.2.5. Analyses par spectroscopie UV-VIS.



Fig. IV.10 .spectre UV –Visible de biodiesel

L'étude de la spectroscopie UV-Visible a montré une bande d'absorption correspondant à une transition carbonyle ($\lambda_{\max}=450$ nm) dont l'absorbance est de $A=(0.51)$

IV.5.2.6. Caractéristiques par IR



Fig. IV.11. Analyse par le spectrophotomètre IR-600

Nous avons utilisé comme méthode d'analyse, Le rayonnement infrarouge (IR) est un rayonnement électromagnétique d'une longueur d'onde supérieure à celle de la lumière visible mais plus courte que celle des micro-ondes.

La spectroscopie IR est une méthode d'analyse qualitative et quantitative permet de caractériser les principales fonctions d'une molécule organique.

Le domaine infrarouge se situe entre 4000 cm^{-1} et 400 cm^{-1} ($2.5 - 25\ \mu\text{m}$, 1.2×10^{13} à $1.2 \times 10^{14}\text{ Hz}$) correspond au domaine d'énergie de vibration des molécules.

Le domaine d'étude de spectrométrie IR, permet par interprétation des spectres obtenus, de déceler les groupements fonctionnels contenus dans une molécule: alcool, aldéhyde, cétone, acide..., ainsi que les liaisons entre les carbones d'une chaîne (chaîne saturée, insaturée, caractère aromatique d'une molécule

Le spectre IR (**Fig. IV.12**) présente les bandes d'absorption caractéristiques des groupements fonctionnels dans le tableau

IV.5.2.6.1. Mode opératoire

Un spectre infrarouge s'obtient par les étapes suivantes :

1. Rincer la cuve(cristal ZnSe) avec le éthanol .
2. Placer la cuve dans l'appareil.
3. Scan entre $4000 - 400\text{cm}^{-1}$
4. Placer l'échantillon dans la cuve.

La radiation infrarouge de fréquences (nombres d'ondes) comprise entre $4\ 000$ et 400 cm^{-1} sont absorbées par la molécule en tant qu'énergie de vibration moléculaire.

Dans notre pratique on s'intéressera surtout aux vibrations de valence des liaisons C-H, C-C, O-H, C-O, ($> 1100\text{ cm}^{-1}$) qui permettront d'identifier certains groupes fonctionnel

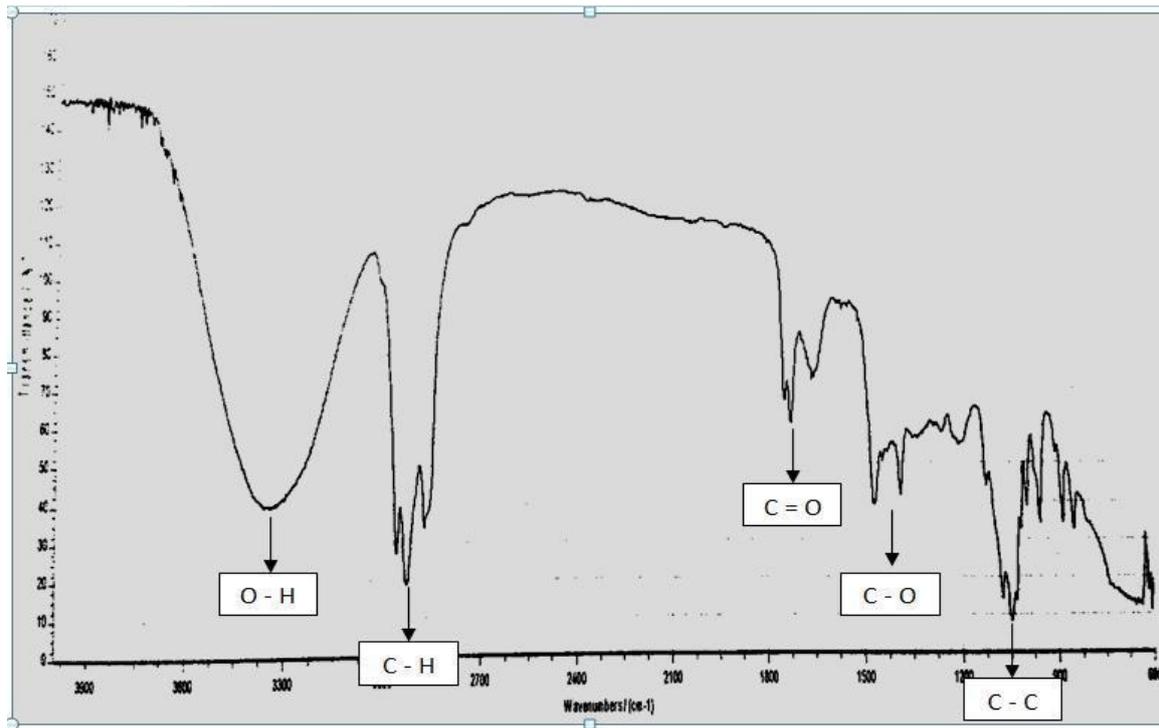


Fig. IV.12. Spectre d'IR de biodiesel

Le spectre IR (Fig. IV.12) présente les bandes d'absorption caractéristiques des groupements fonctionnels

- Une vibration de valence entre 3500-3200 cm⁻¹ (bande large) correspond d'un groupement d'un O-H (humidité)
- Une vibration de valence entre 3000-2800 cm⁻¹ correspond d'un groupement d'un C-H.
- Une vibration de valence entre 1740-1700 cm⁻¹ correspond d'un groupement d'un ester RCOOR d'élongation C=O.
- Une vibration de valence à 1200 cm⁻¹ correspond d'un groupement d'ester d'élongation C-O.
- Une vibration de valence entre 1100-1000 cm⁻¹ correspond d'un groupement C-C.

Ces données, confirme la présence d'un ester.

IV.6. tableau récapitulatif des résultats

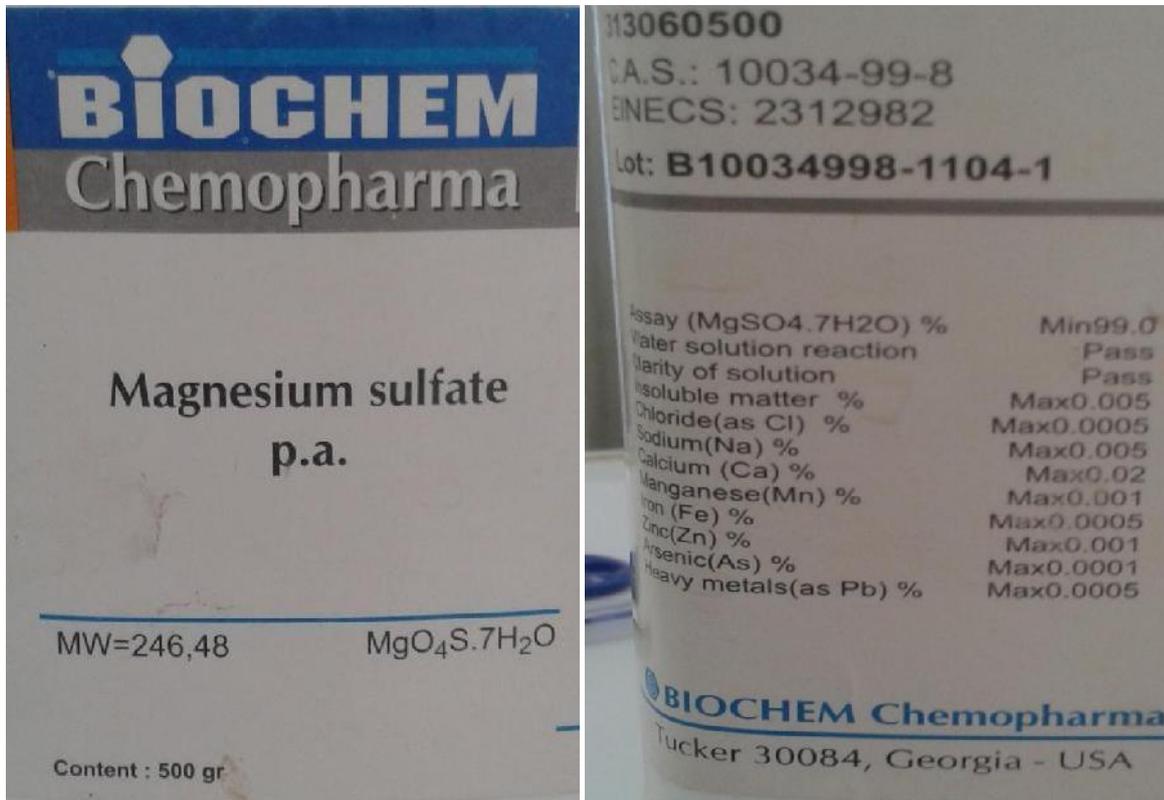
Tableau. IV.3.les caractéristiques physicochimiques

paramètre	Huile de chêne vert	Biodiesel	Gasoil
Densité(g/cm ³)	0.9157	0.8482	0.860-0.900
Point de fusion(°c)	-	-	-12
Viscosité cinématique (mm ² /s)	-	-	6-10.9
Indice de réfraction	1.4760	1.40455	-
Indice d'acide	0.415	-	1-2
pH	5.5	7	-
Indice de cétane	-	-	48-52
Point trouble(°c)	-	-	13
Pouvoir calorifique(kj/kg)	-	-	35(Mj/kg)
Rendement %	18.43	24	-

A partir le tableau précédent et la comparaison entre le biodiesel et gasoil nous regardons les valeur des paramètre physicochimiques de notre produit est plus proche que le gasoil donc la boidiesel obtenir a partir huile de chêne vert est bon qualité de biocarburant .

ANNEXE I

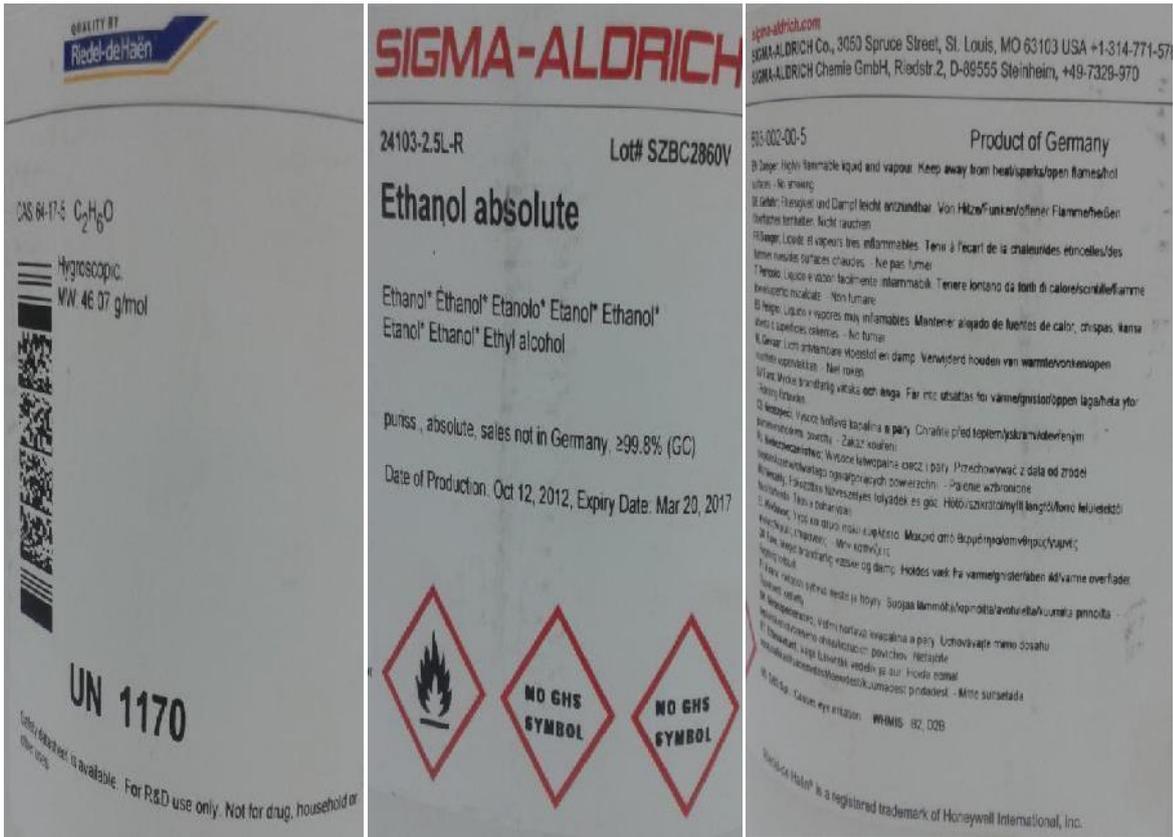
Les fichiers sécurité des produit chimique utilise



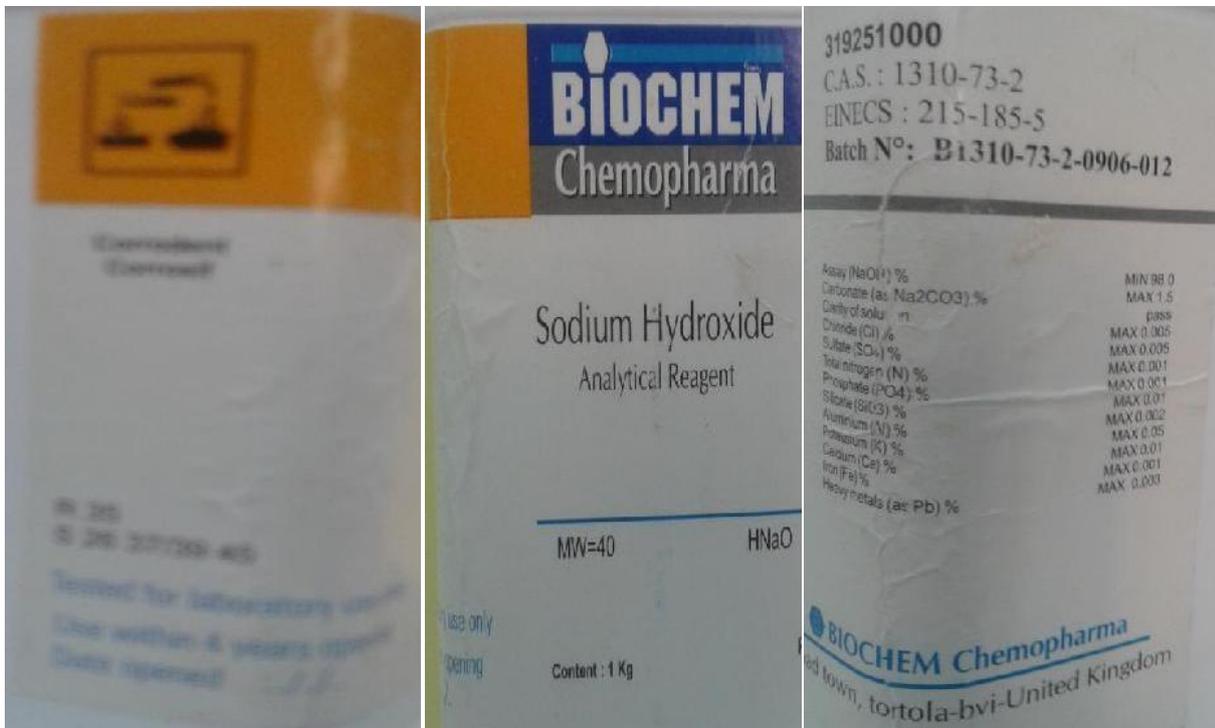
Magnésium sulfate



Chloroforme

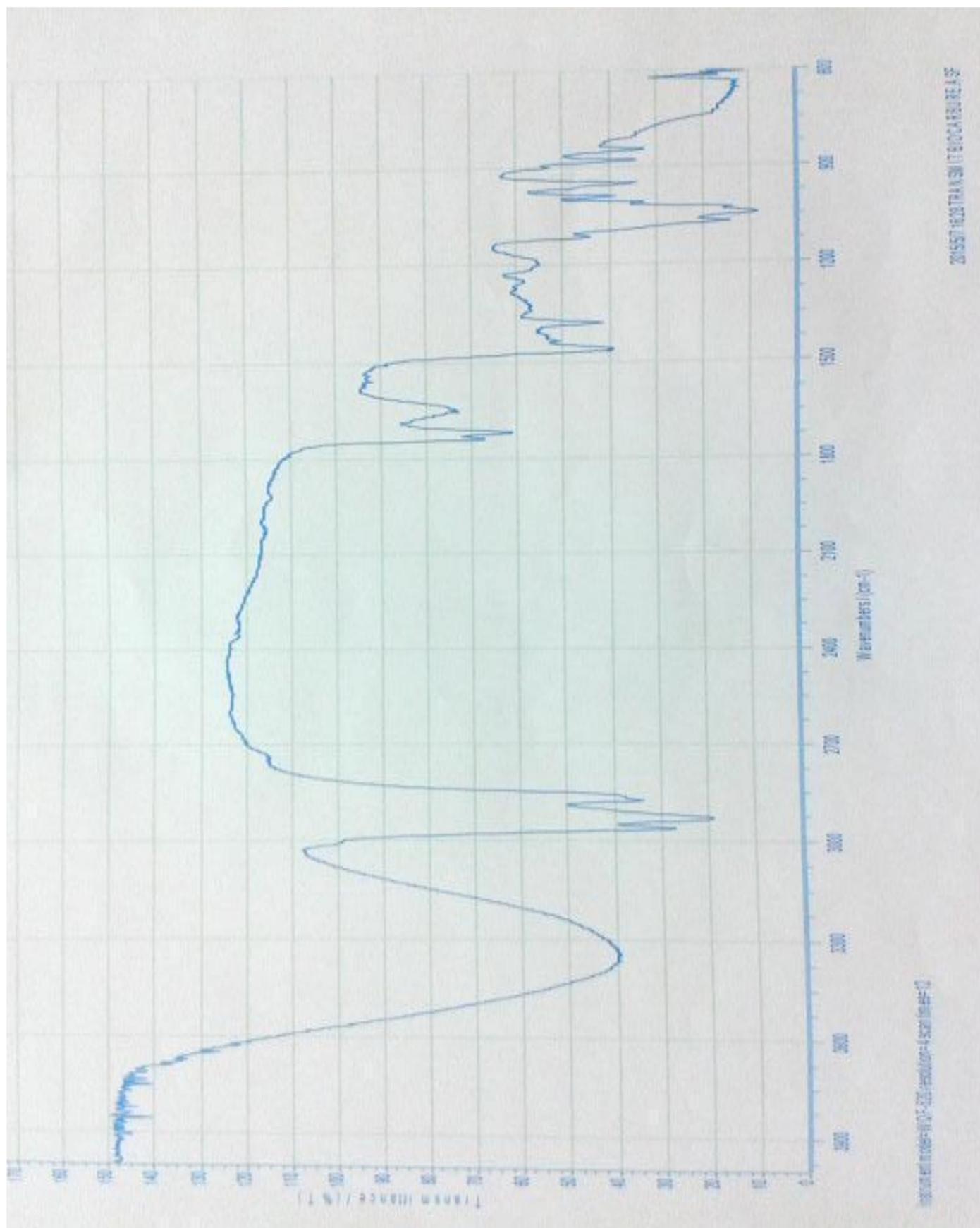


Ethanol absolute



Sodium hydroxyde

ANNEXE II



specter IR

Référence

Références

[1]	ALLOUNE Rhiad. Le biodiesel : une source d'énergie propre et prometteuse ; Attaché de Recherche Division Bioénergie et Environnement .2012
[2]	S. Sidibé et J. Blin. Huiles végétales pures comme carburant dans le moteur diesel Etat de connaissance ;). Laboratoire de biomasse énergie et biocarburant (LBEB), Institut International d'Ingénierie de l'Eau et de l'Environnement (2iE), Rue de la science 01Ouagadougou 01 BP594. Journée scientifique 2iE (2009
[3]	Boulevard Laurier. La production de biodiesel à partir de cultures oléagineuses ; Centre de référence en agriculture et agroalimentaire du Québec 2875, 9 ^e étage.2008
[5]	DJEBAILI M'HAMED, MESSAI BOULAARES. Etude des pertes de charge dans un tronçon de train de préchauffage du topping U11de la RANK: Raffinage. Université de M'hamedbougarraboumerdes -2004-2005.
[6]	Conférence sur Le GPL. Hassi Messaoud. Janvier2000
[7]	L.CHEBLI, Y.ABBASSI. Rapport du Centre de formation de HassiR'mel : Revue Sonatrach. « Gaz naturel dans le monde. Master en Génie des procédés. UNIVERSITE MOHAMED KHIDER BISKRA.Mars 2012..
[8]	Johansson, Thomas . Les potentiels de l'énergie renouvelable. Note sur les citations : Nous n'utilisons pas d'annotation scientifique dans ce document. Des parties de textes sont citées sans parenthèses afin de rendre cette brochure plus lisible. : Dossier thématique n°10. 2004.
[9]	Goldemberg, José : The Case for RE .Ce paragraphe et les suivants sont tirés de : Dossier thématique n°1, Renouvelables 2004.
[11]	Rendement moyen selon les données de La Financière agricole du Québec, 2007.
[16]	Gouvernement de l'Alberta. <i>Biodiesel overview</i> . www1. agric.gov. ab.
[17]	ca/\$Department/deptdocs. nsf/all/afi11174 . 2007.
[18]	(cf. étude décembre 2002 – résumé Annexe 3)
[19]	Comité de soutien Valénergol. Fabricants européens de brûleurs pour chaudière fioul compatibles avec l'Huile Végétale Pure fournit une liste de brûleurs à huile.
[20]	Cf. travaux IRIBIOM/CIRAD/CUENOD. 1994-1996
[21]	Perspectives d'utilisation des HVP (hors carburant), DEBAT/CIRAD, Autre voie à creuser : le décorticage préalable des graines de tournesol déjà utilisée, chez Sofiproteol à Bassens. juin 2006.
[22]	Mohamed BERRICHI.Détermination des aptitudes technologiques du bois de <i>Quercus rotundifolia</i> Lamk et possibilités de valorisation. Thèse de doctorat en foresterie .universitéBbouBakrBelkaidTelemcen. 2010/2011.
[23]	Haichour raima. Stress thermique et limite écologique du <i>Chêne vert</i> en Algérie. Biologie et Ecologie –Biologie végétale-MAGISTER. 2009.

Référence

[24]	Farida BENIA. Étude de la faune entomologique associée au chêne vert (<i>Quercus ilex</i> L.) dans la forêt de Tafat (Sétif, Nord-est d'Algérie) et bio-écologie des espèces les plus représentatives. P49. 2010.
[25]	michelcaron.m.futura-sciences.com/magasin. 13/03/2012.
[26]	CHAIB Faiza et KHENFER Afaf. Synthèse de biodiesel par la transestérification des huiles commercialisées. Mémoire MASTER ACADEMIQUE. UNIVERSITE KASDI MARBAH OUARGLA. 2012/2013.
[27]	MESBAHI.D. la transestérification hétérogène. 2012.
[29]	LEYBROS J., FREMEAUX P. Extraction solide-liquide - Aspects théoriques. Techniques de l'ingénieur (traité Génie des procédés), J 2780.
[30]	Rachel POIROT.. Méthodologie pour le passage en continu d'extraction de soluté à partir de matière végétale.p49. 13 Décembre 2007.

Référence cite web

[4]	http://www.economiedenergie.wikibis.com/torchage et rejet de gaz naturel.php
[10]	Conseil québécois du biodiesel. www.biodieselquebec.org/PDF//differences.pdf
[12]	Shapley, D. Making fuel from algae, Shell plans biodiesel algae plant in Hawaii. The Daily Green. 12 December. www.thedailygreen.com/environmental_news/latest/aglae-biodiesel-47121201 . 2007.
[13]	National Biodiesel Board. Specification for biodiesel (B100) – ASTM D6751 07b. www.biodiesel.org/pdf_files/fuelfactsheets/BDSpec.PDF . 2007.
[14]	Registre de la qualité des biocombustibles. EN 14214:2003 – BioFuels. www.fr.biofuels.arc.ab.ca/Biocombustibles/Caracteristiques/EN+14214+2003/Default.k i Site consulté le 27 février 2008.
[15]	BQ-9000 (anglais seulement). www.bq-9000.org/03.04.2015
[28]	Utilisation de chêne vert. http://ashab.hawahome.com/play.php? catsmktba=838 . 10-05-2015.